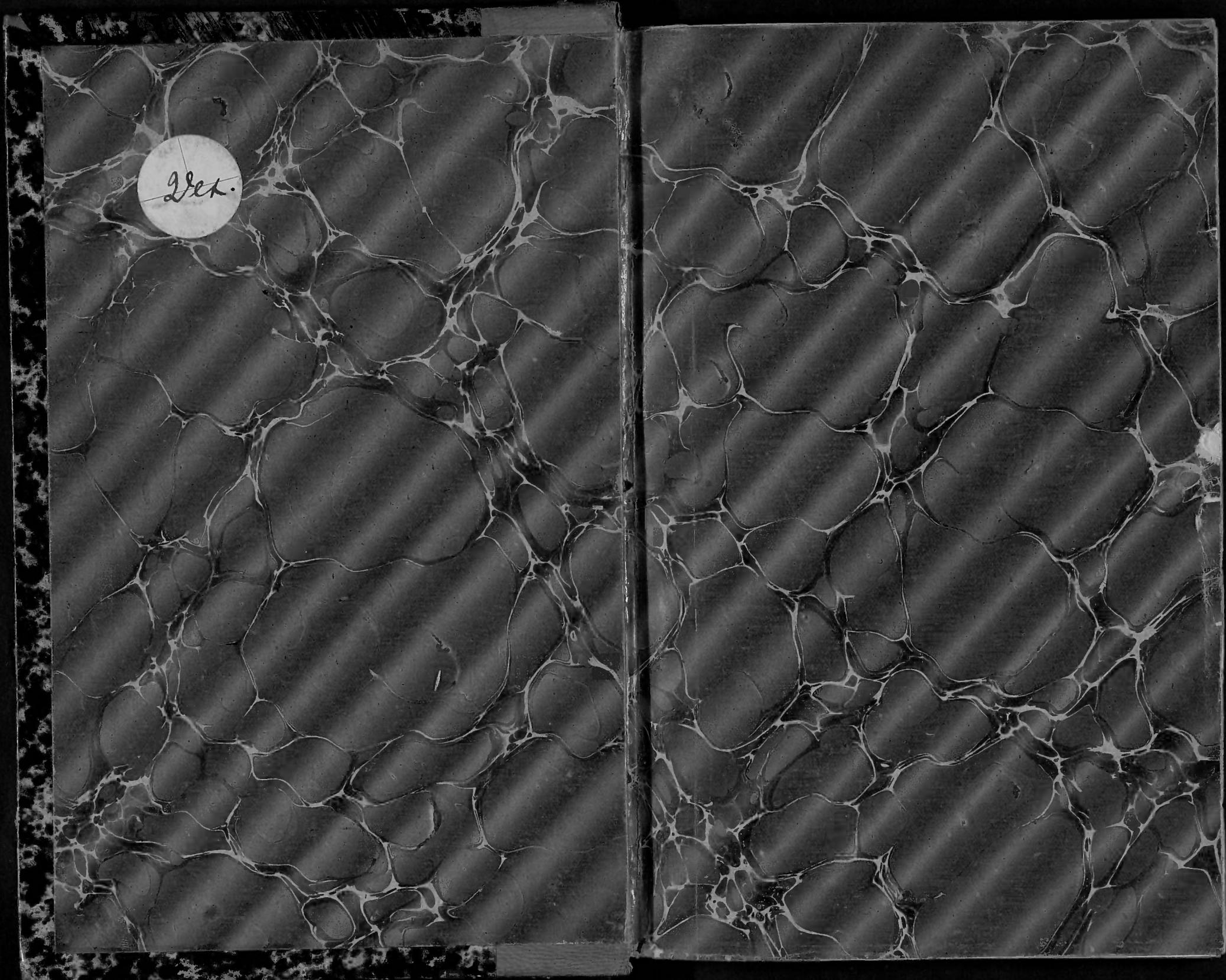
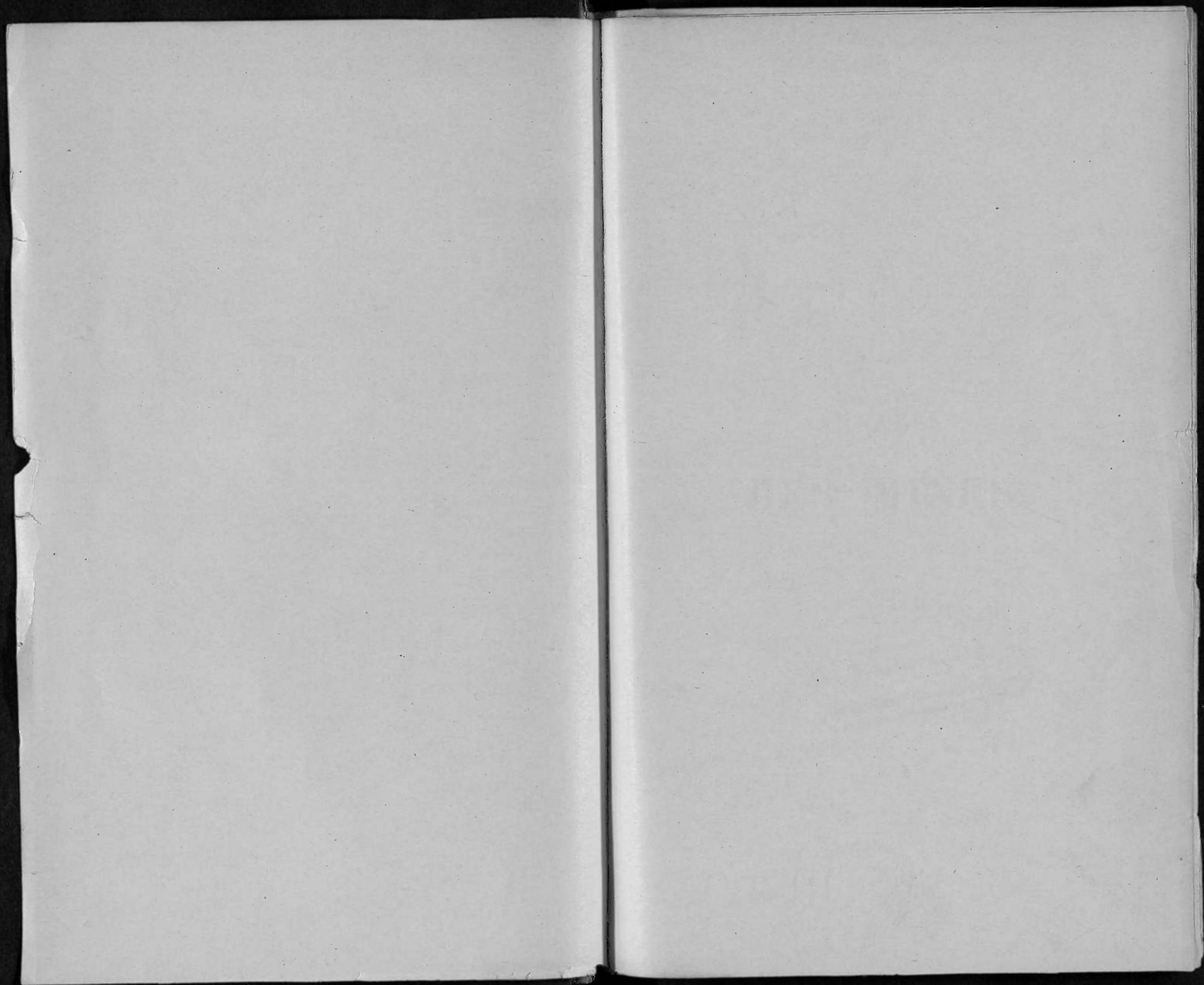


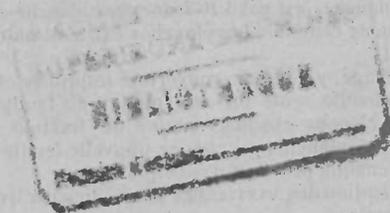
~~295.~~

281.





ANNALES
DES MINES



Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une Commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette Commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.	MM.
VICAIRE, inspect. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines, <i>président</i> .	DELAFOND, inspecteur général.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, insp. gén., direct de l'Ecole supérieure des mines.	CHEYSSON, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'Ecole supérieure des mines.
LORIEUX, inspecteur général.	POTIER, ingénieur en chef, prof. à l'Ecole supérieure des mines.
AGULLON, insp. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines.	DOUVILLÉ, d ^e
PESLIN, inspecteur général.	BERTRAND, d ^e
CARNOT, insp. gén., inspecteur de l'Ecole supérieure des mines.	LE CHATELIER, d ^e
KELLER, insp. gén., secrétaire de la Commission de la statistique de l'industrie minière.	LODIN, d ^e
WOHMS DE ROMILLY, insp. gén.	SAUVAGE, d ^e
NIVOIT, d ^e	HUMBERT, d ^e
	TERMIER, d ^e
	PELLÉ, ing. des mines, professeur à l'Ecole supérieure des mines.
	DE LAUNAY, d ^e
	ZELLER, ingénieur en chef, <i>secrétaire de la Commission</i> .

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'Etranger.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

ANNALES DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

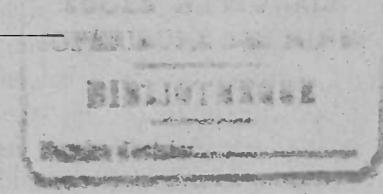
PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVI.

5105



PARIS

V^o CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1899

ANNALES DES MINES

LES MINES DU LAURION DANS L'ANTIQUITÉ

Par M. L. DE LAUNAY,
Ingénieur des Mines, Professeur à l'École supérieure des Mines.

M. Ardaillon, ancien membre de l'École française d'Athènes, a publié en 1898 un mémoire sur les mines du Laurion dans l'antiquité (*), qui est le fruit d'une étude personnelle très prolongée, poursuivie sur place pendant de longs mois et qui éclaire, de la façon la plus remarquable, divers points obscurs de la technique antique en ce qui concerne l'art des mines et la métallurgie. Il nous a semblé qu'un résumé de cet ouvrage, surtout destiné dans sa forme primitive aux archéologues et aux historiens, intéresserait également tous ceux qui, en extrayant les minerais de terre ou les traitant dans leurs usines, ont la bien naturelle curiosité de connaître l'évolution passée d'une industrie, à laquelle ils s'efforcent chaque jour d'apporter de nouveaux perfectionnements. Le Laurion attique a formé, en effet, avec les mines du Sud de l'Espagne et de Sardaigne, que nous avons étudiées précédemment ici

(*) Cet ouvrage, qui a servi à l'auteur de thèse de doctorat ès lettres (8 juin 1898), a paru, dans la Bibliothèque des Ecoles françaises d'Athènes et de Rome (fasc. 77), en un volume de 218 pages in-8°, avec carte du Laurion antique.

même(*), une des plus considérables exploitations minières de l'antiquité; sa fortune a été en relation tout à fait directe avec celle d'Athènes; son rôle historique a été capital et, d'autre part, grâce au développement des travaux modernes, qui se sont superposés aux recherches antiques, celles-ci peuvent être particulièrement bien connues; c'est donc un des points les plus favorables, où l'on ait le moyen d'aborder et de chercher à comprendre le travail des mineurs anciens, à certains égards si différent du nôtre.

L'ouvrage de M. Ardaillon est divisé en deux parties: l'une essentiellement technique, où il décrit les procédés d'exploitation et de traitement, l'organisation du travail, les produits et le commerce du Laurion; l'autre, surtout historique, où il retrace l'histoire des mines et analyse leur régime légal; nous ne ferons que peu d'emprunts à cette seconde partie (par laquelle nous allons débiter), afin de pouvoir, sans exagérer les dimensions de cet article, donner plus de développements aux curieuses observations consignées dans la première.

1. — Historique des exploitations et régime légal.

Nous ne croyons pas utile de décrire ici l'allure géologique des gisements du Laurion (**). Il nous suffira, pour notre sujet spécial, de rappeler que ces gisements sont surtout localisés aux contacts successifs de calcaires cristallins et de schistes alternants, contacts numérotés dans la pratique locale de haut en bas, et que les minerais sont formés du mélange ordinaire des trois sulfures, blende,

(*) Décembre 1889, mai 1892.

(**) Nous en avons donné récemment un résumé dans notre *Contribution à l'étude des gîtes métallifères* (*Annales des Mines*, août 1897, p. 85).

pyrite, galène argentifère, avec des altérations plus ou moins sensibles au voisinage de la superficie. Pour les anciens, c'étaient, avant tout et presque exclusivement, des gisements d'argent. Ils ont fait, sur eux, pendant plusieurs siècles, des travaux considérables, dont les restes subsistent de tous côtés dans une bande Nord-Sud d'environ 16 kilomètres de long sur 8 kilomètres de large, entre la baie de Daskalio au Nord et le cap Soumion au Sud, principalement dans la région centrale de Plaka et de Camareza.

La première inspection de ces travaux montre qu'ils appartiennent à des époques très diverses, où l'art des mines était arrivé à un degré de perfectionnement très inégal, et M. Ardaillon a pu en reconstituer l'historique de la manière suivante.

Tout d'abord, le premier contact, ou contact supérieur, étant le seul qui affleure au jour sur une grande longueur, il est évident, *a priori*, qu'il a dû être découvert le premier; la teinte rouge des oxydes de fer, au milieu desquels subsistaient des blocs de galène inaltérés, aura attiré les regards, et l'on a commencé par faire, sur ces affleurements, des tranchées à ciel ouvert, des trous, des sortes de cavernes irrégulières, que l'on voit en quantité innombrable dans tout l'Est et le Sud de la zone minière, entre Dipsiléza et le cap Soumion. Ces premiers travaux ont dû être d'abord entrepris un peu au hasard; puis l'on aura remarqué la localisation des minerais entre le calcaire blanc et le schiste noir, dont la différence d'aspect est caractéristique, indépendamment de toute connaissance géologique; on a exécuté alors, à ce contact, de véritables galeries de recherches, qui s'enfoncent en descenderie plus ou moins profondément dans le gîte et s'astreignent à en suivre toutes les sinuosités; il en est résulté des labyrinthes compliqués aux galeries étroites et tortueuses, avec de vastes salles aux points où l'on avait rencontré de brusques élargissements du minerai.

Plus tard, on a creusé des puits verticaux pour aller recouper rapidement en profondeur la couche, à laquelle on n'accédait autrement que par ces boyaux d'accès difficile et, peu à peu s'enhardissant, on en est arrivé à forer des puits, qui atteignent 120 mètres de profondeur, pour aller exploiter un minerai invisible, absolument comme, de nos jours, on va rechercher la houille sous le crétacé du Nord (*).

C'est par des forages de ce genre, poussés obstinément jusqu'au minerai, que les anciens ont fini par trouver le troisième contact, le plus riche, dont les affleurements très restreints n'avaient pas pu les diriger et qu'ils ont évidemment confondu d'abord avec les contacts supérieurs, pour le distinguer ensuite et le rechercher de parti pris. L'époque de cette découverte correspond, dans l'histoire d'Athènes, à une prospérité extraordinaire, dont nous pouvons nous faire une idée en songeant aux fameuses bonanzas du Comstock, aux Etats-Unis.

Un puits antique, situé au Sud de Camaréza et utilisé aujourd'hui sous le nom de puits Kitso, montre d'une manière frappante comment on procédait dans ces exploitations, à l'époque où l'art des mines athénien atteignait son apogée.

Ce puits s'enfonce jusqu'à 46 mètres à travers le schiste inférieur et s'arrête à un banc calcaire, qui n'est, en réalité, on le sait aujourd'hui, qu'un accident local, une lentille intercalée dans les schistes. Il est à remarquer qu'au voisinage de la surface on a recoupé d'abord un premier contact de schiste et de calcaire sans s'y arrêter; on savait évidemment que le minerai était plus bas; mais, arrivés à peu près à la profondeur prévue sur un contact de calcaire et de schiste, les Grecs se sont crus, avec une

(*) A Rio Tinto, les anciens paraissent avoir percé une série de puits au hasard, jusqu'à ce que l'un d'eux tombât sur une zone riche.

apparente logique, dans le gisement, et ont bravement commencé des galeries en tous sens; partout, au bout d'une dizaine de mètres, ils ont vu le calcaire se perdre dans les schistes sans aucune trace de minerai; les galeries ont été alors brusquement interrompues, comme le montre l'état de leurs fronts de taille, sans doute sur l'ordre de quelque chef, et l'on a laissé le puits inutile pour en forer un autre un peu plus loin, sans pouvoir soupçonner qu'il aurait suffi d'approfondir d'une dizaine de mètres pour trouver le contact réel. Le plan théorique de la recherche est là on ne peut plus manifeste.

Ayant ainsi reconnu ces étapes successives dans l'exécution des travaux miniers, on serait désireux de leur donner des dates précises; c'est ce qu'il est bien difficile de faire exactement, et l'on doit se borner aux quelques indications historiques suivantes.

On n'a pas trouvé au Laurion, comme dans les mines du Sud de l'Espagne, d'outils de pierre; mais il est manifeste que le pays a été très anciennement occupé par ce peuple mycénien, que l'on appelait autrefois pélasgique, et par les Phéniciens, dont les rapports, assez obscurs, avec les Mycéniens, s'accusent pourtant clairement en bien des points de la mer Egée et notamment à Rhodes. De l'époque mycénienne, il existe des tombes à coupoles avec vases caractéristiques, objets en or, en plomb, en ivoire et en pierre, des restes d'un grand mur polygonal, etc.; l'occupation phénicienne est prouvée, d'autre part, par le grand nombre de noms sémitiques subsistant dans la région.

Il n'y aurait rien d'in vraisemblable à ce que les Mycéniens fussent les premiers auteurs des travaux du Laurion; car ce peuple, si étonnamment riche en or, possédait aussi beaucoup d'argent et de plomb, comme l'ont montré les fouilles de Mycènes, Tirynthe et Troie. En tout cas, il est très plausible d'attribuer un rôle important aux

Phéniciens, qui ont été nos premiers initiateurs dans l'art des mines et qui, partout, autour de la Méditerranée, dans les îles de l'Archipel, à Chypre, à Thasos, au mont Pangée, en Sardaigne, à Carthagène, à Rio Tinto, ont su découvrir et mettre en valeur les grands gisements métallifères.

Plus tard, jusqu'à la fin du vi^e siècle, les Athéniens paraissent s'être bornés aux minerais peu abondants et peu riches du premier contact; les mines du Laurion étaient loin alors de pouvoir rivaliser avec celles d'Espagne, de Thasos, de Siphnos, etc. Mais, en 484, d'après Aristote, on découvrit les gîtes de Maronée (Camaréza?), dont l'État retira aussitôt 100 talents (600.000 francs), avec lesquels il construisit une flotte de cent trirèmes; c'est vers ce moment que durent se faire les grands progrès dans l'art de rechercher les gisements, que l'on se mit à forer les puits verticaux, à atteindre les parties riches du troisième contact. La principale période de prospérité du Laurion commença donc à peu près avec les guerres médiques et dura pendant tout le v^e et le iv^e siècle. A peu près au même moment, les mines d'argent de l'île de Siphnos, qui, pendant le vi^e siècle, avaient donné des produits énormes, touchaient à leur terme. Suivant la légende, Apollon avait puni les mineurs, qui ne payaient pas à son temple de Delphes le tribut convenu, en faisant pénétrer la mer dans leurs travaux: ce qui revient à dire qu'on avait atteint le niveau hydrostatique, à peu près infranchissable dans des calcaires fissurés avec les moyens d'épuisement des anciens. Thasos, qui avait été précédemment un centre de production considérable pour les métaux précieux, paraît également s'être épuisée vers cette époque. Le Laurion assurait donc à Athènes une sorte de monopole dans la production de l'argent, et l'on peut comparer son rôle, à cette époque, à celui des mines du nouveau monde pour l'Espagne du xvi^e siècle, ou de celles de l'Ouest américain pour les États-Unis aujourd'hui.

La plupart des grandes fortunes athéniennes du v^e siècle furent faites dans la recherche des mines. On citait, par exemple, un certain Callias pour y avoir gagné près de 1.200.000 francs; et son fils Hipponicos en retirait, un peu plus tard, 36.000 francs de revenu. Nicias, le général de l'expédition de Sicile, y avait acquis 600.000 francs en faisant travailler plus de 1.000 esclaves, etc. Tout le monde à Athènes, entre 450 et 420, comptait sur les mines d'argent pour s'enrichir, et Aristophane, dans une de ses comédies, fait dire même à un charcutier qu'il tâchera d'économiser assez pour s'acheter une concession de mines. Les monnaies frappées avec l'argent du Laurion et portant la chouette d'Athènes jouent à ce moment, sous le nom de chouettes Laurotiques, un rôle fréquent dans les plaisanteries des auteurs comiques.

En 413, l'occupation de Décélie par les Spartiates porta aux exploitations un coup funeste; 20.000 esclaves, pour la plupart occupés aux mines, désertèrent à la fois, et la détresse financière fut telle à Athènes qu'on dut, en 407, battre monnaie avec les victoires en or de l'Acropole et, en 406, émettre pour la première fois des monnaies de cuivre.

Plus tard, la tyrannie des Trente découragea l'initiative industrielle des Athéniens, qui préférèrent porter leurs capitaux à l'étranger plutôt que de les exposer aux spoliations et aux tracasseries du fisc dans leur pays; en 389, on se plaignait encore à Athènes de la rareté de l'argent (qui était, à cette époque, le véritable étalon monétaire), et la prospérité du Laurion ne reprit un peu que vers 378. Il y eut alors un réveil industriel, dû en grande partie à l'extension du principe de l'association des entrepreneurs de mines, jusque-là dispersés et indépendants; les anciens n'avaient guère connu précédemment que les entreprises individuelles; il se forma, à cette époque, des sortes de sociétés minières ou de syndicats, et cela permit de don-

ner plus de développement à certains travaux coûteux. On attribue, notamment, dans cette transformation, un rôle à Lycurgue, qui dirigea les finances athéniennes de 338 à 326, et que l'on a pu appeler le seul financier de l'antiquité.

Nous sommes particulièrement bien renseignés sur cette période, à laquelle se rapportent la plupart des textes et des inscriptions relatifs au Laurion. Nous connaissons, par exemple, l'histoire d'Epicratès de Pallène, dénoncé pour avoir gagné dans les mines près de 2 millions (300 talents) en trois ans; celle de Diphilos, condamné à mort pour avoir abattu frauduleusement les piliers de soutènement en minerai, qu'on était tenu de laisser et d'abandonner dans les chambres d'exploitation; celle de Philippos et de Nausiclès, accusés de s'être illégalement enrichis en exploitant des mines qu'ils n'avaient pas déclarées; nous avons le plaidoyer de Démosthène pour un pauvre diable, qui prétendait, au contraire, s'être ruiné dans les recherches des mines, etc.

Puis, avec l'entrée en scène de la Macédoine au iv^e siècle, un changement économique considérable se produisit en Grèce et influa directement sur l'industrie du Laurion, qui eut à subir les fluctuations de valeur de l'argent, dans les mêmes conditions que peuvent le faire les mines de plomb argentifères actuelles.

En 355, le pillage du trésor de Delphes avait jeté dans la circulation près de 60 millions de métaux précieux (24 millions d'or, 36 millions d'argent). Au même moment, les mines d'or du mont Pangée, près de Philippes, prirent un tel développement qu'en quelques années, jusqu'à la mort d'Alexandre, elles produisirent, dit-on, plus de 300 millions. Les trésors de Persépolis et de Pasargade donnèrent également au monde grec des sommes énormes. Il en résulta en Grèce un afflux de métaux précieux et spécialement d'or, dont on n'avait eu aucune idée jusque-là.

En outre, Philippe institua momentanément le bimétallisme au lieu du monométallisme à étalon d'argent, seul usité antérieurement, et la conséquence fut une baisse de l'argent, analogue à celle qui s'est produite de nos jours. Les conquêtes d'Alexandre eurent sur les mines du Laurion le même effet que celles des Espagnols au Nouveau Monde sur les mines espagnoles du xvi^e siècle, ou que la mise en valeur des dernières mines américaines sur nos pauvres exploitations de plomb français; venant à un moment où la partie des gisements pratiquement accessible aux anciens commençait à s'épuiser, elles déterminèrent le ralentissement progressif des travaux, qui furent arrêtés complètement vers l'époque d'Auguste, quand les Romains eurent la possession des riches mines espagnoles.

Dans cette longue période de trois siècles, il n'y eut qu'un moment de réveil relatif, entre 146 et 87 avant Jésus-Christ, quand Délos, devenu port franc, prit une place prépondérante dans le commerce maritime méditerranéen à la place de Rhodes abaissée, Carthage rasée et Corinthe détruite, et releva, du même coup, le commerce athénien: période interrompue par l'invasion de Sylla à Athènes en 86, qui ruina à tout jamais ce commerce.

Après l'arrêt des mines, il n'y eut plus, au Laurion, dans le i^{er} siècle après Jésus-Christ, que des essais de retraite appliqués aux anciennes scories; après quoi, ce fut l'oubli complet jusqu'à la redécouverte des gisements, dans les circonstances romanesques que l'on connaît, en 1863.

Avant de passer à l'examen détaillé des moyens d'exploitation et de traitement, nous ajouterons seulement quelques mots sur le régime légal des mines à Athènes; car la loi minière a toujours son contre-coup direct sur les méthodes mêmes du travail.

C'était une sorte de système régalien, où la propriété du tréfonds, distincte de celle du fonds (*édaphos*), appar-

tenait à l'État, qui l'amodiait, mais ne la céda pas. Les concessions de mine, instituées par le conseil des Polètes, étaient accordées à titre personnel (sans possibilité de rétrocession ni de legs par héritage) et pour un temps très limité.

Les usines métallurgiques, tout au contraire, étaient propriétés privées.

Ces concessions de mines (comparables, dans une certaine mesure, à des claims) étaient instituées pour une durée différente, suivant qu'il s'agissait d'un gisement vierge, nécessitant des travaux préparatoires coûteux (*kainotomiaï*), ou d'un gisement déjà exploité précédemment, dont il n'y avait qu'à poursuivre l'abatage (*anaxima* ou *palaiia*). Dans le premier cas, elles duraient dix ans; dans le second, trois seulement, mais toujours avec faculté de renouvellement à l'échéance.

Un grand libéralisme industriel présidait à leur attribution: les étrangers (écartés pourtant de la propriété foncière en Attique) pouvaient les obtenir, aussi bien que les Athéniens; le libre groupement des capitaux ou des lots était autorisé. En outre, on avait évité autant que possible de prendre pour les mines des mesures spéciales, d'instituer des contrôleurs particuliers. Le concessionnaire de mines était, en fait, un simple entrepreneur, qui prenait sa concession à forfait, moyennant paiement annuel d'une somme fixe, évaluée approximativement à un vingt-quatrième du produit présumé. Le contrat fait, l'État intervenait uniquement pour le faire respecter: d'une part, en fixant les limites du claim par un bornage superficiel et souterrain très soigné, avec description (*diagraphè*); de l'autre, en s'assurant qu'on n'en franchissait pas les limites souterrainement, qu'on n'incommodait pas ses voisins (par exemple, par les fumées des feux d'aérage), ou qu'on n'attaquait pas les piliers marqués pour être respectés: ce qui eût constitué un vol de minerai, beaucoup

plus encore qu'une atteinte à la sécurité des mineurs esclaves, intéressante surtout pour leur propriétaire. Les contraventions étaient constatées et punies, comme des délits quelconques, sans intervention d'un corps de contrôleurs ou d'inspecteurs spécial, mais en passant pourtant devant un tribunal particulièrement compétent, le *métallikon dikastèrion*.

En résumé, on voit que le travail se faisait, sans idée d'ensemble, par petits entrepreneurs isolés, comme les partidanos des mines espagnoles, comme les fermiers des mines de soufre siciliennes, ou comme les chercheurs d'or en pays anglo-saxons.

A ce défaut du morcellement s'ajoutait celui de concessions très limitées en durée; le temps « était donc de l'argent » dans ce cas, pour un Athénien comme pour un Yankee, et il avait, pour un motif tout différent, la même préoccupation d'arriver très promptement au minerai payant, afin d'en extraire le maximum, quitte à augmenter ses frais d'extraction et à gâcher le reste pour l'avenir. Il est même assez curieux que, dans l'évolution de l'industrie minière, on soit parti de cet état de choses, il y a vingt-trois ou vingt-quatre siècles, pour y revenir aujourd'hui, après une longue période où l'exploitation s'est faite, au contraire, par le système domanial d'Allemagne ou de Suède, en père de famille, avec le souci d'extraire jusqu'à la dernière parcelle de minerai, pour utiliser le plus complètement possible une richesse naturelle, en fournissant un travail prolongé à une population d'ouvriers.

II. — Exploitation de la mine.

Pour des raisons diverses, dont nous avons déjà dit un mot en passant, il y avait, dans une exploitation de mine athénienne, un singulier mélange de barbarie apparente sur certains points et d'habileté consommée sur d'autres.

Ainsi le désir d'arriver très vite aux chambres de minerai riche, aux *bonanzas*, poussait à restreindre, d'une façon vraiment extraordinaire, les dimensions de toutes les galeries qui n'étaient pas taillées dans le minerai. On est d'abord frappé, à la vue de toutes les mines antiques, aussi bien au Laurion qu'à Rio Tinto, par l'exiguïté de ces boyaux de 0^m,60 à 0^m,80 de large sur 0^m,60 à 1 mètre de haut, dans lesquels des gamins peuvent à peine s'introduire en rampant, comme des ramoneurs dans une cheminée. Mais, par ce moyen, tout en évitant les frais de boisage, on pouvait avancer, à la pointerolle et au pic, dans un calcaire compact, de près de 10 mètres par mois, c'est-à-dire presque autant qu'un moderne armé de ses explosifs, dans une galerie à grande section. Par contre, toutes les fois qu'il le pouvait sans inconvénient pour la rapidité de son travail, l'ingénieur antique apportait dans ses travaux ce soin merveilleux, qui fait d'un simple mur hellénique un objet d'art incomparable et se montrait le digne émule des architectes contemporains, qui ont su introduire, dans les lignes, dans les plans, dans les profils de l'Acropole, des inflexions si savantes et si habilement calculées. Les puits rectangulaires du Laurion sont taillés dans le calcaire marmoréen avec une verticalité parfaite, une régularité absolue de parements et parfois avec des artifices très ingénieux, notamment une curieuse torsion en spirale autour de leur axe vertical, sur laquelle nous allons revenir.

Cette remarque générale étant faite, examinons, tour à tour les divers chapitres d'un traité d'exploitation de mines antique.

a) **Instruments.** — Les mineurs athéniens avaient quatre outils en fer, dont on a trouvé de très nombreux spécimens dans leurs travaux :

Le marteau (*tupis*) (*fig. 1*), avec une tête plate pour frapper sur la pointerolle et une pointe à quatre pans pour

briser la roche; l'outil pesant 2^{kg},5, et son manche ayant 0^m,20 à 0^m,30 de longueur;

La pointerolle (*xois*) (*fig. 2*), simple tige de 0^m,25 à 0^m,30 de long et 0^m,02 à 0^m,03 de diamètre, avec une pointe en biseau à deux ou à quatre pans;



FIG. 1.
Marteau antique.



FIG. 2.
Pointerolle.

Le pic, composé d'une lame plate, mais épaisse, aiguë d'un bout, repliée de l'autre en forme de douille pour recevoir un manche assez fort et d'une longueur de 0^m,40.

Pour s'éclairer, ils portaient à la main (*) des lampes, soit en terre cuite, soit rarement en plomb, généralement à un bec et pouvant brûler une dizaine d'heures (ce qui indique la durée probable d'un poste). Il y avait, en outre, des lampes semblables à plusieurs becs, suspendues aux parois pour éclairer les carrefours.

Les transports se faisaient au moyen de sacs ou paniers (*thulakos*, *thulax*) en sparterie ou en cuir, munis de deux anses, à l'aide desquelles on les tenait sur le dos. On ne paraît pas avoir employé de chariots, ce que l'exiguïté des galeries aurait rendu presque partout impossible. Il est probable qu'on a une idée très exacte de ce qui se passait, à cet égard, dans les mines antiques, en visitant les mines actuelles de soufre en Sicile, où des gamins de huit à dix-huit ans, nommés *caruzzi*, chargent sur leur dos le minerai abattu par les *picconiere*, qui les payent directement. Chacun de ces enfants fait de vingt à quarante

(*) D'après DIODORE DE SICILE (III, 12,6), les mineurs d'Égypte portaient des lampes attachées sur le front, comme le font encore les ouvriers de bien des régions, qui accrochent la lampe à leur chapeau. (D'où, sans doute, la légende de l'œil des Cyclopes.)

voyages par jour en portant 20 à 30 kilogrammes, suivant son âge. Ils vont par longues files dans les galeries étroites (*buchi*), maintenant les gros morceaux directement sur leur dos ou renfermant les menus dans des sacs de jonc (*). Dans ces mêmes mines on fait souvent encore l'épuisement avec de simples bouteilles en terre cuite, de 16 à 20 litres de capacité, qu'on se passe de main en main. C'est là un système si rudimentaire qu'il doit remonter à l'antiquité. A Carthagène, on a trouvé, en outre, dans des mines antiques, des paniers en sparte goudronnés et fixés dans une monture en bois, qui servaient à l'extraction des eaux.

b) Percement des galeries et puits. — Travaux de traçage. — Les galeries de mine du Laurion ont, le plus souvent, une forme géométrique, rectangulaire, carrée ou trapézoïdale; parfois aussi, elles sont tout à fait irrégulières. Nous avons déjà dit combien leurs dimensions étaient exigües : 0^m,60 à 0^m,80 sur 0^m,60 à 1 mètre. Des percements laissés inachevés montrent bien comment on opérait.

Si l'on était au contact du calcaire et du schiste, on partait de la fissure de contact pour l'élargir. Si l'on était, au contraire, en plein calcaire, on taillait d'abord à la pointerolle, sur le front de taille, une rainure verticale de 0^m,10 à 0^m,12 de profondeur, à partir de laquelle on faisait sauter le rocher à droite et à gauche. Bien entendu, quand on se trouvait dans le minerai, on enlevait complètement celui-ci, et la galerie prenait ainsi les dimensions mêmes de l'énorme fissure remplie par les incrustations métallifères.

Les puits, qui sont très nombreux au Laurion et dans un état de conservation parfaite, étaient tous rectangu-

(*) « Egcruntque humeris noctibus ac diebus per tenebras proximis tradentes. » (PLINE, XXXIII, 4, 71)

lares ou carrés (jamais ronds); leur section ordinaire était de 1^m,30 sur 1^m,90; exceptionnellement, on atteignait 1^m,90 sur 2 mètres; leur profondeur arrive à 119 mètres. De distance en distance, on y voit des mortaises, qui supportaient des échelles en bois (*fig. 3*). Parfois ces échelles, au lieu d'être placées l'une au-dessus de l'autre, étaient disposées en escalier tournant, avec des paliers intermédiaires et, au centre, un espace libre pour le passage des paniers chargés de minerais. Dans ce cas, si l'on regardé le puits du fond, on a l'impression qu'il a subi une torsion autour de son axe vertical; il est, en effet, divisé en sections de 8 à 10 mètres de haut, dont les diagonales tournent peu à peu, d'une dizaine de degrés chaque fois, afin de faciliter le placement des échelles.

Quelques puits sont, en outre, munis d'une galerie latérale inclinée (*fig. 4*); au sol entaillé en escalier, par laquelle arrivaient les ouvriers.

Nous avons déjà vu comment, avec les progrès de l'industrie minière, on est passé peu à peu des travaux d'affleurement aux descenderies, enfin aux puits de recherches verticaux. Dans cette dernière période, une mine du Laurion présentait l'aspect de la *fig. 1*, Pl. I (mine de Demoliaki).

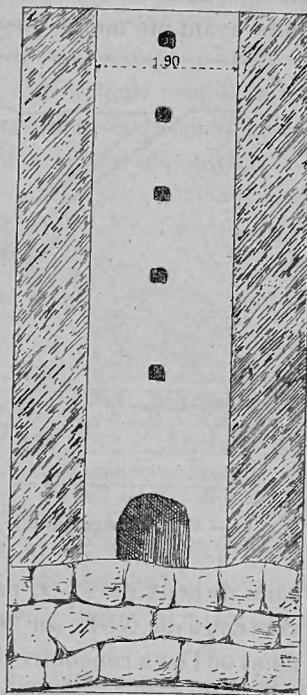


FIG. 3. — Puits de mine antique au Laurion (on voit les mortaises des échelles).

On peut se rendre compte, sur cette figure, que le travail a commencé par le percement des quatre puits Jupiter, Louis-Joseph, 3 et 4, aux quatresommets d'un quadrilatère allongé dans le sens de la pente connue des terrains. Ces puits ayant été menés jusqu'au contact métallifère, on est

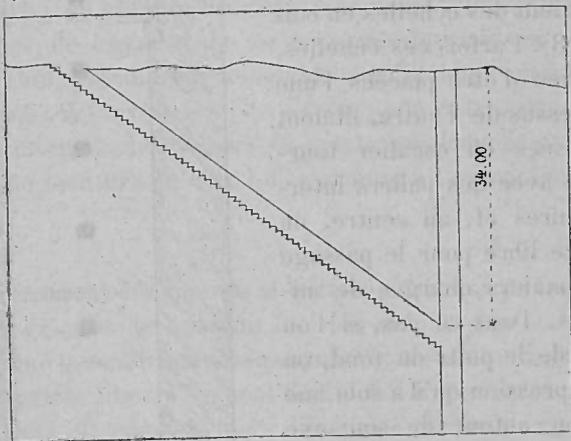


FIG. 4. — Coupe longitudinale du puits des Escaliers (Échelle $\frac{1}{4000}$).

parti de ceux du S.-O. par deux galeries qu'on a poussées vers ceux du N.-E. sur 200 mètres de long, jusqu'au moment où l'on a rencontré de grands amas. Arrivé là, on s'est mis à dépiler, tandis qu'on rejoignait les mêmes amas par deux galeries convergentes pour faciliter le travail et, enfin, pour desservir directement les chantiers d'abatage, on a percé au-dessus d'eux cinq petits puits.

c) **Dépilage.** — Quand les mineurs étaient arrivés à une grande masse de minerai, ils commençaient à la dépiler, en appliquant deux méthodes différentes (qui correspondent à peu près à nos gradins droits ou à nos gradins renversés), suivant qu'ils avaient débouché dans le gîte par en haut ou par en bas : ce dont ils commençaient par s'assurer au moyen de sondages verticaux.

Dans le premier cas, ils grattaient d'abord ce qui pouvait se trouver de minerai au-dessus de leur tête, puis s'approfondissaient en tranchée sous leurs pieds et se reliaient, de temps en temps, à la maîtresse galerie par des galeries inclinées.

Dans le second cas (*fig. 5*), ils enlevaient d'abord le minerai du fond jusqu'à la roche stérile, puis remblayaient et s'élevaient peu à peu sur le remblai, en perceant également sur le côté des galeries d'extraction obliques.

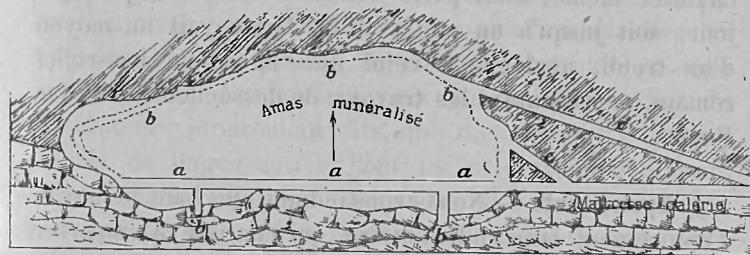


FIG. 5. — Abatage du minerai en montant (coupe verticale).
a, a, maîtresse galerie ; — b, b, sondages ; — c, c', galeries de raccord.

Exceptionnellement encore, il leur est arrivé de prendre en deux étages, séparés par une planche de minerai abandonnée, un amas, qu'ils avaient atteint à la fois par en haut et par en bas.

Enfin, des gisements d'allure filonienne ont été dépilés par gradins droits, et des gisements minces horizontaux par un réseau de galeries, semblables aux mailles d'un filet.

Cet abatage se faisait surtout au pic et à la pointerolle ; mais il semble également que les Grecs aient employé le système décrit par Diodore et Pline, qui consiste à chauffer la roche et à l'étonner par un jet d'eau : on a, en effet, trouvé des caniveaux descendants, qui avaient évidemment pour but d'amener de l'eau dans certains chantiers.

d) **Soutènement.** — Les galeries attiques étaient tellement étroites qu'elles ne nécessitaient aucun soutènement ;

il en est de même des puits taillés dans des terrains très résistants; au contraire, dans les dépilages de grandes masses, on a dû se garantir, soit par des piliers abandonnés de minerai, qu'on ménageait dans les parties les moins riches, soit par des piliers de remblais faits avec des stériles, soit enfin par des boisages assez rares, dont on retrouve des traces.

e) **Extraction.** — Le minerai, sommairement trié sur le chantier même, était porté dans des sacs, soit jusqu'au jour, soit jusqu'à un puits, où on l'extrayait au moyen d'un treuil, analogue à celui que figure un bas-relief romain, représentant les travaux de dessèchement du lac Fucin.

f) **Épuisement.** — Nous avons indiqué plus haut le moyen d'épuisement très rudimentaire, qui consiste à emporter l'eau dans des bouteilles en terre cuite ou des outres goudronnées. On n'a pas trouvé au Laurion de machines d'épuisement proprement dites; mais les mines romaines du Sud de l'Espagne permettent de compléter, à ce sujet, nos connaissances sur les méthodes antiques (*).

La *fig. 2*, Pl. I, représente une spirale d'Archimède trouvée à la mine de la Coronada (**). Il y en avait là trois semblables, disposées à la suite l'une de l'autre, de manière à élever l'eau en trois étapes successives.

Ailleurs, on employait des roues hydrauliques en bois de pin ou d'yeuse, et, à Tharsis, on n'en a pas trouvé moins de quatorze sur le même point, disposées en escalier par

(*) Nous empruntons ces détails sur les machines d'épuisement au livre de M. Gonzalo y Tarin sur la province d'Huelva (1868, *Mem. de la com. del mapa geológico*, t. II, p. 34).

(**) Sur cette figure, A représente le cylindre extérieur en douves de pin; B, une toile enveloppant ce cylindre; C, une corde tressée en sparte qui assujettit la toile; E, une cloison spiraloïde formée par 25 pièces de bois superposées et reliées par des clous de cuivre.

pires. La Pl. I, *fig. 3* et *4*, montre en coupe verticale et en plan, les deux roues du haut, dont la dernière déversait l'eau directement dans la galerie d'épuisement; la *fig. 5* représente à plus grande échelle les dispositions de détail d'une de ces roues. Des roues semblables ont été rencontrées également, dans la même région, à Santo-Domingo (Pl. I, *fig. 6*), au Balcon del Morro, etc.

Ces roues à augets avaient jusqu'à 4^m,50 de diamètre.

g) **Aérage.** — L'aérage devait être assez difficile au Laurion avec ces kilomètres de galeries étroites et sinueuses, qu'un homme en passant obstruait presque complètement. Les anciens ne connaissaient, en fait de ventilateurs proprement dits, que des sortes d'éventails formés de linges agités, dont ils se servaient, d'après Pline, pour le creusement des puits; mais ils ont su diriger l'air dans les travaux en réglant son chemin au moyen de cloisons divisant un puits en deux, ou de remblais entassés à l'entrée de certaines galeries latérales; et surtout, dans les cas extrêmes, ils ont eu recours à des foyers pour activer le tirage dans les puits. Néanmoins, le travail dans leurs mines était des plus pénibles à cause du manque d'air et, pour cette raison, abandonné à des esclaves, qui, bien que totalement dévêtus, ne pouvaient y séjourner longtemps.

III. — Traitement métallurgique.

Le minerai de plomb argentifère, extrait de la mine après un premier triage sommaire, était transporté dans les usines (*ergasteria*), où on le soumettait: d'abord à une préparation mécanique (*a*, broyage, et *b*, lavage); puis à un traitement métallurgique (*c*, fusion, et *d*, coupellation).

a) La préparation mécanique commençait par un second triage, ayant pour but d'éliminer comme stériles tous les fragments à moins de 10 p. 100 de plomb, qu'on entassait en d'énormes monceaux, dont le cube, quand on a repris les mines de nos jours, montait à près de 14 millions de tonnes. Puis on broyait les minerais dans des mortiers et dans des meules.

Les mortiers, qui nous sont connus par divers spécimens, étaient en trachyte, profonds de 0^m,40 à 0^m,60, avec un couvercle percé d'un trou pour laisser passer le pilon en fer (fig. 6).

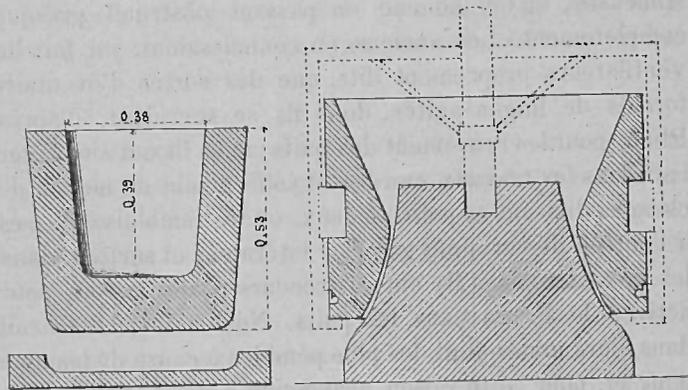


FIG. 6. — Mortier antique.
(Échelle au $\frac{1}{20}$).

FIG. 7. — Meule antique.
(Échelle au $\frac{1}{20}$).

Les meules, qui leur succédaient dans le traitement, ressemblent aux meules à farine retrouvées à Pompéi (fig. 7). Elles se composent d'un anneau circulaire tournant autour d'un noyau fixe concentrique; le minerai était broyé dans l'intervalle.

En soulevant ou abaissant l'anneau mobile, on augmentait ou diminuait l'écartement, modifiant du même coup la finesse du broyage. Un tel appareil, qui pouvait passer 4 tonnes par vingt-quatre heures, était mis en mouve-

ment par quatre ou six hommes, agissant sur des barres fixées à l'anneau mobile par l'intermédiaire d'un cadre de bois. Le minerai était ainsi réduit en un sable fin, de la grosseur d'un grain de millet (*kenchros*: d'où le nom de *kenchreôn* donné à l'atelier), que l'on passait au crible pour avoir des produits de dimension bien uniforme et transportait ensuite à la laverie.

b) On peut voir encore au Laurion de nombreux exemples de laveries antiques, dont la fig. 8 montre la disposition générale.

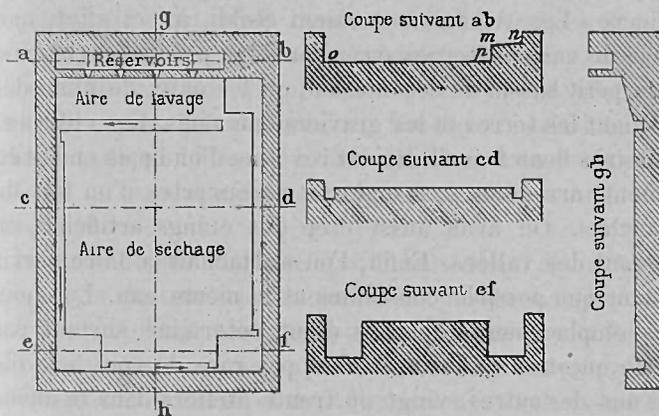


FIG. 8. — Laverie antique (plan et coupes) (Échelle aux $\frac{3}{800}$).

Un atelier de ce genre comprend essentiellement : un réservoir supérieur laissant échapper des filets d'eau par une série de petits orifices coniques; une aire inclinée, où l'on étalait et rablait le minerai tamisé, afin d'obtenir la séparation des grains légers entraînés dans le courant d'eau et des minerais plus lourds restant sur la table; enfin une aire de séchage, où l'on étendait la partie inférieure et métallifère des schlichs déposés dans les diverses parties du canal de départ. L'eau, remontée par des es-

claves, était versée par eux en *mn* pour venir remplir de nouveau le réservoir *op*.

Ces appareils, dont les dimensions et le profil varient beaucoup suivant les endroits, et très probablement suivant les minerais à traiter, sont toujours construits très soigneusement en maçonnerie, avec un revêtement de mortier imperméable de 0^m,02 à 0^m,10 d'épaisseur, recouvert à son tour par un enduit de ciment d'une dureté remarquable.

L'approvisionnement d'eau était là, comme dans beaucoup de nos industries modernes, une grosse difficulté à vaincre. Les Athéniens avaient établi, à cet effet, une série de vastes citernes en maçonnerie, précédées chacune d'un petit bassin de décantation, où les eaux de pluie déposaient les terres et les graviers entraînés. Ces citernes, d'un très beau travail, étaient revêtues d'un épais enduit de ciment, arrondies aux angles et recouvertes d'un toit de planches. On avait aussi créé des étangs artificiels en barrant des vallées. Enfin, l'on s'attachait à faire servir autant que possible constamment la même eau. Le choix des emplacements d'usines étant déterminé surtout par cette question de l'eau, il n'est pas rare de voir, à la file les uns des autres, vingt ou trente ateliers dans le même ravin.

La composition ordinaire d'un groupe comportait une citerne et deux laveries; parfois on allait jusqu'à six ou sept laveries, avec trois citernes. On a, en les parcourant, l'impression d'une série de petits ateliers distincts ayant dû appartenir chacun à un entrepreneur.

c) Fours de fusion. — Si l'on est très bien renseigné sur le travail des mines et sur la préparation mécanique au Laurion, on l'est beaucoup moins sur la métallurgie; car il ne reste plus aujourd'hui aucun des fours employés, et l'on n'a pour guide que les descriptions sommaires de

ceux qui ont vu les quelques fours retrouvés au moment de la reprise récente des mines avant leur destruction et les hypothèses résultant de la composition des scories.

M. Cordella a pu examiner quelques-uns des fours découverts, les uns sous les scories anciennes, d'autres sur celles-ci, provenant sans doute d'une période postérieure. C'étaient des fours à manche très peu élevés, de forme ronde et d'environ 1 mètre de diamètre, construits avec le micaschiste du Laurion et les trachytes réfractaires de Milo. On les flanquait de tuyères pour produire l'oxydation et on leur donnait, suivant Strabon, de hautes cheminées, afin d'obtenir la condensation des fumées argentifères. Le traitement devait se faire par réaction, comme dans la plupart des métallurgies primitives et procéder du même principe que celui du bas-foyer carinthien. La présence de globules de galène empâtés dans les scories prouve qu'on n'atteignait pas une température bien élevée.

Le combustible employé était le bois, ce qui amena rapidement la destruction des forêts de pin du Laurion; en outre, on ajoutait certainement des fondants, tels que la chaux et la fluorine, qui existaient dans le gisement même, mélangées au minerai, et dont l'expérience avait dû bientôt enseigner l'avantage.

Le travail donnait, en outre du plomb d'œuvre, une scorie, dont la teneur en plomb n'était pas moindre de 10 p. 100. Dès le temps de Strabon, on eut l'idée d'en reprendre une partie, et l'on descendit alors à 2 ou 3 p. 100 de plomb; mais le retraitement des scories dans l'ensemble est surtout une entreprise moderne, qui, commencée en 1864, dure encore aujourd'hui.

d) Coupellation. — La coupellation, très exactement décrite par Pline, est une des opérations métallurgiques qui ont été le plus anciennement connues. Là découverte

d'une petite coupelle en terre au Laurion et celle de plaques de litharge confirment l'opinion, presque évidente *a priori*, que l'argent du Laurion était extrait par ce procédé. Cette coupellation était fort bien faite, comme le montre l'analyse des litharges et celle des saumons de plomb antique, qui contiennent à peine 15 à 20 grammes d'argent aux 100 kilogrammes.

On s'est demandé, pour expliquer deux textes de Strabon et de Pline, si les Athéniens n'auraient pas employé des fours à deux étages, le supérieur servant à la fusion, le second à la coupellation. Jusqu'à confirmation ultérieure résultant de quelque découverte archéologique, l'idée d'une telle complication d'appareils nous semble assez peu vraisemblable.

Toujours est-il que l'argent devait être ensuite raffiné avec une grande habileté; car la moyenne des pièces athéniennes de la bonne époque renferme 980 millièmes de fin.

Les litharges étaient revivifiées, et l'on vendait le plomb (*plumbum nigrum, molybdos*), qui avait une série d'emplois pour les tuyaux, les scellements, la fabrication de divers objets, etc. En outre, on râclait les cheminées pour obtenir diverses substances, connues sous le nom de cadmie, spodos, molybdène, qui étaient peut-être de l'oxyde de zinc, de l'oxyde d'antimoine, des carbonates et sulfates de plomb, et qu'on utilisait surtout comme produits médicinaux.

IV. — Organisation du travail, main-d'œuvre et résultats commerciaux.

Les travaux de mine et de métallurgie au Laurion étaient, en principe, abandonnés à des esclaves, les hommes libres se bornant à les diriger ou à exécuter certaines opérations plus délicates; le rôle de ces derniers devait

être à peu près celui des blancs vis-à-vis des Cafres et des Zoulous dans une mine du Transvaal. Des contremaitres ou épistates esclaves servaient d'intermédiaires entre le patron et l'ouvrier. Un bon épistate pouvait s'acheter jusqu'à 6.000 francs.

La durée de combustion des lampes paraît montrer que les postes étaient de dix heures, et ces postes se succédaient sans interruption jour et nuit, toujours en raison de la valeur qu'avait le temps pour l'entrepreneur athénien. Le travail du mineur paraissait exceptionnellement dur aux écrivains anciens, comme il le semble encore, en général, aux publicistes modernes. Il est certain qu'avec des galeries si exigües et une ventilation insuffisante il ne devait rien offrir de bien attrayant. Toutefois l'esclavage, contrairement à l'idée préconçue que l'on peut s'en faire tout d'abord, devait entraîner une certaine douceur relative dans le traitement des ouvriers, la mort ou la maladie d'un esclave représentant pour son maître une perte sèche en argent, qui n'existe pas toujours avec des hommes libres (*).

L'examen des travaux du Laurion montre que les ouvriers étaient fort nombreux. Cinq mineurs devaient, en moyenne, fournir du travail à vingt porteurs; avec les trieurs, l'épistate et les gardiens, on arrive, pour une petite exploitation moyenne, à une trentaine d'ouvriers et, dans les époques d'activité, il y eut certainement plus de cent exploitations semblables. De même, on peut estimer à 30 hommes le personnel d'une laverie et, dans une seule vallée, le val Botzaris, on en compte 28 de cette importance, soit 840 ouvriers.

Il est difficile de préciser davantage; tout concorde néanmoins à prouver qu'à l'époque de Périclès la population du Laurion dépassait 20.000 âmes.

(*) Au IV^e siècle, le prix moyen d'un esclave de mine était de 160 francs.

Ces esclaves n'appartenaient pas toujours à celui qui les employait ; quand on manquait de capitaux, on pouvait se contenter de les louer, moyennant une obole par jour (16 centimes), à des entrepreneurs, qui se faisaient une spécialité de ce négoce. L'opération était si fructueuse pour ceux-ci, que Xénophon, socialiste à son heure, émit un jour l'idée de la faire monopoliser par l'État. En outre de la location, il fallait compter deux oboles de nourriture et deux oboles pour l'entretien et l'amortissement, soit au total 0 fr. 80 par jour et par ouvrier.

Les produits marchands du Laurion étaient l'argent, le plomb, le minium, l'ocre, la cadmie et le spodos.

L'argent, coulé dans des moules de terre cuite et de marbre, se vendait en lingots, que l'on appelait, suivant leurs formes, tantôt des obélisques et tantôt des dauphins (*delphis*), l'équivalent direct de notre expression : saumon.

Quand cet argent était destiné à la frappe des monnaies, on le portait à l'*Argyrokopeion*, c'est-à-dire à l'hôtel des monnaies d'Athènes. Les pièces que l'on frappait là eurent longtemps, pour leur finesse de titre, leur régularité de poids, leur beauté de lignes, une réputation universelle, et servaient dans l'antiquité pour tous les échanges internationaux, comme purent le faire plus tard, dans un monde agrandi, les sequins vénitiens ou les piastres mexicaines.

Les Romains, en imposant leurs contributions de guerre aux cités helléniques, avaient soin de stipuler qu'elles seraient payées en argent attique.

Le monnayage absorbait des quantités d'argent, dont un détail précis montrera toute l'importance : peu avant la guerre du Péloponèse, nous savons que le trésor de l'Acropole, — dont le rôle, à Athènes, se rapprochait de celui attribué aujourd'hui à nos banques d'Etat, — contenait 60 millions de francs (10.000 talents) en argent monnayé,

et il devait y en avoir au moins autant en circulation dans le commerce.

En outre de cet emploi essentiel, l'argent trouvait, dans le monde grec, un grand débouché sous forme d'objets d'art, statues, vases, bijoux, armes, meubles, etc. ; les temples enrichissaient sans cesse leurs merveilleux trésors d'orfèvrerie ; les particuliers satisfaisaient leur goût de ce que nous appellerions le bibelot artistique, ou leur vaniteuse ostentation de luxe.

Par suite de ces applications diverses, il n'y eut jamais, malgré l'active exploitation du Laurion, surproduction d'argent, et la valeur de ce métal par rapport à celle de l'or, qui était de 1/14 vers 438, monta même à 1/10 de 300 à 250.

En outre de l'argent, les mines du Laurion vendaient leur plomb, et nous connaissons le prix de cette dernière substance en 408 : 13 francs les 100 kilogrammes, ainsi qu'en 395 : 7 francs les 100 kilogrammes. Ces deux chiffres montrent que déjà, à cette époque, le cours des métaux pouvait, en moins de quinze ans, baisser de moitié, et, déjà également, l'on spéculait sur ces variations. Dans *les Économiques*, il est question d'un personnage qui achète le plomb à 7 francs pour le revendre à 20. Ce plomb servait surtout pour la tuyauterie, pour le scellement des édifices et pour la fabrication de divers objets.

Enfin, comme produits accessoires, on tirait du Laurion des matières colorantes, telles que le *kinnabari*, ou cinabre, qui était en réalité du minium, et le *sil* attique, qui était de l'ocre jaune, puis la cadmie et les oxydes d'antimoine (*spodos*), dont on extrayait des médicaments ; enfin, de prétendues émeraudes, qui pouvaient être de la fluorine ou de l'adamine.

En résumé, — et c'est là un point d'une grande importance historique, — ces mines du Laurion faisaient d'Athènes le principal et presque unique marché d'argent

et de plomb du monde grec, une Swansea ou une Londres de l'antiquité, si l'on nous permet cette comparaison. La pauvre Attique, dont le sol n'eût pu suffire à nourrir ses habitants, trouvait là, dans les profondeurs de ses terrains arides, les ressources qui lui permirent de vivre, de prospérer, de commercer et de conquérir. C'est la science du mineur et celle du métallurgiste qui ont donné à l'artiste et au poète, nés sur cette terre enrichie par leur labeur, le loisir et l'occasion d'y réaliser leur rêve et, si la pensée du monde civilisé gravite encore autour de cet éternel centre intellectuel que fut Athènes, si la moisson d'idéal et de beauté, semée un jour sur les pentes de l'Acropole, se renouvelle et se multiplie sans cesse pour la joie de notre esprit, nous le devons sans doute à l'obscur sémite phénicien, qui, le premier, reconnut la valeur des galènes concentrées dans les fractures du sol et sut s'ingénier assez pour en retirer, à la sueur de son front, un méprisable argent.

ANALYSES

DES

EAUX MINÉRALES FRANÇAISES

EXÉCUTÉES

AU BUREAU D'ESSAI DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES

Par M. ADOLPHE CARNOT,

Inspecteur général des Mines, membre de l'Institut.

Nous avons déjà publié, dans les *Annales des Mines*, deux longues séries d'*analyses des eaux minérales françaises*.

La *première série* comprenait les analyses faites par le Bureau d'essai depuis sa création, en 1845, jusqu'à la fin de l'année 1884, période pendant laquelle il a été successivement dirigé par E. Rivot (1845-1866), par L. Moissenet (1869-1876) et par A. Carnot (1877-1884). Les analyses étaient au nombre de 255. Jusqu'en 1878, elles ne présentaient que les résultats directs du dosage des divers éléments, sans aucun essai de groupement sous forme de sels; mais, à dater de janvier 1879, nous avons cru devoir ajouter à l'*analyse élémentaire* le tableau de la *composition calculée*, obtenue en groupant les éléments entre eux, suivant les probabilités les plus grandes et d'accord avec les données thermo-chimiques.

En 1894, nous avons donné une *seconde série*, contenant 207 analyses nouvelles, exécutées de janvier 1885 à la fin de juin 1894. Nous y avons continué la présentation des analyses sous deux formes distinctes, sachant qu'elle avait trouvé bon accueil auprès des médecins, à qui elle

facilite la comparaison des eaux minérales au point de vue de leurs propriétés curatives.

Après la publication de ce travail et celle, qui se faisait à la même époque sous les auspices du Comité consultatif d'hygiène publique, du grand ouvrage de MM. Jacquot et Willm : *les Eaux minérales de la France*, on aurait pu croire qu'il ne resterait plus guère, dans notre pays, de sources qui ne fussent pas déjà connues et analysées. Mais notre territoire est si riche en sources minérales que le nombre des envois d'eaux n'a fait que croître depuis ces publications. Dans les cinq dernières années, nous avons eu à exécuter 122 analyses de sources minérales, c'est-à-dire plus, en moyenne, que pendant la période des dix années précédentes et quatre fois autant annuellement que pendant les quarante premières années d'existence du Bureau d'essai.

La *troisième série*, que nous publions aujourd'hui, comprend toutes les analyses exécutées, de juillet 1894 à la fin de juin 1899, sur les sources minérales de la France et sur quelques sources de la Tunisie, de l'Annam et des îles Comores. Toutes ces analyses ont été faites, ainsi que les précédentes, sous notre direction; la plupart l'ont été par les soins de M. Goutal, chimiste du Bureau d'essai.

Nous avons continué à donner, pour chaque source, le tableau de l'*analyse élémentaire* et celui de la *composition calculée*.

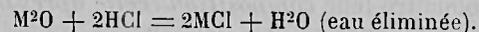
Tous les résultats ont été uniformément rapportés à 1 litre d'eau minérale à la température ordinaire.

Les *acides oxygénés*, qui figurent dans les tableaux d'analyse élémentaire, ont toujours été calculés à l'état d'anhydrides (CO^2 , SO^3 , Az^2O^5 , As^2O^5); les *bases* ont été, de même, portées sous la forme d'oxydes anhydres (CaO , MgO , Na^2O , K^2O , FeO , Fe^2O^3 ...). Dans le tableau de la composition calculée, les *sels* sont également toujours

supposés *anhydres*. C'est, d'ailleurs, une convention à peu près universellement adoptée aujourd'hui, pour éviter tout malentendu dans l'interprétation des analyses d'eaux minérales.

Nous continuons à faire figurer dans nos analyses le poids de l'*extrait sec*, trouvé par évaporation de l'eau et dessiccation à la température de 180° . Cette donnée peut être utile à plusieurs points de vue; elle permet de s'assurer, par une opération relativement simple, si la source conserve une composition invariable ou si, au contraire, elle se modifie d'une époque à une autre; elle fournit, d'autre part, un précieux contrôle sur l'ensemble des dosages.

Ce n'est pas que l'extrait sec doive être précisément égal à la somme des éléments dosés; mais il en diffère d'une quantité, qui peut être, en général, assez exactement appréciée. La différence se compose de: 1° tout l'acide carbonique libre; 2° la moitié de l'acide carbonique des bicarbonates; 3° le poids de l'eau éliminée par le fait de la combinaison des hydracides avec les oxydes pour former des sels anhydres. L'acide chlorhydrique, par exemple, donne avec un oxyde :



Il en est de même pour les acides bromhydrique, iodhydrique, sulfhydrique; mais, si le poids d'eau correspondant à ces derniers acides est négligeable, comme il arrive presque toujours, le troisième terme de la différence (H^2O) se trouvera presque exactement égal au quart du poids de l'acide chlorhydrique (2HCl), qui figure dans l'analyse élémentaire (18 pour 73). Les deux premiers termes sont également fournis par le tableau de l'analyse élémentaire. Il est donc très facile de calculer l'écart, qui doit normalement exister entre l'extrait sec et la somme des poids des éléments.

Il convient cependant de remarquer que cet écart peut être quelquefois altéré par la présence de substances, qui ne se dessèchent pas complètement à 180° sans décomposition, comme la silice, les nitrates ou encore le sulfate et le chlorure de magnésium.

Nous terminerons ce préambule par une dernière observation, qui n'est pas sans importance.

Les eaux minérales que nous analysons à l'École des Mines ont toujours subi la mise en bouteilles et le transport depuis la source jusqu'au laboratoire. Nous nous efforçons d'obtenir, par l'envoi préalable d'instructions aux expéditeurs, que tous les soins soient pris pour le nettoyage des bouteilles, leur remplissage et leur fermeture, en présence du maire de la commune ou de son représentant, chargé de certifier l'origine de l'eau à analyser.

Malgré ces précautions, on ne peut pas être certain qu'il n'y ait eu ni perte de gaz, ni aucune des altérations sur lesquelles nous avons appelé l'attention dans notre notice de 1894, notamment pour les eaux gazeuses, ferrugineuses ou sulfureuses. Les analyses peuvent donc ne pas représenter avec une fidélité parfaite la composition des eaux à la source même; mais elles ont l'avantage de faire connaître leur *composition réelle après transport*, c'est-à-dire dans l'état même où elles se trouvent, lorsqu'elles sont utilisées loin de la source.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER.

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE. — CANTON DE GUSSET.

Commune de Vichy. — Sources : Célestins 1870 et Grotte des Célestins.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	CÉLESTINS	GROTTE
	1870	des Célestins
	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	1,4287	0,6218
Acide carbonique des bicarbonates.....	2,6513	2,7282
Acide chlorhydrique.....	0,2505	0,2495
Acide sulfurique.....	0,1307	0,1331
Acide azotique.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Acide phosphorique.....	traces	traces
Acide arsénique.....	0,00035	0,00035
Silice.....	0,0310	0,0320
Protoxydes de fer et de manganèse.....	0,0040	0,0050
Chaux.....	0,3034	0,2944
Magnésie.....	0,0292	0,0425
Lithine.....	0,0075	0,0070
Potasse.....	0,1450	0,1430
Soude.....	1,6875	1,7330
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	6,66915	5,98985
Extrait sec à 180°.....	3,8360	3,9250
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	1,4287	0,6218
Silice.....	0,0310	0,0320
Bicarbonate de fer et de manganèse.....	0,0088	0,0111
— de calcium.....	0,7801	0,7570
— de magnésium.....	0,0930	0,1360
— de lithium.....	0,0295	0,0276
— de potassium.....	0,2804	0,2766
— de sodium.....	3,3214	3,4292
Sulfate de sodium.....	0,2320	0,2362
Arséniate de sodium.....	0,0008	0,0008
Phosphate de sodium.....	traces	traces
Azotate de sodium.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Chlorure de sodium.....	0,4015	0,3999
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	6,6072	5,9282

Analyses du 23 novembre 1892.

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE. — CANTON DE CUSSET (Suite).

Commune de Saint-Yorre. — Lieu dit *Graviers de l'Auriol*. — Source Pelletier.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,9210	Acide carbonique libre.....	1,9210
Acide carbon. des bicarbonates.	3,3537	Silice.....	0,0125
Acide chlorhydrique.....	0,3456	Bicarbonate de fer.....	0,0200
Acide sulfurique.....	0,1560	— de manganèse. tr. faibles	—
Acide azotique..... faibles traces	—	— de calcium.....	0,3640
Acide arsénique..... tr. notables	—	— de magnésium.....	0,0646
Silice.....	0,0125	— de lithium. tr. très notables	—
Protoxyde de fer.....	0,0090	— de potassium.....	0,3868
Oxyde de manganèse..... traces	—	— de sodium.....	4,9245
Chaux.....	0,1416	Sulfate de sodium.....	0,2769
Magnésie.....	0,0202	Azotate de sodium..... faibles tr.	—
Lithine..... tr. notables	—	Arséniate de sodium..... tr. notables	—
Potasse.....	0,2000	Chlorure de sodium.....	0,5539
Soude.....	2,4500	Matières organiques.....	traces
Matières organiques..... faibles traces	—	Total.....	8,5242
Total.....	8,6096		
Extrait sec à 180°.....	4,9155	Analyse du 15 avril 1897.	

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE. — CANTON DE CUSSET (Suite).

Commune de Saint-Yorre. — Source du Cratère. — 1^{er} envoi.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,6330	Acide carbonique libre.....	1,6330
Acide carbon. des bicarbonates.	3,2830	Silice.....	0,0120
Acide chlorhydrique.....	0,3481	Bicarbonate de fer.....	0,0160
Acide sulfurique.....	0,1512	— de calcium.....	0,2894
Acide arsénique.....	0,0001	— de magnésium.....	0,0410
Silice.....	0,0120	— de potassium.....	0,3926
Protoxyde de fer.....	0,0072	— de sodium.....	4,9083
Chaux.....	0,1126	Sulfate de sodium.....	0,2684
Magnésie.....	0,0128	Arséniate de sodium.....	0,0002
Lithine.....	0,0081	Chlorure de sodium.....	0,5273
Potasse.....	0,2030	— de lithium.....	0,0230
Soude.....	2,4256	Matières organiques.....	traces
Matières organiques..... traces	—	Total.....	8,1112
Total.....	8,1907		
Extrait sec à 180°.....	4,8360	Analyse du 1 ^{er} juin 1895.	
Oxyde de fer déposé, par litre..	0,032		

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE. — CANTON DE CUSSET (Suite).

Commune de Saint-Yorre. — Source du Cratère. — 2^e envoi, fait sous le nom de Source Suprême.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,6220	Acide carbonique libre.....	1,6220
Acide carbon. des bicarbonates.	3,2940	Silice.....	0,0120
Acide chlorhydrique.....	0,3481	Bicarbonate de fer.....	0,0073
Acide sulfurique.....	0,1512	— de calcium.....	0,2894
Acide arsénique.....	0,0001	— de magnésium.....	0,0410
Silice.....	0,0120	— de potassium.....	0,3926
Protoxyde de fer.....	0,0033	— de sodium.....	4,9352
Chaux.....	0,1126	Sulfate de sodium.....	0,2684
Magnésie.....	0,0128	Arséniate de sodium.....	0,0002
Lithine.....	0,0081	Chlorure de sodium.....	0,5273
Potasse.....	0,2030	— de lithium.....	0,0230
Soude.....	2,4367	Matières organiques.....	traces
Matières organiques..... traces	—	Total.....	8,1184
Total.....	8,2039		
Extrait sec à 180°.....	4,8550	Analyse du 13 mai 1896.	

ARRONDISSEMENT DE LA PALISSE. — CANTON DE CUSSET (Suite).

Quartier du Chambon. — Source Régina.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,0064	Acide carbonique libre.....	1,0064
Acide carbon. des bicarbonates.	1,7000	Silice.....	0,0211
Acide chlorhydrique.....	8,0747	Bicarbonate de fer.....	0,0178
Acide sulfurique.....	0,1183	— de manganèse..... traces	—
Acide arsénique.....	0,0010	— de calcium.....	0,4500
Silice.....	0,0211	— de magnésium.....	0,1037
Protoxyde de fer.....	0,0080	— de lithium..... tr. notables	—
— de manganèse..... traces	—	— de potassium.....	0,1731
Chaux.....	0,1750	— de sodium.....	2,1480
Magnésie.....	0,0324	Sulfate de sodium.....	0,2100
Lithine..... tr. notables	—	Arséniate de sodium.....	0,0015
Potasse.....	0,0895	Chlorure de sodium.....	0,1197
Soude.....	1,0434	Matières organiques..... tr. sensibles	—
Matières organiques bitumineuses..... tr. sensibles	—	Total.....	4,2513
Total.....	4,2698		
Extrait sec à 180°.....	2,3765	Analyse du 4 mai 1898.	

DÉPARTEMENT DE L'ALLIER (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTLUÇON.

Commune de Saint-Victor. — Source Notre-Dame à Thézon. — 1^{er} envoi.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	2,1850	Acide carbonique libre.....	2,1850
Acide carbon. des bicarbonates.	0,3500	Silice.....	0,0735
Acide chlorhydrique.....	0,0323	Bicarbonate de fer.....	0,0371
Acide sulfurique.....	0,0064	— de manganèse.....	0,0016
Acide arsénique..... tr. sensibles		— de calcium.....	0,2650
Silice.....	0,0735	— de magnésium.....	0,1862
Protoxyde de fer.....	0,0167	— de sodium.....	0,0659
— de manganèse.....	0,0007	Sulfate de sodium.....	0,0114
Chaux.....	0,1030	Arséniate de sodium..... tr. sensibles	
Magnésie.....	0,0582	Chlorure de sodium.....	0,0415
Lithine..... tr. faibles		— de potassium.....	0,0131
Potasse.....	0,0083	— de lithium..... tr. faibles	
Soude.....	0,0542	Matières organiques..... tr. notables	
Matières organiques..... tr. notables		Total.....	2,8803
Total.....	2,8883		
Extrait sec à 180°.....	0,4913		
Peroxyde de fer en suspension.	0,0411		

Analyse du 13 mars 1895.

2^e envoi.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,9016	Acide carbonique libre.....	1,9016
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4074	Silice.....	0,0710
Acide chlorhydrique.....	0,0147	Bicarbonates de fer et de man-	
Acide sulfurique.....	0,0048	ganèse.....	0,0760
Acide azotique..... faibles traces		— de calcium.....	0,2700
Acide arsénique..... tr. sensibles		— de magnésium.....	0,1868
Silice.....	0,0710	— de sodium.....	0,1229
Protoxyde de fer.....	0,0342	Sulfate de sodium.....	0,0085
Chaux.....	0,1050	Arséniate de sodium..... tr. sensibles	
Magnésie.....	0,0584	Chlorure de sodium.....	0,0170
Lithine..... tr. faibles		— de potassium.....	0,0084
Potasse.....	0,0053	— de lithium..... tr. faibles	
Soude.....	0,0636	Matières organiques..... tr. notables	
Matières organiques..... tr. notables		Total.....	2,6622
Total.....	2,6660		
Extrait sec à 180°.....	0,5053		

Analyse du 23 septembre 1895.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS.

Commune de Vals-les-Bains. — Quartier de Flux. — Sources : la Flux, la Royale, la Gazeuse.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	La Flux	La Royale	La Gazeuse
	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0882	0,9567	0,9613
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,0462	1,8397	1,8467
Acide chlorhydrique.....	0,0025	0,0334	0,0335
Acide sulfurique.....	0,0108	0,0136	0,0137
Silice.....	0,0471	0,0820	0,0798
Protoxyde de fer..... tr. notables		0,0093	0,0093
Chaux.....	0,0126	0,1519	0,1536
Magnésie.....	0,0072	0,0872	0,0883
Lithine..... tr. sensibles		0,0040	0,0040
Potasse.....	0,0020	0,0952	0,0957
Soude.....	0,0162	0,9529	0,9541
Matières organiques.....	es	traces	traces
Total.....	0,2328	4,2259	4,2400
Extrait sec à 180°.....	0,1069	2,2954	2,3067

COMPOSITION CALCULÉE			
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0882	0,9567	0,9613
Silice.....	0,0471	0,0820	0,0798
Bicarbonate de fer..... tr. notables		0,0207	0,0207
— de calcium.....	0,0324	0,3905	0,3949
— de magnésium.....	0,0230	0,2790	0,2826
— de lithium..... tr. sensibles		0,0157	0,0157
— de potassium.....	0,0038	0,1841	0,1851
— de sodium.....	0,0150	2,2113	2,2137
Sulfate de sodium.....	0,0182	0,0241	0,0243
Chlorure de sodium.....	0,0040	0,0535	0,0537
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	0,2317	4,2176	4,2318

Analyses du 28 avril 1898.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS (Suite).

Commune de Vals-les-Bains. — Quartier de Flux. — Sources :
Saint-Jacques, Normale et Supérieure.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	St-Jacques	Normale	Supérieure
	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	1,6466	2,0981	1,4225
Acide carbonique des bicarbonates.....	2,5999	1,9415	1,3273
Acide chlorhydrique.....	0,0524	0,0600	0,0290
Acide sulfurique.....	0,0200	0,0267	0,0210
Silice.....	0,0612	0,0436	0,0625
Protoxyde de fer et de manganèse.....	0,0045	0,0041	0,0050
Chaux.....	0,1658	0,1535	0,2036
Magnésie.....	0,0888	0,0825	0,1694
Lithine.....	0,0058	0,0050	0,0045
Potasse.....	0,1203	0,1262	0,1450
Soude.....	1,4755	1,0448	0,3790
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	6,2408	5,5860	3,7688
Extrait sec à 180°.....	3,2665	2,4048	1,6665
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	1,6466	2,0981	1,4225
Silice.....	0,0612	0,0436	0,0625
Bicarbonate de fer et de manganèse.....	0,0100	0,0091	0,0111
— de calcium.....	0,4263	0,3947	0,5236
— de magnésium.....	0,2842	0,2640	0,5421
— de lithium.....	0,0228	0,0197	0,0177
— de potassium.....	0,2326	0,2441	0,2804
— de sodium.....	3,4247	2,3543	0,8180
Sulfate de sodium.....	0,0355	0,0474	0,0373
Chlorure de sodium.....	0,0840	0,0962	0,0465
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	6,2279	5,5712	3,7617

Analyses du 20 avril 1896.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS (Suite).

Commune de Vals-les-Bains. — Quartier de Flux. — Source des
Colonies.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	1,7613
Acide carbon. des bicarbonates.....	2,7547
Acide chlorhydrique.....	0,0597
Acide sulfurique.....	0,0213
Acide azotique..... faibles traces	—
Silice.....	0,0550
Protoxyde de fer et de manganèse.....	0,0082
Chaux.....	0,2201
Magnésie.....	0,1263
Lithine.....	0,0041
Potasse.....	0,0584
Soude.....	1,5146
Matières organiques.....	traces
Total.....	6,5837
Extrait sec à 180°.....	3,4061
	gr.
Acide carbonique libre.....	1,7613
Silice.....	0,0550
Bicarb. de fer et de manganèse.....	0,0182
— de calcium.....	0,5659
— de magnésium.....	0,4042
— de potassium.....	0,1130
— de lithium.....	0,0164
— de sodium.....	3,5014
Sulfate de sodium.....	0,0378
Azotate de sodium.....	traces faibles
Chlorure de sodium.....	0,0957
Matières organiques.....	traces
Total.....	6,5689
	gr.
Extrait sec à 180°.....	3,4061

Analyse du 30 septembre 1895.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS (Suite).

Commune de Vals-les-Bains. — Quartier des Garnières. — Source
Phénix, anciennement l'Effervescente.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	1,0986
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,7308
Acide chlorhydrique.....	0,0163
Acide sulfurique.....	0,0143
Acide arsénique.....	traces
Silice.....	0,0500
Protoxyde de fer.....	0,0081
Chaux.....	0,0632
Magnésie.....	0,0436
Lithine.....	0,0030
Potasse.....	0,0335
Soude.....	0,3670
Matières organiques.....	traces
Total.....	2,4344
Extrait sec à 180°.....	0,9445
	gr.
Acide carbonique libre.....	1,0686
Silice.....	0,0560
Bicarbonate de fer.....	0,0180
— de calcium.....	0,1625
— de magnésium.....	0,1395
— de lithium.....	0,0118
— de potassium.....	0,0648
— de sodium.....	0,8277
Arséniate de sodium.....	traces
Sulfate de sodium.....	0,0254
Chlorure de sodium.....	0,0261
Matières organiques.....	traces
Total.....	2,4304
	gr.
Extrait sec à 180°.....	0,9445

Analyse du 29 mars 1898.

DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS (Suite).

Commune de Vals-les-Bains. — Source Saint-Raphaël.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	2,1172	Acide carbonique libre	2,1172
Acide carbon. des bicarbonates	0,5954	Silice	0,0595
Acide chlorhydrique	0,0105	Bicarbonate de fer	0,0107
Acide sulfurique	0,0172	— de calcium	0,1969
Acide azotique	faibles traces	— de magnésium	0,1286
Acide arsénique	faibles traces	— de lithium	0,0177
Silice	0,0595	— de potassium	0,0604
Protoxyde de fer	0,0048	— de sodium	0,5788
Chaux	0,0762	Arséniate de sodium	faibles traces
Magnésie	0,0402	Azotate de sodium	traces
Lithine	0,0045	Sulfate de sodium	0,0305
Potasse	0,0312	Chlorure de sodium	0,0168
Soude	0,2620	Matières organiques	traces sensibles
Matières organiques	traces sensibles		
Total	3,2187	Total	3,2161
Extrait sec à 180°	0,7804		

Analyse du 28 avril 1897.

ARRONDISSEMENT DE PRIVAS. — CANTON D'AUBENAS (Suite).

Commune de Vals-les-Bains. — Quatrième source du groupe des Renommées, dite : *Josépha*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,7616	Acide carbonique libre	1,7616
Acide carbon. des bicarbonates	0,7181	Silice	0,0541
Acide chlorhydrique	0,0157	Bicarbonate de fer	0,0169
Acide sulfurique	0,0105	— de calcium	0,1195
Silice	0,0541	— de magnésium	0,0950
Protoxyde de fer	0,0076	— de lithium	traces
Chaux	0,0465	— de potassium	0,0644
Magnésie	0,0297	— de sodium	0,9191
Lithine	faibles traces	Sulfate de sodium	0,0186
Potasse	0,0333	Chlorure de sodium	0,0252
Soude	0,4014	Matières organiques	0,0018
Matières organiques	0,0018		
Total	3,0803	Total	3,0765
Extrait sec à 180°	0,9445		

Analyse du 29 octobre 1898.

DÉPARTEMENT DE L'ARIÈGE.

ARRONDISSEMENT DE PAMIER. — CANTON DE VARILHES.

Commune de Gudas. — Source des Fièvres.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0467	Acide carbonique libre	0,0467
Acide carbon. des bicarbonates	0,3143	Silice	0,0058
Acide chlorhydrique	0,0131	Bicarbonate de fer	0,0049
Acide sulfurique	0,0034	— de calcium	0,4890
Silice	0,0058	— de magnésium	0,0186
Protoxyde de fer	0,0022	Sulfate de sodium	0,0060
Chaux	0,1902	Chlorure de sodium	0,0142
Magnésie	0,0058	Chlorure de potassium	0,0088
Potasse	0,0055	Matières organiques	0,0029
Soude	0,0101		
Matières organiques	0,0029	Total	0,5969
Total	0,6000		
Extrait sec à 180°	0,3923		

Analyse du 18 janvier 1896.

DÉPARTEMENT DE L'AUDE.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE LIMOUX.

Commune d'Alet. — Rocher du Moulin. — Sources : des Arabes et des Maures.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	des Arabes	des Maures
	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0312	0,0393
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2291	0,2458
Acide chlorhydrique.....	0,0114	0,0125
Acide sulfurique.....	0,0198	0,0329
Acide azotique.....	0,0036	0,0042
Silice.....	0,0121	0,0110
Protoxyde de fer.....	traces	tr. faibles
Chaux.....	0,0894	0,1030
Magnésie.....	0,0460	0,0488
Lithine.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Potasse.....	0,0030	0,0052
Soude.....	0,0161	0,0162
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,4617	0,5189
Extrait sec à 180°.....	0,3100	0,3524

COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,0312	0,0393
Silice.....	0,0121	0,0110
Bicarbonate de fer.....	traces	tr. faibles
— de calcium.....	0,2298	0,2650
— de magnésium.....	0,1290	0,1204
Sulfate de magnésium.....	0,0172	0,0366
— de sodium.....	0,0147	0,0151
Azotate de sodium.....	0,0056	0,0066
Chlorure de sodium.....	0,0146	0,0136
— de potassium.....	0,0047	0,0082
— de lithium.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,4589	0,5158

Analyses du 1^{er} août 1895.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

ARRONDISSEMENT D'ESPALION. — CANTON DE BARRE.

Commune de Gabriac. — Domaine de la Canagne. — Source du Fang.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique.....	0,9748
Acide chlorhydrique.....	0,0427
Acide sulfurique.....	0,0027
Silice.....	0,0578
Protoxyde de fer.....	faibles traces
Chaux.....	0,2017
Magnésie.....	0,0865
Potasse.....	0,0416
Soude.....	0,3510
Matières organiques.....	traces
Total.....	1,7588
Extrait sec à 180°.....	1,2803
	gr.
Silice.....	0,0478
Bicarbonate de calcium.....	0,5184
— de magnésium.....	0,2768
— de potassium.....	0,0804
— de sodium.....	0,7313
Silicate de sodium.....	0,0203
Sulfate de sodium.....	0,0048
Chlorure de sodium.....	0,0684
Matières organiques.....	traces
Total.....	1,7482
	gr.
Extrait sec à 180°.....	1,2803

Analyse du 1^{er} novembre 1897.

ARRONDISSEMENT DE RODEZ. — CANTON DE MARCILLAC.

Commune de Salles-la-Source. — Source N° 1, dite ferrugineuse.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0212
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,2458
Acide chlorhydrique.....	0,0074
Acide sulfurique.....	1,2944
Acide azotique.....	traces
Silice.....	0,0081
Chaux.....	0,8375
Magnésie.....	0,1387
Potasse.....	0,0057
Soude.....	0,0368
Matières organiques.....	traces
Total.....	2,5956
Extrait sec à 180°.....	2,4680
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0212
Silice.....	0,0081
Bicarbonate de calcium.....	0,4023
Sulfate de sodium.....	1,6539
— de magnésium.....	0,4161
— de potassium.....	0,0105
— de sodium.....	0,0698
Azotate de sodium.....	traces
Chlorure de sodium.....	0,0119
Matières organiques.....	traces sensibles
Total.....	2,5938
	gr.
Extrait sec à 180°.....	2,4680

Analyse du 11 avril 1895.

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RODEZ. — CANTON DE MARCILLAC (Suite).

Commune de Salles-la-Source. — Source N° 2, dite sulfureuse.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0287	Acide carbonique libre.....	0,0287
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2668	Silice.....	0,0079
Acide chlorhydrique.....	0,0129	Bicarbonate de calcium.....	0,4366
Acide sulfurique.....	1,2760	Sulfate de calcium.....	1,5799
Acide azotique..... traces faibles		— de magnésium.....	0,4326
Silice.....	0,0079	— de potassium.....	0,0203
Protoxyde de fer.....	»	— de sodium.....	0,0875
Chaux.....	0,8204	Azotate de sodium.....	traces
Magnésie.....	0,1442	Chlorure de sodium.....	0,0207
Potasse.....	0,0110	Matières organiques.....	traces
Soude.....	0,0496		
Matières organiques.....	traces	Total.....	2,6142
Total.....	2,6175		
Extrait sec à 180°.....	2,4700	Analyse du 11 avril 1895.	

ARRONDISSEMENT DE RODEZ. — CANTON DE MARCILLAC (Suite).

Commune de Salles-la-Source. — Source sulfureuse, appartenant à M. L. Bertrand.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0112	Acide carbonique libre.....	0,0112
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4596	— sulfhydrique libre.....	0,0125
Acide chlorhydrique.....	0,0081	Silice.....	0,0092
Acide sulfurique.....	0,2394	Bicarbonate de calcium.....	0,7503
Acide sulfhydrique.....	0,0125	Sulfate de calcium.....	0,1583
Silice.....	0,0092	— de magnésium.....	0,2058
Chaux.....	0,3624	— de potassium.....	0,0198
Magnésie.....	0,0686	Chlorure de sodium.....	0,0130
Potasse.....	0,0107	Matières organiques... traces notables	
Soude.....	0,0069		
Matières organiques... traces notables		Total.....	1,1866
Total.....	1,1886		
Extrait sec à 180°.....	0,9389	Analyse du 13 mai 1896.	

DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RODEZ. — CANTON DE MARCILLAC (Suite).

Commune de Salles-la-Source. — Source appartenant à M. L. Bertrand.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0171	Acide carbonique libre.....	0,0171
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2306	Silice.....	0,0061
Acide chlorhydrique.....	0,0038	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	1,3369	— de calcium.....	0,3774
Silice.....	0,0061	Sulfate de calcium.....	1,7175
Protoxyde de fer.....	traces	— de magnésium.....	0,4554
Chaux.....	0,8540	— de potassium.....	0,0253
Magnésie.....	0,1518	— de sodium.....	0,0195
Potasse.....	0,0133	Chlorure de sodium.....	0,0061
Soude.....	0,0117	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	2,6253	Total.....	2,6244
Extrait sec à 180°.....	2,4936	Analyse du 13 mai 1896.	

DÉPARTEMENT DU CANTAL.

ARRONDISSEMENT D'AURILLAC.

Commune de Saint-Julien-de-Jordanne. — Source du Curadit.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	2,4090	Acide carbonique libre.....	2,4090
Acide carbon. des bicarbonates.	1,6190	Silice.....	0,0680
Acide chlorhydrique.....	0,0109	Bicarbonate de calcium.....	0,6480
Acide sulfurique.....	0,0707	— de magnésium.....	0,4774
Acide azotique.....	traces	— de potassium.....	0,1383
Silice.....	0,0680	— de lithium. traces notabl.	
Chaux.....	0,2520	— de sodium.....	1,4114
Magnésie.....	0,1492	Sulfate de sodium.....	0,1255
Lithine.....	traces notables	Azotate de sodium.....	traces faibles
Potasse.....	0,0715	Chlorure de sodium.....	0,0175
Soude.....	0,6475	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	5,2978	Total.....	5,2951
Extrait sec à 180°.....	2,0662	Analyse du 30 septembre 1895.	

DÉPARTEMENT DU CANTAL (Suite).

ARRONDISSEMENT D'AURILLAC (Suite).

Commune de Mandailles. — Rudez, source appartenant à M. L. Chapsal.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,5333	Acide carbonique libre.....	1,5333
Acide carbon. des bicarbonates.	0,6964	Silice.....	0,0330
Acide chlorhydrique.....	0,0010	Bicarbonate de fer.....	0,0320
Acide sulfurique.....	0,0036	— de calcium.....	0,5227
Silice.....	0,0330	— de magnésium.....	0,3392
Protoxyde de fer.....	0,0144	— de potassium.....	0,0232
Chaux.....	0,3033	— de sodium.....	0,1960
Magnésie.....	0,1060	Sulfate de sodium.....	0,0064
Potasse.....	0,0120	Chlorure de sodium.....	0,0016
Soude.....	0,0846	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	2,6876	Total.....	2,6874
Extrait sec à 180°.....	0,7862		

Analyse du 28 mai 1896.

ARRONDISSEMENT DE MAURIAC. — CANTON DE RIOM-ÈS-MONTAGNES.

Commune d'Apchon. — Source Font-Salée.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,0782	Acide carbonique libre.....	1,0782
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5978	Silice.....	0,0610
Acide chlorhydrique.....	0,0132	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	0,0069	— de calcium.....	0,4805
Acide azotique.....	traces	— de magnésium.....	0,1824
Silice.....	0,0610	— de lithium.....	0,0088
Protoxyde de fer.....	traces	— de potassium.....	0,0360
Chaux.....	0,1869	— de sodium.....	0,2553
Magnésie.....	0,0370	Sulfate de sodium.....	0,0122
Lithine.....	0,0022	Azotate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,0186	Chlorure de sodium.....	0,0212
Soude.....	0,1220	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	2,1388	Total.....	2,1356
Extrait sec à 180°.....	0,736		

Analyse du 12 juillet 1896.

DÉPARTEMENT DU CANTAL (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MAURIAC. — CANTON DE RIOM-ÈS-MONTAGNES (Suite).

Commune d'Apchon. — Source Font-Salée (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,1104	Acide carbonique libre.....	1,1104
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5781	Silice.....	0,0611
Acide chlorhydrique.....	0,0135	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	0,0069	— de calcium.....	0,4661
Silice.....	0,0611	— de magnésium.....	0,1760
Protoxyde de fer.....	traces	— de lithium.....	0,0079
Chaux.....	0,1813	— de potassium.....	0,0375
Magnésie.....	0,0550	— de sodium.....	0,2528
Lithine.....	0,0020	Sulfate de sodium.....	0,0122
Potasse.....	0,0194	Chlorure de sodium.....	0,0216
Soude.....	0,1213	Matières organiques.. très faibl.	traces
Matières organiques. très faibl.	traces		
Total.....	2,1490	Total.....	2,1456
Extrait sec à 180°.....	0,7284		

Analyse du 22 septembre 1897.

DÉPARTEMENT DE LA CORSE.

ARRONDISSEMENT DE CORTE. — CANTON DE CASTIFAO.

Commune de Moltifao. — Source Piedalzo.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0065	Acide carbonique libre.....	0,0065
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0298	Silice.....	0,0450
Acide chlorhydrique.....	0,0208	Bicarbonate de fer.....	0,0448
Acide sulfurique.....	0,0858	— de manganèse.....	0,0094
Acide azotique.....	traces faibles	Sulfate de calcium.....	0,0505
Silice.....	0,0150	— de magnésium.....	0,0108
Protoxyde de fer.....	0,0202	— de potassium.....	0,0375
— de manganèse.....	0,0042	— de sodium.....	0,0580
Chaux.....	0,0218	Azotate de sodium.....	faibles traces
Magnésie.....	0,0036	Chlorure de sodium.....	0,0333
Lithine.....	faibles traces	— de lithium.....	faibles traces
Potasse.....	0,0203	Matières organiques.....	traces
Soude.....	0,0430		
Matières organiques.....	traces	Total.....	0,2958
Total.....	0,3010		
Extrait sec à 180°.....	0,2680		

Analyse du 7 juin 1897.

DÉPARTEMENT DE LA COTE-D'OR.

ARRONDISSEMENT DE BEAUNE. — CANTON DE NOLAY.

Commune de Santenay. — Source Carnot.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0062	Acide carbonique libre.....	0,0062
Acide carbon. des bicarbonates	0,2274	Silice.....	0,0165
Acide chlorhydrique.....	3,6024	Bicarbonate de fer.....	0,0066
Acide sulfurique.....	1,8158	— de calcium.....	0,3663
Silice.....	0,0165	Sulfate de calcium.....	0,8643
Protoxyde de fer.....	0,0030	— de magnésium.....	0,1380
Chaux.....	0,4984	— de sodium.....	2,4574
Magnésie.....	0,0460	Chlorure de sodium.....	5,5038
Lithine.....	0,0390	— de potassium.....	0,1795
Potasse.....	0,1134	— de lithium.....	0,0935
Soude.....	3,8606	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	9,3324
Total.....	10,2224		
Extrait sec à 180°.....	9,2640	Analyse du 24 juin 1896.	

DÉPARTEMENT DE LA DROME.

ARRONDISSEMENT DE DIE. — CANTON DE CREST.

Commune d'Aouste. — Quartier de Larra. — Propriété de M^{me} Morin.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,7468	Acide carbonique libre.....	0,7468
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0618	Silice.....	0,0161
Acide chlorhydrique.....	0,0045	Bicarbonate de fer.....	0,0251
Acide sulfurique.....	0,0120	— de manganèse. tr. tr.	notab.
Acide azotique.....	très faibles traces	— de calcium.....	1,5339
Silice.....	0,0161	— de magnésium.....	0,0154
Protoxyde de fer.....	0,0143	Sulfate de magnésium.....	0,0093
— de manganèse. tr. tr.	notab.	— de sodium.....	0,0103
Chaux.....	0,5965	Azotate de sodium.....	très faibles tr.
Magnésie.....	0,0079	Chlorure de sodium.....	0,0072
Potasse.....	traces	— de potassium.....	traces
Soude.....	0,0083	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	2,3641
Total.....	2,3652		
Extrait sec à 180°.....	1,1267	Analyse du 10 octobre 1893.	

DÉPARTEMENT DE LA DROME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTÉLIMAR. — CANTON DE MARSANNE.

Propriété de M. Aubert, à Condillac.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0159	Acide carbonique libre.....	0,0159
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2835	Silice.....	0,0188
Acide chlorhydrique.....	0,0065	Bicarbonate de calcium.....	0,3399
Acide sulfurique.....	0,0172	— de magnésium.....	0,0954
Silice.....	0,0188	— de fer.....	0,0020
Protoxyde de fer.....	0,0009	Sulfate de magnésium.....	0,0109
Chaux.....	0,1322	— de sodium.....	0,0176
Magnésie.....	0,0334	Chlorure de sodium.....	0,0066
Potasse.....	0,0029	— de potassium.....	0,0047
Soude.....	0,0112	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	0,5118
Total.....	0,5225		
Extrait sec à 180°.....	0,3578	Analyse du 4 novembre 1894.	

ARRONDISSEMENT DE MONTÉLIMAR.

Commune de Dieulefit. — Quartier des Vitrouillères. — Source Saint-Louis (1^{er} envoi).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide sulfurique.....	2,2179	Sulfate ferreux.....	0,0260
Silice.....	0,0240	— ferrique.....	2,0042
Protoxyde de fer.....	0,0123	— d'aluminium.....	0,6317
Peroxyde de fer.....	0,8018	— de calcium.....	0,3948
Alumine.....	0,1897	— de magnésium.....	0,0600
Chaux.....	0,1870	— de potassium.....	0,0043
Magnésie.....	0,0200	— de sodium.....	0,0886
Potasse.....	0,0023	— d'ammonium.....	tr. notables
Soude.....	0,0387	Acide sulfurique en excès.....	0,2500
Ammoniaque.....	tr. notables	Chlorures alcalins.....	tr. sensibles
Matières organiques.....	0,0615	Silice.....	0,0240
Total.....	3,5551	Matières organiques.....	0,0615
Extrait sec à 180°.....	3,6500	Total.....	3,5451
		Analyse du 10 janvier 1895.	

DÉPARTEMENT DE LA DROME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTÉLIMAR (Suite).

Commune de Dieulefit. — Quartier des Vitrouillères. — Source Saint-Louis (2^e envoi).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide chlorhydrique.....	traces	Sulfate ferreux.....	0,0177
Acide sulfurique.....	1,8879	— ferrique.....	1,4925
Silice.....	0,1650	Sulfate d'aluminium.....	0,5505
Peroxyde de fer.....	0,0084	— de calcium.....	0,5300
Peroxyde de fer.....	0,5970	— de magnésium.....	0,0450
Alumine.....	0,1650	— de potassium.....	0,0063
Chaux.....	0,2182	— de sodium.....	0,0939
Magnésie.....	0,0150	— d'ammonium.....	traces
Potasse.....	0,0034	Acide sulfurique en excès.....	0,2450
Soude.....	0,0410	Silice.....	0,0290
Ammoniaque.....	tr. sensibles	Matières organiques.....	0,0320
Matières organiques.....	0,0320		
		Total.....	3,0419
Total.....	2,9964		
Extrait sec à 180°.....	3,020	Analyse du 28 janvier 1896.	

DÉPARTEMENT DE LA DROME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE MONTÉLIMAR.

Commune de Dieulefit. — Sources: la Madeleine et la Gallienne.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	Madeleine	Gallienne
	gr.	gr.
Acide chlorhydrique.....	0,0028	0,0051
Acide sulfurique.....	0,4028	0,3094
Silice.....	0,0195	0,0190
Peroxyde de fer.....	0,0011	0,0003
Alumine.....	0,0010	0,0008
Chaux.....	0,2629	0,2059
Magnésie.....	0,0067	0,0040
Potasse.....	0,0063	0,0047
Soude.....	0,0153	0,0130
Ammoniaque.....	traces	traces
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,7184	0,5622
Extrait sec à 180°.....	0,7241	0,5679
COMPOSITION CALCULÉE		
Sulfate de calcium.....	0,6385	0,4992
— de magnésium.....	0,0201	0,0120
— ferrique.....	0,0027	0,0007
— d'aluminium.....	0,0033	0,0026
— de sodium.....	0,0177	0,0106
Silicate de sodium.....	0,0102	0,0081
— de potassium.....	0,0103	0,0077
Chlorure de sodium.....	0,0045	0,0082
Silice.....	0,0105	0,0120
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,7178	0,5611

Analyses du 28 janvier 1896.

DÉPARTEMENT DE LA DROME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE NYONS. — CANTON DE BUIS-LES-BARONNIES.

Commune de Propriac. — Sources : du Salin, Daniel et Française.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	du Salin	Daniel	Française
	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0964	0,0988	0,1631
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2218	0,2236	1,2162
Acide chlorhydrique.....	0,7471	0,7847	23,4862
Acide sulfurique.....	0,5560	0,8246	2,3947
Acide azotique.....	0,0041	0,0030	0,0018
Silice.....	0,0095	0,0117	0,0085
Protoxyde de fer.....	traces	traces	tr. notables
Chaux.....	0,3326	0,4942	0,8227
Magnésie.....	0,1193	0,1341	0,9570
Potasse.....	0,0517	0,0631	0,4763
Sonde.....	0,6373	0,6687	19,9635
Total.....	2,7758	3,3065	49,4900
Extrait sec à 180°.....	2,3850	2,9080	42,9460
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	0,0964	0,0988	0,1631
Silice.....	0,0095	0,0117	0,0085
Bicarbonate de fer.....	traces	traces	tr. notables
— de calcium.....	0,3630	0,3659	1,9901
Sulfate de calcium.....	0,4648	0,8547	0,1251
— de magnésium.....	0,3579	0,4023	2,8710
— de potassium.....	0,0957	0,1167	0,8807
Azotate de sodium.....	0,0064	0,0047	0,0028
Chlorure de sodium.....	1,1974	1,2577	37,6439
Total.....	2,5909	3,1125	43,6852

Analyses du 27 juillet 1897.

DÉPARTEMENT DE LA DROME (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE NYONS.

Commune de Montaulieu. — Source César.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0081
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,2769
Acide chlorhydrique.....	0,0521
Acide sulfurique.....	1,1179
Acide arsénique.....	traces
Silice.....	0,0101
Protoxyde de fer.....	0,0005
Oxyde de manganèse.....	traces
Chaux.....	0,8357
Strontiane.....	tr. sensibles
Magnésie.....	0,0739
Lithine.....	faibles tr.
Potasse.....	0,0071
Sonde.....	0,0609
Matières organiques.....	tr. très notables
Total.....	2,4432
Extrait sec à 180°.....	2,2954
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0081
Silice.....	0,0101
Bicarbonate de fer.....	0,0011
— de manganèse.....	traces
— de calcium.....	0,4522
Sulfate de calcium.....	1,6025
— de strontium.....	tr. sensibles
— de magnésium.....	0,2217
— de potassium.....	0,0131
— de sodium.....	0,0381
Arséniate de sodium.....	traces
Chlorure de sodium.....	0,0835
— de lithium.....	faibles tr.
Matières organiques.....	tr. tr. notables
Total.....	2,4304
Analyse du 23 août 1898.	

DÉPARTEMENT DU GARD.

ARRONDISSEMENT D'ALAIS. — CANTON DE VEZENOBRES.

Commune de Saint-Jean-de-Ceyrargues.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0437
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,3075
Acide chlorhydrique.....	0,0091
Acide sulfurique.....	1,2848
Acide azotique.....	faibles tr.
Silice.....	0,0250
Chaux.....	0,8215
Magnésie.....	0,1878
Potasse.....	0,0095
Sonde.....	0,0111
Matières organiques.....	traces
Total.....	2,7001
Extrait sec à 180°.....	2,5100
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0437
Silice.....	0,0250
Bicarbonate de calcium.....	0,5034
Sulfate de calcium.....	1,5224
— de magnésium.....	0,5634
— de potassium.....	0,0175
— de sodium.....	0,0080
Azotate de sodium.....	traces
Chlorure de sodium.....	0,0146
Matières organiques.....	traces
Total.....	2,6980
Analyse du 22 octobre 1895.	

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-GARONNE.

ARRONDISSEMENT DE MURET. — CANTON DE FOUSSERET.

Commune de Montégut-Ségla.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	Ancienne	Nouvelle
	Source	Source
	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0339	0,0314
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2274	0,2200
Acide chlorhydrique.....	0,0295	0,0287
Acide sulfurique.....	0,0452	0,0448
Acide azotique.....	0,0191	0,0248
Acide phosphorique.....	tr. faibles	tr. faibles
Silice.....	0,0168	0,0172
Protoxyde de fer.....	traces	traces
Chaux.....	0,1667	0,1613
Magnésie.....	0,0143	0,0143
Lithine.....	traces	traces
Potasse.....	0,0043	0,0049
Soude.....	0,0217	0,0244
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,5794	0,5718
Extrait sec à 180°.....	0,4223	0,4205
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,0339	0,0314
Silice.....	0,0168	0,0172
Bicarbonate de fer.....	traces	traces
— de calcium.....	0,3721	0,3600
Phosphate de calcium.....	faibles tr.	faibles tr.
Sulfate de calcium.....	0,0534	0,0517
— de magnésium.....	0,0207	0,0216
Chlorure de magnésium.....	0,0172	0,0167
— de lithium.....	traces	traces
— de potassium.....	0,0076	0,0077
— de sodium.....	0,0202	0,0192
Azotate de sodium.....	0,0301	0,0390
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	0,5720	0,5646

Analyses du 9 juillet 1895.

DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

ARRONDISSEMENT DE BÉZIERS. — CANTON DE SAINT-GERVAIS.

Commune de Lamalou-le-Centre. — Source Bourges.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,9366
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,3754
Acide chlorhydrique.....	0,0122
Acide sulfurique.....	0,0291
Acide arsénique.....	0,0002
Acide phosphorique.....	0,0005
Silice.....	0,0255
Protoxyde de fer.....	0,0054
Oxydes de manganèse et de chaux.....	traces
Chaux.....	0,1148
Magnésie.....	0,0404
Lithine.....	0,0005
Potasse.....	0,0400
Soude.....	0,0762
Matières organiques.....	traces
Total.....	1,6568
Extrait sec à 180°.....	0,5201
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,9366
Silice.....	0,0255
Bicarbonate de fer.....	0,0120
— de manganèse.....	traces
— de calcium.....	0,2952
— de magnésium.....	0,1288
— de lithium.....	0,0019
— de potassium.....	0,0774
— de sodium.....	0,1037
Sulfate de sodium.....	0,0516
Phosphate de sodium.....	0,0010
Arséniate de sodium.....	0,0003
Chlorure de sodium.....	0,0195
Matières organiques.....	traces
Total.....	1,6535
Analyse du 22 février 1897.	

DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE.

ARRONDISSEMENT DE GRENOBLE. — CANTON DU BOURG-D'OISANS.

Commune des Essolieux. — Propriété de M. V. Bos.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0163
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,1667
Acide chlorhydrique.....	0,0026
Acide sulfurique.....	0,0715
Acide sulfhydrique.....	0,0006
Silice.....	0,0090
Protoxyde de fer.....	faibles tr.
Chaux.....	0,0990
Magnésie.....	0,0306
Lithine.....	traces
Potasse.....	0,0017
Soude.....	0,0181
Matières organiques.....	tr. notables
Total.....	0,4161
Extrait sec à 180°.....	0,3175
	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0163
Silice.....	0,0090
Bicarbonate de fer.....	traces
— de calcium.....	0,2545
— de magnésium.....	0,0163
Sulfate de magnésium.....	0,0765
— de lithium.....	traces
— de potassium.....	0,0031
— de sodium.....	0,0339
Chlorure de sodium.....	0,0042
Sulfure de sodium.....	0,0014
Matières organiques.....	tr. notables
Total.....	0,4152
Analyse du 19 septembre 1895.	

DÉPARTEMENT DES LANDES.

ARRONDISSEMENT DE DAX. — CANTON DE POUILLON.

Source Fontaine-de-Biras.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,074	Acide carbonique libre	0,074
Acide carbon. des bicarbonates	0,238	Silice	0,007
Acide chlorhydrique	7,369	Bicarbonate de fer	0,004
Acide bromhydrique	tr. notables	— de calcium	0,383
Acide sulfurique	2,164	Sulfate de calcium	3,298
Silice	0,007	— de magnésium	0,336
Protoxyde de fer	0,002	Chlorure de sodium	11,700
Chaux	1,508	— de potassium	0,142
Magnésie	0,112	Bromure de potassium	tr. notables
Potasse	0,090	Matières organiques	tr. sensibles
Soude	6,200		
Matières organiques	tr. sensibles	Total	15,947
Total	17,764		
Extrait sec à 180°	15,770	Analyse du 5 avril 1898.	

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE DAX.

Commune de Bénèsse-lès-Dax. — Source de Dupéré (1^{er} envoi).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0092	Acide carbonique libre	0,0092
Acide carbon. des bicarbonates	0,2022	Silice	0,0150
Acide chlorhydrique	5,3440	Bicarbonate de fer et de mang.	traces
Acide bromhydrique	faibles traces	— de calcium	0,3309
Acide sulfurique	1,9502	Sulfate de calcium	3,0270
Acide phosphorique	traces	— de magnésium	0,2634
Silice	0,0150	Chlorure de magnésium	0,1425
Protoxyde de fer et de mang.	tr. sens.	— de potassium	0,1282
Chaux	1,3751	— de sodium	8,2890
Magnésie	0,1478	Bromure de potassium	traces
Potasse	0,0810	Phosphate de sodium	traces
Soude	4,3025	Matières organiques	traces notables
Matières organiques	traces notables	Total	12,2052
Total	13,5230		
Extrait sec à 180°	12,1113	Analyse du 25 février 1898.	

DÉPARTEMENT DES LANDES (Suite).

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE DAX (Suite).

Commune de Bénèsse-lès-Dax. — Source de Dupéré (nouveau captage).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0121	Acide carbonique libre	0,0121
Acide carbon. des bicarbonates	0,1642	Silice	0,0155
Acide chlorhydrique	5,5972	Bicarbonate de fer et de mang.	tr. not.
Acide bromhydrique	traces sens.	Bicarbonate de calcium	0,2687
Acide sulfurique	1,9889	Sulfate de calcium	3,0575
Acide phosphorique	traces sens.	— de magnésium	0,2856
Silice	0,0155	Chlorure de magnésium	0,1357
Protoxyde de fer et de mang.	tr. not.	— de potassium	0,2428
Chaux	1,3635	— de sodium	8,6159
Magnésie	0,1524	Bromure de potassium	traces sens.
Potasse	0,1535	Phosphate de sodium	traces
Soude	4,5695	Matières organiques	traces sens.
Matières organiques	traces sensibles	Total	12,6338
Total	14,0168		
Extrait sec à 180°	12,5650	Analyse du 31 janvier 1899.	

ARRONDISSEMENT DE SAINT-SEVER. — CANTON DE TARTAS.

Commune de Saint-Yaguen.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0067	Acide carbonique libre	0,0067
Acide carbon. des bicarbonates	0,0908	Silice	0,0071
Acide chlorhydrique	0,0134	Bicarbonate de fer	0,0120
Acide sulfurique	0,0075	— de manganèse	traces
Acide azotique	traces	— de calcium	0,1270
Silice	0,0071	— de magnésium	0,0096
Protoxyde de fer	0,0054	Sulfate de sodium	0,0133
Oxyde de manganèse	traces	Azotate de sodium	traces
Chaux	0,0494	Chlorure de sodium	0,0215
Magnésie	0,0030	— de potassium	traces
Potasse	traces	Matières organiques	tr. très sens.
Soude	0,0172	Total	0,1972
Matières organiques	tr. très sens.		
Total	0,2005		
Extrait sec à 180°	0,1421	Analyse du 23 août 1898.	

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE.

ARRONDISSEMENT DE BRIOUDE. — CANTON DE LANGEAC.

Commune de Saint-Julien-de-Chazes. — Lieu dit : *Le Riou*. — Sources 1 et 4 réunies, source 2 et source 3.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	1 et 4	2	3
	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	1,3080	1,0802	1,2425
Acide carbonique des bicarbonates.....	1,2289	0,8941	1,3274
Acide chlorhydrique.....	0,0180	0,0173	0,0335
Acide sulfurique.....	0,0020	0,0089	0,0065
Acide azotique.....	tr. faibles tr.	faibles tr.	faibles tr.
Acide arsénique.....	faibles tr.	faibles tr.	faibles tr.
Silice.....	0,0717	0,0823	0,0685
Protoxyde de fer.....	0,0050	0,0231	0,0080
Oxyde de manganèse.....	faibles tr.	faibles tr.	faibles tr.
Chaux.....	0,1552	0,0875	0,1268
Magnésie.....	0,1200	0,0760	0,1100
Lithine.....	tr. sensibles	tr. sensib.	tr. faibles
Potasse.....	0,0590	0,0524	0,0607
Soude.....	0,4819	0,3826	0,6955
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	3,4497	2,7044	3,6804
Extrait sec à 180°.....	1,5003	1,4524	1,7328
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	1,3080	1,0802	1,2425
Silice.....	0,0717	0,0826	0,0685
Bicarbonate de fer.....	0,0111	0,0513	0,0178
— de manganèse.....	traces	traces	traces
— de calcium.....	0,3990	0,2249	0,3260
— de magnésium.....	0,3840	0,2432	0,2331
— de lithium.....	tr. sensibles	tr. sensib.	tr. faibles
— de potassium.....	0,1140	0,1013	0,1174
— de sodium.....	1,4250	0,8734	1,6016
Arséniate de sodium.....	tr. faibles tr.	tr. faib. tr.	tr. faib. tr.
Azotate de sodium.....	faibles tr.	faibles tr.	faibles tr.
Sulfate de sodium.....	0,0036	0,0158	0,0115
Chlorure de sodium.....	0,0288	0,0277	0,0537
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	3,4452	2,7004	3,6721

Analyses du 2 avril 1897.

DÉPARTEMENT DU LOT.

ARRONDISSEMENT DE FIGEAC. — CANTON DE CAJARG.

Commune de Saint-Chels. — Sources de Thérondels.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	1	2	3
	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,3082	0,2892	0,2018
Acide chlorhydrique.....	0,0031	0,0036	0,0049
Acide sulfurique.....	0,0030	0,0030	0,0040
Acide azotique.....	traces	traces	traces
Silice.....	0,0033	0,0040	0,0050
Chaux.....	0,1834	0,1738	0,1101
Magnésie.....	0,0030	0,0025	0,0040
Potasse.....	0,0047	0,0035	0,0070
Soude.....	0,0112	0,0107	0,0165
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	0,5199	0,4903	0,3533
Extrait sec à 180°.....	0,3660	0,3500	0,2510
COMPOSITION CALCULÉE			
Silice.....	0,0033	0,0040	0,0050
Bicarbonate de calcium.....	0,4718	0,4470	0,2833
— de magnésium.....	0,0096	0,0079	0,0128
— de potassium.....	0,0091	0,0069	0,0136
— de sodium.....	0,0150	0,0124	0,0225
Sulfate de sodium.....	0,0053	0,0053	0,0071
Azotate de sodium.....	traces	traces	traces
Chlorure de sodium.....	0,0053	0,0058	0,0077
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	0,5191	0,4893	0,3520

Analyses du 18 mars 1897

DÉPARTEMENT DE LA MARNE.

ARRONDISSEMENT DE VITRY-LE-FRANÇOIS. — CANTON DE THIEBLEMONT.

Commune de Sermaize.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0971	Acide carbonique libre.....	0,0971
Acide carbon. des bicarbonates..	0,4776	Silice.....	0,0120
Acide chlorhydrique.....	0,0101	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	0,5163	— de calcium.....	0,6880
Acide phosphorique.....	traces	— de strontium.....	traces
Silice.....	0,0120	— de magnésium.....	0,0882
Protoxyde de fer.....	traces	Sulfate de magnésium.....	0,6387
Chaux.....	0,2676	— de potassium.....	0,0285
Strontiane.....	traces	— de sodium.....	0,1374
Magnésie.....	0,2889	Phosphate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,0154	Chlorure de sodium.....	0,0162
Soude.....	0,0686	Matières organiques... traces notables	
Matières organiques... traces notables		Total.....	1,7011
Total.....	1,7036		
Extrait sec à 180°.....	1,3742	Analyse du 21 octobre 1897.	

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE.

ARRONDISSEMENT DE LANGRES. — CANTON DE FAYL-BILLOT.

Commune de Bussières-lès-Belmont. — Domaine des Ages, Fontaine salée.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,1478	Acide carbonique libre.....	0,1478
Acide carbon. des bicarbonates..	0,2488	Silice.....	0,0152
Acide chlorhydrique.....	1,4249	Bicarbonate de fer et de mang..	traces
Acide bromhydrique.....	tr. sensibles	Bicarbonate de calcium.....	0,4072
Acide sulfurique.....	1,3565	Sulfate de calcium.....	2,3061
Acide azotique.....	très faibles tr.	Chlorure de calcium.....	0,0257
Silice.....	0,0152	— de magnésium.....	0,5986
Protoxyde de fer et de mang..	tr. not.	— de lithium.....	0,0151
Chaux.....	1,1208	— de potassium.....	0,1018
Magnésie.....	0,2523	— de sodium.....	1,3998
Lithine.....	0,0045	Bromure de potassium... traces sens.	
Potasse.....	0,0643	Azotate de sodium.....	traces
Soude.....	0,7424	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	5,0173
Total.....	5,3775		
Extrait sec à 180°.....	4,7524	Analyse du 25 février 1898.	

DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE.

ARRONDISSEMENT DE CLAMECY. — CANTON DE CORBIGNY.

Commune d'Anthien. — Lieu dit: *Champ Thomas*.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0114	Acide carbonique libre.....	0,0114
Acide carbon. des bicarbonates..	0,5702	Silice.....	0,0130
Acide chlorhydrique.....	0,0490	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	3,0900	— de calcium.....	0,9332
Acide azotique.....	traces notables	Sulfate de calcium.....	0,8160
Silice.....	0,0130	— de magnésium.....	3,5955
Protoxyde de fer.....	traces	— de potassium.....	0,1760
Chaux.....	0,6991	— de sodium.....	0,2347
Magnésie.....	1,1985	Azotate de sodium... traces notables	
Lithine.....	0,0030	Chlorure de sodium.....	0,0668
Potasse.....	0,0952	— de lithium.....	0,0085
Soude.....	0,1379	Matières organiques.....	0,0035
Matières organiques.....	0,0035	Total.....	5,8586
Total.....	5,8708	Analyse du 18 mars 1899.	

Poids du résidu transformé en sulfate et porté au rouge sombre: 5,8051 par litre

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE SAINT-PIERRE-LE-MOUTIER.

Commune de Saint-Parize-le-Châtel. — Source des Fonds-Bouillants.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,7030	Acide carbonique libre.....	0,7030
Acide carbon. des bicarbonates..	0,9500	Silice.....	0,0340
Acide chlorhydrique.....	0,0175	Bicarbonate de fer.....	0,0086
Acide sulfurique.....	1,1167	— de calcium.....	1,5469
Acide azotique.....	traces	Sulfate de calcium.....	1,3416
Silice.....	0,0340	— de magnésium.....	0,4704
Protoxyde de fer.....	0,0039	— de lithium.....	tr. très faibles
Chaux.....	1,1540	— de potassium.....	0,0036
Magnésie.....	0,1568	— de sodium.....	0,0169
Lithine.....	traces très faibles	Azotate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,0052	Chlorure de sodium.....	0,0281
Soude.....	0,0922	Matières organiques.....	0,0126
Matières organiques.....	0,0126	Total.....	4,1717
Total.....	4,1759		
Extrait sec à 180°.....	3,0400	Analyse du 1 ^{er} février 1895.	

DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE NEVERS. — CANTON DE SAINT-PIERRE-LE-MOUTIER
(Suite).

Commune de Saint-Parize-le-Châtel. — Source Gelin.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,5920	Acide carbonique libre.....	0,5920
Acide carbon. des bicarbonates.	0,5480	Silice.....	0,0259
Acide chlorhydrique.....	0,0434	Bicarbonate de fer.....	0,0080
Acide sulfurique.....	0,9848	— de calcium.....	0,8895
Silice.....	0,0259	Sulfate de calcium.....	1,1917
Protoxyde de fer.....	0,0036	— de magnésium.....	0,4182
Chaux.....	0,8366	— de lithium.....	tr. très faibles
Magnésie.....	0,1394	— de potassium.....	0,0109
Lithine.....	traces très faibles	Chlorure de potassium.....	0,0321
Potasse.....	0,0262	— de sodium.....	0,0445
Soude.....	0,0236	Matières organiques.....	0,0346
Matières organiques.....	0,0346		
		Total.....	3,2474
Total.....	3,2581		
Extrait sec à 180°.....	2,4448	Analyse du 1 ^{er} février 1895.	

DÉPARTEMENT DE L'OISE.

ARRONDISSEMENT DE BEAUVAIS. — CANTON D'AUNEUIL.

Commune de Rocourt. — Source de Rocourt.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0324	Acide carbonique libre.....	0,0324
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2426	Silice.....	0,0091
Acide chlorhydrique.....	0,0412	Bicarbonate de fer.....	0,0032
Acide sulfurique.....	0,0989	— de calcium.....	0,1218
Silice.....	0,0091	— de magnésium.....	0,0483
Protoxyde de fer.....	0,0014	— de sodium.....	0,2272
Chaux.....	0,0474	Sulfate de sodium.....	0,1756
Magnésie.....	0,0151	Chlorure de sodium.....	0,0447
Potasse.....	0,0172	— de potassium.....	0,0272
Soude.....	0,1943	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
		Total.....	0,6895
Total.....	0,6996		
Extrait sec à 180°.....	0,5320	Analyse du 4 avril 1895.	

DÉPARTEMENT DE L'ORNE.

Commune de Bagnoles. — Grande source thermale.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0063	Acide carbonique libre.....	0,0063
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0068	Silice.....	0,0135
Acide chlorhydrique.....	0,0102	Bicarbonate de fer.....	0,0022
Acide sulfurique.....	0,0125	— de calcium.....	0,0092
Acide phosphorique.....	0,0004	Phosphate de calcium.....	0,0009
Acide arsénique.....	traces faibles	Sulfate de calcium.....	0,0034
Silice.....	0,0135	— de magnésium.....	0,0036
Protoxyde de fer.....	0,0010	— de potassium.....	0,0050
Chaux.....	0,0061	— de sodium.....	0,0128
Magnésie.....	0,0012	Arséniate de sodium.....	traces faibles
Lithine.....	traces	Chlorure de sodium.....	0,0164
Potasse.....	0,0028	— de lithium.....	traces
Soude.....	0,0143	Matières organiques.....	0,0021
Matières organiques.....	0,0021		
		Total.....	0,0754
Total.....	0,0772		
Extrait sec à 180°.....	0,0625	Analyse du 15 février 1896.	

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME.

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT. — CANTON DE ROCHEFORT.

Commune du Mont-Dore. — Source Félix, sur la rive gauche, et source Gabriel, sur la rive droite de la Dordogne.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	Félix	Gabriel
Acide carbonique libre.....	gr. 1,0026	gr. 1,2658
Acide carbonique des bicarbonates.....	1,2375	1,4028
Acide chlorhydrique.....	1,6262	1,8244
Acide sulfurique.....	0,1475	0,1567
Acide arsénique.....	traces	traces
Silice.....	0,1255	0,1130
Protoxyde de fer.....	0,0003	0,0002
Chaux.....	0,1607	0,1708
Magnésie.....	0,0882	0,0854
Lithine.....	0,0085	0,0095
Potasse.....	0,1602	0,1714
Soude.....	1,9295	2,2052
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	6,5146	7,4052
Extrait sec à 180°.....	4,4357	4,9804
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	1,0026	1,2658
Silice.....	0,1255	0,1130
Bicarbonate de fer.....	0,0007	0,0004
— de calcium.....	0,4133	0,4392
— de magnésium.....	0,2822	0,2732
— de lithium.....	0,0334	0,0373
— de potassium.....	0,3098	0,3314
— de sodium.....	1,0500	1,2927
Sulfate de sodium.....	0,2618	0,2781
Arséniate de sodium.....	traces	traces
Chlorure de sodium.....	2,6064	2,9240
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	6,0357	6,9551

Analyses du 6 mars 1896.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT. — CANTON DE ROCHEFORT (Suite).

Commune du Mont-Dore. — Sources : Pigeon, Bardon, Panthéon et Bertrand.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES			
	Pigeon	Bardon	Panthéon	Bertrand
Acide carbonique libre.....	gr. 0,1944	gr. 0,1786	gr. 0,1654	gr. 0,1048
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,7504	0,7450	0,7023	0,5124
Acide chlorhydrique.....	0,2287	0,2352	0,2274	0,1588
Acide bromhydrique.....	traces	traces	traces	traces
Acide sulfurique.....	0,0333	0,0326	0,0319	0,0226
Acide arsénique.....	0,0006	0,0006	0,0006	0,0004
Acide phosphorique.....	traces	traces	traces	traces
Silice.....	0,1745	0,1731	0,1723	0,1275
Protoxyde de fer.....	0,0072	0,0079	0,0065	0,0054
— de manganèse.....	0,0009	0,0011	0,0012	0,0006
Chaux.....	0,1276	0,1224	0,1193	0,0957
Magnésie.....	0,0595	0,0570	0,0567	0,0432
Lithine.....	0,0020	0,0022	0,0020	0,0014
Potasse.....	0,0591	0,0607	0,0572	0,0418
Soude.....	0,4652	0,4742	0,4448	0,3051
Matières organiques.....	tr. notab.	tr. notab.	tr. notab.	tr. sensibil.
Total.....	2,1034	2,0906	1,9876	1,4197
Extrait sec à 180°.....	1,4062	1,4168	1,3667	0,9868
COMPOSITION CALCULÉE				
Acide carbonique libre.....	0,1944	0,1786	0,1654	0,1048
Silice.....	0,1745	0,1731	0,1723	0,1275
Bicarbonate de fer.....	0,0160	0,0176	0,0145	0,0120
— de manganèse.....	0,0020	0,0024	0,0026	0,0014
— de calcium.....	0,3282	0,3147	0,3067	0,2460
— de magnésium.....	0,1904	0,1824	0,1814	0,1382
— de lithium.....	0,0078	0,0086	0,0078	0,0055
— de potassium.....	0,1147	0,1175	0,1104	0,0810
— de sodium.....	0,5925	0,6020	0,5485	0,3691
Sulfate de sodium.....	0,0591	0,0579	0,0566	0,0401
Arséniate de sodium.....	0,0010	0,0010	0,0010	0,0007
Phosphate de sodium.....	traces	traces	traces	traces
Chlorure de sodium.....	0,3665	0,3769	0,3645	0,2545
Bromure de sodium.....	traces	traces	traces	traces
Matières organiques.....	tr. notab.	tr. notab.	tr. notab.	tr. sensibil.
Total.....	2,0471	2,0327	1,9317	1,3808

Analyse du 5 janvier 1898.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT. — CANTON DE ROCHFERT (Suite).

Commune du Mont-Dore. — Source chaude de la Compiassade.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,6812	Acide carbonique libre	0,6812
Acide carbon. des bicarbonates	1,8170	Silice	0,1098
Acide chlorhydrique	3,5167	Bicarbonate de fer	traces
Acide sulfurique	0,2315	— de calcium	0,6351
Acide arsénique	0,0095	— de magnésium	0,1878
Silice	0,1098	— de lithium	0,0216
Protoxyde de fer	traces sensibles	— de potassium	0,3775
Chaux	0,2470	— de sodium	1,8754
Magnésie	0,0587	Sulfate de sodium	0,4109
Lithine	0,0055	Arséniate de sodium	0,0171
Potasse	0,1952	Chlorure de sodium	5,6363
Soude	3,9520	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	19,8241	Total	9,9527
Extrait sec à 180°	8,2236	Analyse du 7 juin 1893.	

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE VIC-LE-COMTE.

Commune de Saint-Maurice. — Source Rougier.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,5586	Acide carbonique libre	1,5586
Acide carbon. des bicarbonates	2,5808	Silice	0,0925
Acide chlorhydrique	1,3645	Bicarbonate de fer	0,0071
Acide sulfurique	0,0867	— de calcium	1,1341
Acide arsénique	traces	— de magnésium	0,7561
Silice	0,0925	— de lithium	0,0370
Protoxyde de fer	0,0032	— de potassium	0,3703
Chaux	0,4410	— de sodium	1,9732
Magnésie	0,2363	Sulfate de sodium	0,1539
Lithine	0,0094	Arséniate de sodium	traces
Potasse	0,1915	Chlorure de sodium	2,1869
Soude	2,0415	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	8,6660	Total	8,2697
Extrait sec à 180°	5,4104	Analyse du 2 avril 1895.	

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CLERMONT-FERRAND. — CANTON DE VIC-LE-COMTE (Suite).

Commune de Saint-Maurice-ès-Allier. — Ilôt de Sainte-Marguerite.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,9709	Acide carbonique libre	0,9709
Acide carbon. des bicarbonates	2,5861	Silice	0,0160
Acide chlorhydrique	1,4090	Bicarbonate de fer	0,0935
Acide sulfurique	0,0844	— de calcium	1,0728
Acide azotique	traces sensibles	— de magnésium	0,7728
Acide arsénique	traces notables	— de lithium	0,0157
Silice	0,0935	— de potassium	0,4913
Protoxyde de fer	0,0072	— de sodium	1,9452
Chaux	0,4172	Sulfate de sodium	0,1498
Magnésie	0,2415	Arséniate de sodium	traces notables
Lithine	0,0040	Azotate de sodium	traces sensibles
Potasse	0,2543	Chlorure de sodium	2,2583
Soude	2,0670	Matières organiques	traces sensibles
Matières organiques	traces sensibles		
Total	8,1351	Total	7,7868
Extrait sec à 180°	5,5010	Analyse du 20 juin 1895.	

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON D'ARDES.

Commune d'Apchal. — Territoire de Pravat à Chassolles.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,6232	Acide carbonique libre	0,6232
Acide carbon. des bicarbonates	2,1968	Silice	0,0720
Acide chlorhydrique	0,3712	Bicarbonate de fer	0,0053
Acide sulfurique	0,0391	— de calcium	0,7938
Acide arsénique	traces sensibles	— de magnésium	0,4496
Silice	0,0720	— de lithium	traces sensib.
Protoxyde de fer	0,0024	— de potassium	0,2497
Chaux	0,3087	— de sodium	2,1871
Magnésie	0,1405	Sulfate de sodium	0,0694
Lithine	traces sensibles	Arséniate de sodium	traces sensibles
Potasse	0,1291	Chlorure de sodium	0,5949
Soude	1,2536	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	5,1366	Total	5,0450
Extrait sec à 180°	3,4050	Analyse du 18 janvier 1895.	

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON D'ARDES (Suite).

Commune de Ternant. — Lieu dit : *la Ribeyre*, propriété de M. Loubinoux.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,2354	Acide carbonique libre.....	1,2354
Acide carbon. des bicarbonates.	2,5280	Silice.....	0,0762
Acide chlorhydrique.....	0,6489	Bicarbonate de fer.....	0,0040
Acide sulfurique.....	0,0435	— de calcium.....	0,7970
Acide arsénique.....	traces	— de magnésium.....	0,7379
Silice.....	0,0762	— de lithium.....	0,0039
Protoxyde de fer.....	0,0018	— de potassium.....	0,4700
Chaux.....	0,3100	— de sodium.....	2,2016
Magnésie.....	0,2306	Sulfate de sodium.....	0,0772
Lithine.....	0,0010	Arséniate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,2430	Chlorure de sodium.....	1,0401
Soude.....	1,4953	Matières organiques... traces sensibles	
Matières organiques... traces sensibles		Total.....	6,6433
Total.....	6,8137		
Extrait sec à 180°.....	4,1258		

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE.

Canton et commune de Besse (eau ferrugineuse, D^r Goyon).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,7446	Acide carbonique libre.....	1,7446
Acide carbon. des bicarbonates.	0,4954	Silice.....	0,0780
Acide chlorhydrique.....	0,0029	Bicarbonate de fer.....	0,0900
Acide sulfurique.....	traces	— de calcium.....	0,3348
Acide arsénique... traces très faibles		— de magnésium.....	0,2961
Silice.....	0,0780	— de lithium.....	0,0296
Protoxyde de fer.....	0,0405	— de potassium.....	0,0399
— de manganèse. traces sensib.		— de sodium.....	traces
Chaux.....	0,1302	Sulfate de sodium.....	traces
Magnésie.....	0,0925	Arséniate de sodium. traces très faibles	
Potasse.....	0,0153	Chlorure de sodium.....	0,0046
Soude.....	0,0190	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	2,6176
Total.....	2,6184		
Extrait sec à 180°.....	0,6300		

Analyse du 23 janvier 1895.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON DE CHAMPEIX.

Commune de Saint-Nectaire-le-Bas. — Sources : du Dolmen, des Dames, Gubler, Dumas.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES			
	Dolmen	Dames	Gubler	Dumas
	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	1,3266	1,0440	0,6868	0,4360
Acide carbonique des bicarbonates..	1,2934	2,3960	2,5532	2,6240
Acide chlorhydrique.....	0,7496	1,5414	1,7513	1,7482
Acide iodhydrique.....	tr. faibles	traces	traces	traces
Acide sulfurique.....	0,0453	0,0857	0,1015	0,0971
Acide arsénique.....	0,0005	0,0009	0,0038	0,0009
Silice.....	0,0905	0,1255	0,1365	0,1360
Protoxyde de fer.....	0,0112	0,0075	0,0046	0,0025
Chaux.....	0,1204	0,2378	0,2402	0,2446
Magnésie.....	0,0741	0,1488	0,1550	0,1607
Lithine.....	0,0110	0,0100	0,0160	0,0170
Potasse.....	0,1600	0,2338	0,2615	0,2624
Soude.....	1,1980	2,3695	2,6515	2,6306
Matières organiques.....	traces	traces	traces	traces
Total.....	5,0806	8,2109	8,5589	8,4100
Extrait sec à 180°.....	2,8480	5,4820	6,1060	6,1400
COMPOSITION CALCULÉE				
Acide carbonique libre.....	1,3266	1,0440	0,6868	0,4360
Silice.....	0,0905	0,1255	0,1365	0,1360
Bicarbonate de fer.....	0,0248	0,0167	0,0102	0,0055
— de calcium.....	0,3096	0,6114	0,6176	0,6288
— de magnésium.....	0,2371	0,4762	0,4960	0,5143
— de lithium.....	0,0432	0,0786	0,0630	0,0668
— de potassium.....	0,3094	0,4522	0,5055	0,5074
— de sodium.....	1,2715	2,4013	2,6220	2,7074
Sulfate de sodium.....	0,0804	0,1521	0,1802	0,1724
Arséniate de sodium.....	0,0008	0,0015	0,0013	0,0015
Chlorure de sodium.....	1,2014	2,4105	2,8069	2,8019
Iodure de sodium.....	traces	traces	traces	traces
Matières organiques.....	traces	traces	traces	traces
Total.....	4,8953	7,8300	8,1260	7,9780

Analyses du 15 février 1897.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT D'ISSOIRE. — CANTON DE CHAMPEIX (Suite).

Commune de Saint-Nectaire. — Propriété de M. Papon Michel Serre. — Sources : du Souterrain et Chaude.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	Souterrain	Chaude
	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,1491	0,1316
Acide carbonique des bicarbonates.....	2,6580	2,6289
Acide chlorhydrique.....	1,7368	1,7510
Acide iodhydrique.....	tr. faibles	tr. faibles
Acide sulfurique.....	0,0964	0,0957
Acide arsénique.....	0,0012	0,0012
Silice.....	0,1405	0,1398
Protoxyde de fer.....	0,0036	0,0041
Chaux.....	0,2244	0,2420
Magnésie.....	0,1553	0,1557
Lithine.....	0,0297	0,0286
Potasse.....	0,3086	0,2975
Soude.....	2,6667	2,6465
Matières organiques.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Total.....	8,1703	8,1227
Extrait sec à 180°.....	6,1878	6,1826
	COMPOSITION CALCULÉE	
Acide carbonique libre.....	0,1491	0,1316
Silice.....	0,1405	0,1398
Bicarbonate de fer.....	0,0080	0,0092
— de calcium.....	0,5768	0,6222
— de magnésium.....	0,4969	0,4982
— de lithium.....	0,1168	0,1125
— de potassium.....	0,5967	0,5753
— de sodium.....	2,7005	2,6238
Sulfate de sodium.....	0,1711	0,1699
Arséniate de sodium.....	0,0019	0,0019
Chlorure de sodium.....	2,7836	2,8064
Iodure de sodium.....	traces	traces
Matières organiques.....	tr. sensibles	tr. sensibles
Total.....	7,7419	7,6908

Analyses du 16 mars 1898.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE COMBRONDE.

Commune de Saint-Myon, hameau de Parret. — Propriété de M. Clermont.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.	
Acide carbonique libre.....	0,4882	
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,6621	
Acide chlorhydrique.....	0,0359	
Acide sulfurique.....	0,0713	
Silice.....	0,0432	
Protoxyde de fer.....	traces sensibles	
Chaux.....	0,2240	
Magnésie.....	0,0757	
Lithine.....	traces	
Potasse.....	0,0262	
Soude.....	0,1697	
Matières organiques.....	traces	
Total.....	1,7963	
Extrait sec à 180°.....	0,9654	
	COMPOSITION CALCULÉE	
Acide carbonique libre.....	0,4882	
Silice.....	0,0432	
Bicarbonate de fer.....	traces sensibles	
— de calcium.....	0,5759	
— de magnésium.....	0,2422	
— de lithium.....	traces	
— de potassium.....	0,0507	
— de sodium.....	0,2032	
Sulfate de sodium.....	0,1265	
Chlorure de sodium.....	0,0575	
Matières organiques.....	traces	
Total.....	1,7874	

Analyse du 9 août 1898.

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE SAINT-GERVAIS.

Commune de Saint-Priest-des-Champs.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.	
Acide carbonique libre.....	1,9821	
Acide carbon. des bicarbonates.....	1,0269	
Acide chlorhydrique.....	0,0018	
Acide sulfurique.....	0,0100	
Acide azotique.....	traces faibles	
Silice.....	0,0475	
Protoxyde de fer et traces de manganèse.....	0,0126	
Chaux.....	0,4817	
Magnésie.....	0,0646	
Lithine.....	traces sensibles	
Potasse.....	0,0397	
Soude.....	0,0593	
Matières organiques.....	traces	
Total.....	3,7292	
Extrait sec à 180°.....	1,2246	
	COMPOSITION CALCULÉE	
Acide carbonique libre.....	1,9834	
Silice.....	0,0475	
Bicarbonate de fer.....	0,0277	
— de calcium.....	1,2463	
— de magnésium.....	0,2068	
— de lithium.....	trac. sensibles	
— de potassium.....	0,0767	
— de sodium.....	0,1210	
Sulfate de sodium.....	0,0177	
Azotate de sodium.....	traces faibles	
Chlorure de sodium.....	0,0029	
Matières organiques.....	traces	
Total.....	3,7287	

Analyse du 18 novembre 1896.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE MANZAT.

Commune de Châteauneuf. — Lieu dit : *au Got*. — Propriété de M. Fousat.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	1,7086	Acide carbonique libre	1,7086
Acide carbon. des bicarbonates.	1,2860	Silice	0,1160
Acide chlorhydrique	0,1893	Crénate de fer	traces
Acide sulfurique	0,1520	Bicarbonate de fer	0,0287
Acide arsénique	traces	— de manganèse	traces
Acide crénique	traces	— de calcium	1,2490
Silice	0,1160	— de magnésium	0,4672
Protoxyde de fer	0,0129	— de lithium	0,0321
— de manganèse	traces	— de potassium	1,1971
Chaux	0,4858	— de sodium	1,0033
Magnésie	0,1460	Sulfate de sodium	0,2698
Lithine	0,0130	Arséniate de sodium	traces
Potasse	0,6190	Chlorure de sodium	0,3034
Soude	0,6935	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	6,4221	Total	6,3752
Extrait sec à 180°	3,4642		

Analyse du 8 février 1898.

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE RIOM.

Commune de Châtel-Guyon. — Propriété de M. Parret.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,1326	Acide carbon. libre	0,1326
Acide carbon. des bicarbonates.	2,0872	Silice	0,1085
Acide chlorhydrique	2,1802	Bicarbonate de fer	0,0236
Acide sulfurique	0,3007	— de calcium	1,7570
Acide azotique	traces sensibles	— de magnésium	1,4548
Silice	0,1085	Chlorure de magnésium	0,3567
Protoxyde de fer	0,0106	— de lithium	traces notables
Chaux	0,6830	— de potassium	0,2263
Magnésie	0,6050	— de sodium	2,8772
Lithine	traces notables	Sulfate de sodium	0,5537
Potasse	0,1430	Azotate de sodium	traces sensibles
Soude	1,7589	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces sensibles		
Total	8,0097	Total	7,4704
Extrait sec à 180°	6,2254		

Analyse du 16 novembre 1896.

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DOME (Suite).

ARRONDISSEMENT DE RIOM. — CANTON DE RIOM (Suite).

Commune de Châtel-Guyon. — Propriété Valadin.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,8997	Acide carbonique libre	0,8997
Acide carbon. des bicarbonates.	1,7833	Silice	0,1027
Acide chlorhydrique	2,1357	Peroxyde de fer (en suspension)	0,0085
Acide sulfurique	0,2894	Bicarbonate de calcium	2,5200
Acide arsénique	traces	— de magnésium	0,3539
Silice	0,1027	Chlorure de magnésium	1,2720
Peroxyde de fer (en suspension)	0,0085	— de lithium	tr. très notables
Chaux	0,9800	— de potassium	0,1419
Magnésie	0,6465	— de sodium	1,7450
Lithine	traces très notables	Sulfate de sodium	0,5137
Potasse	0,0897	Arséniate de sodium	faibles traces
Soude	1,1497	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	8,0852	Total	7,5374
Extrait sec à 180°	5,7984		

Analyse du 11 février 1895.

ARRONDISSEMENT ET CANTON DE RIOM (Suite).

Commune de Châtel-Guyon. — Source minérale gratuite (plan cadastral 737, section E).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,8836	Acide carbonique libre	0,8836
Acide carbon. des bicarbonates.	1,8604	Silice	0,1070
Acide chlorhydrique	2,1725	Bicarbonate de fer	0,0071
Acide sulfurique	0,2928	— de manganèse	traces
Acide arsénique	tr. sensibles	— de calcium	2,4800
Silice	0,1070	— de magnésium	0,4961
Protoxyde de fer	0,0032	Chlorure de magnésium	1,1931
Oxyde de manganèse	traces	— de lithium	0,0198
Chaux	0,9646	— de potassium	0,2401
Magnésie	0,6574	— de sodium	1,7972
Lithine	0,0070	Sulfate de sodium	0,5197
Potasse	0,1520	Arséniate de sodium	traces
Soude	1,1801	Matières organiques	traces
Matières organiques	traces		
Total	8,2806	Total	7,7437
Extrait sec à 180°	5,8450		

Analyse du 24 avril 1899.

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES.

ARRONDISSEMENT DE BAYONNE. — CANTON DE BIDACHE.

Commune de Came. — Puits Guinéraut. — Propriété de M. Pétrissant.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0657	Acide carbonique libre.....	0,0657
Acide carbon. des bicarbonates..	0,2357	Silice.....	0,0100
Acide chlorhydrique.....	0,1041	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	0,0072	— de calcium.....	0,3857
Acide azotique.....	traces	Sulfate de magnésium.....	0,0108
Silice.....	0,0110	Chlorure de magnésium.....	0,0513
Protoxyde de fer.....	faibles tr.	— de potassium.....	0,0228
Chaux.....	0,1500	— de sodium.....	0,1825
Magnésie.....	0,0252	Azotate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,0144	Matières organiques.....	tr. sensibles
Soude.....	0,0968		
Matières organiques.....	tr. sensibles	Total.....	0,7288
Total.....	0,7695		
Extrait sec à 180°.....	0,5437	Analyse du 11 novembre 1877.	

ARRONDISSEMENT D'OLORON. — CANTON D'ARUDY.

Commune de Mifaget. — Propriété Régadé (eau sulfureuse).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0130	Acide carbonique libre.....	0,0130
Acide carbon. des bicarbonates..	0,1620	Silice.....	0,0190
Acide chlorhydrique.....	0,0025	Bicarbonate de fer.....	très faibles tr.
Acide sulfurique.....	0,0160	— de calcium.....	0,2062
Acide sulfhydrique.....	0,0005	— de magnésium.....	0,0524
Acide hyposulfureux.....	0,0008	Sulfate de magnésium.....	0,0120
Silice.....	0,0190	— de potassium.....	0,0092
Protoxyde de fer.....	tr. faibles traces	— de sodium.....	0,0067
Chaux.....	0,0802	Hyposulfite de sodium.....	0,0013
Magnésie.....	0,0204	Sulfure de sodium.....	0,0011
Potasse.....	0,0050	Chlorure de sodium.....	0,0040
Soude.....	0,0064	Matières organiques.....	tr. not.
Matières organiques.....	tr. notables	Total.....	0,3249
Total.....	0,3258		
Extrait sec à 180°.....	0,2200	Analyse du 14 octobre 1895.	

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES (Suite).

ARRONDISSEMENT D'OLORON. — CANTON D'ARUDY (Suite).

Commune de Mifaget. — Propriété Régadé (Source ferrugineuse).

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0276	Acide carbonique libre.....	0,0276
Acide carbon. des bicarbonates..	0,2182	Silice.....	0,0125
Acide chlorhydrique.....	0,0030	Bicarbonate de fer et de manga-	
Acide sulfurique.....	0,0197	nèse.....	0,0020
Acide azotique.....	traces	— de calcium.....	0,3195
Silice.....	0,0125	— de magnésium.....	0,0320
Protoxyde de fer.....	0,0009	Sulfate de potassium.....	0,0120
— de manganèse.....	traces	— de sodium.....	0,0252
Chaux.....	0,1243	Azotate de sodium.....	traces
Magnésie.....	0,0100	Chlorure de sodium.....	0,0048
Potasse.....	0,0065	Matières organiques.....	traces
Soude.....	0,0135		
Matières organiques.....	traces	Total.....	0,4356
Total.....	0,4363		
Extrait sec à 180°.....	0,293	Analyse du 14 octobre 1890.	

ARRONDISSEMENT D'ORTHEZ. — CANTON DE SALIERS.

Commune de Saint-Pé-de-Léren. — Source Lassauque.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0118	Acide carbonique libre.....	0,0118
Acide carbon. des bicarbonates..	0,2722	Silice.....	0,0205
Acide chlorhydrique.....	10,8780	Bicarbonate de calcium.....	0,4455
Acide sulfurique.....	1,3455	Sulfure de calcium.....	0,0220
Acide sulfhydrique.....	0,0101	Sulfate de calcium.....	1,5654
Silice.....	0,0205	— de magnésium.....	0,4248
Chaux.....	0,8350	— de potassium.....	0,3082
Magnésie.....	0,1416	Chlorure de sodium.....	17,4376
Potasse.....	0,1667	Matières organiques.....	tr. notables
Soude.....	9,2272		
Matières organiques.....	tr. notables	Total.....	20,2358
Total.....	22,9086		
Extrait sec à 180°.....	20,1760	Analyse du 14 juin 1898.	

DÉPARTEMENT DES BASSES-PYRÉNÉES (Suite).

Ville de Pau. — Source Cadaval.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0292	Acide carbonique libre.....	0,0292
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,2716	Silice.....	0,0142
Acide chlorhydrique.....	0,0379	Bicarbonate de calcium.....	0,4445
Acide sulfurique.....	0,0982	Sulfate de calcium.....	0,0184
Acide azotique.....	0,0077	— de magnésium.....	0,0636
Silice.....	0,0142	— de sodium.....	0,0798
Chaux.....	0,1805	Azotate de sodium.....	0,0121
Magnésie.....	0,0212	Chlorure de sodium.....	0,0513
Potasse.....	0,0075	— de potassium.....	0,0119
Soude.....	0,0664	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces	Total.....	0,7250
Total.....	0,7344		
Extrait sec à 180°.....	0,5563	Analyse du 1 ^{er} mars 1895.	

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES.

ARRONDISSEMENT ET CANTON D'ARJELÈS.

Commune de Beaucens. — Source de l'Établissement thermal et source de la Buvette.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	Établissement thermal	de la Buvette
	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	0,0113	0,0121
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,1376	0,1208
Acide chlorhydrique.....	0,4726	0,4650
Acides bromhydrique et iodhydrique.....	faibles tr.	faibles tr.
Acide sulfurique.....	0,0010	0,0012
Silice.....	0,0125	0,0130
Chaux.....	0,0395	0,0383
Magnésie.....	0,0144	0,0146
Lithine.....	0,0020	0,0020
Potasse.....	0,0290	0,0384
Soude.....	0,4101	0,3929
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	1,1300	1,0883
Extrait sec à 180°.....	0,9340	0,9040
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,0113	0,0121
Silice.....	0,0125	0,0130
Bicarbonate de calcium.....	0,4015	0,0985
— de magnésium.....	0,0460	0,0468
— de sodium.....	0,0750	0,0484
Chlorure de sodium.....	0,7139	0,7023
— de potassium.....	0,0459	0,0450
— de lithium.....	0,0056	0,0056
Bromure et iodure de potassium.....	tr. faibles	tr. faibles
Sulfate de sodium.....	0,0018	0,0021
Matières organiques.....	traces	traces
Total.....	1,0135	0,9738

Analyses du 19 avril 1898.

DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES (Suite).

CANTON ET ARRONDISSEMENT DE BAGNÈRES-DE-BIGORRE.

Commune de Labassère.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique combiné	0,01700	Carbonate de calcium	0,01290
Acide chlorhydrique	0,15940	— de magnésium	0,00170
Acide iodhydrique	tr. faibles	— de fer	traces
Acide sulfurique	0,00598	— de manganèse	0,00013
Acide sulfhydrique	0,01950	— de cuivre	traces
Acide hyposulfureux	0,00290	Alumine	0,00060
Silice	0,03980	Silice non combinée	0,03410
Oxyde de cuivre	traces	Carbonate de sodium	0,02300
Alumine	0,00060	Silicate de sodium	0,01360
Protoxyde de fer	traces	Sulfate de sodium	0,01010
— de manganèse	0,00008	Hyposulfite de sodium	0,00400
Chaux	0,00720	Sulfure de sodium	0,04470
Magnésie	0,00080	Iodure de sodium	traces
Lithine	traces	Chlorure de sodium	0,25280
Potasse	0,00330	— de potassium	0,00520
Soude	0,19540	— de lithium	traces
Matières organiques	0,04377	Matières organiques	0,04377
Total	0,49573	Total	0,44860

Extrait sec à 180° Analyse du 28 décembre 1894.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES.

ARRONDISSEMENT DE PRADES. — CANTON DE SAILLAGOUSSE.

Commune de Llo. — Source Marie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,01225	Acide carbonique libre	0,01225
Acide carbon. des bicarbonates	0,04095	Bicarbonate de fer	traces
Acide chlorhydrique	0,01310	— de calcium	0,01510
Acide sulfurique	0,03950	— de magnésium	0,00080
Acide sulfhydrique	0,00140	— de sodium	0,05300
Silice	0,04850	Sulfate de sodium	0,07010
Protoxyde de fer	traces	Silicate de sodium	0,09850
Chaux	0,00590	Sulfure de sodium	0,00320
Magnésie	0,00025	Chlorure de sodium	0,01120
Potasse	0,00790	— de potassium	0,01250
Soude	0,11080	Matières organiques	0,01105
Matières organiques	0,01105	Total	0,28770
Total	0,29160		

Extrait sec à 180° Analyse du 25 mars 1895.

DÉPARTEMENT DES PYRÉNÉES-ORIENTALES (Suite).

ARRONDISSEMENT DE PRADES. — CANTON DE SAILLAGOUSSE (Suite).

Commune de Llo. — Source Eugénie.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0129	Acide carbonique libre	0,0129
Acide carbon. des bicarbonates	0,0391	Bicarbonate de fer	traces
Acide chlorhydrique	0,0125	— de calcium	0,0151
Acide sulfurique	0,0400	— de magnésium	0,0007
Acide sulfhydrique	0,0013	— de sodium	0,0501
Silice	0,0493	Sulfate de sodium	0,0710
Protoxyde de fer	traces	Silicate de sodium	0,1002
Chaux	0,0059	Sulfure de sodium	0,0030
Magnésie	0,00022	Chlorure de sodium	0,0101
Potasse	0,0080	— de potassium	0,0127
Soude	0,1104	Matières organiques	0,0107
Matières organiques	0,0107	Total	0,2865
Total	0,29032		

Extrait sec à 180° Analyse du 25 mars 1895.

DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE.

ARRONDISSEMENT DE SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE. — CANTON DE LA CHAMBRE.

Commune de Saint-Rémy.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre	0,0072	Acide carbonique libre	0,0072
Acide carbon. des bicarbonates	0,1158	Silice	0,0172
Acide chlorhydrique	0,2043	Bicarbonate de calcium	0,1895
Acide sulfurique	0,1350	Sulfate de calcium	0,1309
Silice	0,0172	— de magnésium	0,0870
Chaux	0,1276	Chlorure de lithium	traces faibles
Magnésie	0,0290	— de potassium	0,0625
Lithine	traces faibles	— de sodium	0,2784
Potasse	0,0395	Matières organiques	0,0034
Soude	0,1475	Total	0,7761
Matières organiques	0,0034		
Total	0,8265		

Extrait sec à 180° Analyse du 5 mars 1897.

DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAVOIE.

ARRONDISSEMENT DE BONNEVILLE.

Canton et commune de Saint-Gervais-les-Bains. — Source Goulard.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0362	Acide carbonique libre.....	0,0362
Acide carbon. des bicarbonates.	0,1446	Bicarbonate de calcium.....	0,2366
Acide chlorhydrique.....	0,9656	Sulfate de calcium.....	0,8472
Acide bromhydrique.....	0,0223	— de magnésium.....	0,1494
Acide iodhydrique.....	traces	— de lithium.....	0,0812
Acide sulfurique.....	1,5271	— de potassium.....	0,1136
Acide phosphorique.....	traces	— de sodium.....	1,4461
Acide arsénique.....	traces	Silicate de sodium.....	0,0607
Silice.....	0,0397	Arséniate de sodium.....	traces
Chaux.....	0,4397	Phosphate de sodium.....	traces
Magnésie.....	0,0498	Chlorure de sodium.....	1,5476
Lithine.....	0,0201	Bromure de sodium.....	0,0263
Potasse.....	0,0614	Iodure de sodium.....	traces
Soude.....	1,5010	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
		Total.....	4,5669
Total.....	4,8075		
Extrait sec à 180°.....	4,5100	Analyse du 17 février 1895.	

DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE.

ARRONDISSEMENT DE PONTOISE. — CANTON DE MONTMORENCY.

Commune d'Enghien-les-Bains. — Sources : du Lac, du Roi et Puisaye.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	Lac	Roi	Puisaye
Acide carbonique libre.....	gr. 0,0798	gr. 0,0535	gr. 0,0723
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2641	0,3237	0,3816
Acide chlorhydrique.....	0,0345	0,0356	0,0376
Acide sulfurique.....	0,2633	0,2646	0,2623
Acide sulfhydrique.....	0,0645	0,0453	0,0446
Silice.....	0,0592	0,0525	0,0615
Protoxyde de fer.....	traces	traces	traces
Chaux.....	0,2746	0,2965	0,3215
Magnésie.....	0,0432	0,0479	0,0533
Lithine.....			
Potasse.....	0,0130	0,0158	0,0176
Soude.....	0,0400	0,0505	0,0540
Matières organiques.....	0,1340	0,1560	0,0920
Total.....	1,2702	1,3719	1,3983
Extrait sec transformé en sulfates et porté au rouge sombre.....	0,8924	0,9888	1,0801
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	0,0798	0,0835	0,0723
Silice.....	0,0592	0,0525	0,0615
Acide sulfhydrique libre.....	0,0645	0,0453	0,0446
Bicarbonate de calcium.....	0,4323	0,5297	0,6244
Sulfate de calcium.....	0,2586	0,2198	0,1911
— de magnésium.....	0,1296	0,1437	0,1599
— de potassium.....	0,0240	0,0202	0,0325
— de sodium.....	0,0245	0,0463	0,0504
Chlorure de sodium.....	0,0553	0,0571	0,0603
Matières organiques.....	0,1340	0,1560	0,0920
Total.....	1,2618	1,3631	1,3889

Analyse du 26 juin 1899.

DÉPARTEMENT DE LA SOMME.

ARRONDISSEMENT DE DOULLENS.

Propriété de M. Jacquot.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0350	Acide carbonique libre.....	0,0350
Acide carbon. des bicarbonates.....	0,2150	Bicarbonate de fer....	traces sensibles
Acide chlorhydrique.....	0,0084	— de calcium.....	0,3388
Acide sulfurique.....	0,0034	— de magnésium....	0,0115
Acide azotique.....	traces	Phosphate de calcium.....	0,0006
Acide phosphorique.....	0,0003	Sulfate de sodium.....	0,0060
Silice.....	0,0115	Silicate de sodium.....	0,0233
Protoxyde de fer.....	traces sensibles	Azotate de sodium.....	traces
Chaux.....	0,4318	Chlorure de sodium.....	0,0090
Magnésie.....	0,0036	— de potassium.....	0,0058
Potasse.....	0,0037	Matières organiques...	traces sensibles
Soude.....	0,0192		
Matières organiques...	traces sensibles	Total.....	0,4300
Total.....	0,4319		
Extrait sec à 180°.....	0,2920	Analyse du 13 juin 1895.	

DÉPARTEMENT DU TARN.

ARRONDISSEMENT D'ALBI. — CANTON DE VALENCE.

Établissement des bains de Trébas. — Sources : Assie, Marie et Saint-Roch.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	Assie	Marie	Saint-Roch
Acide carbonique libre.....	gr. 0,2615	gr. 0,1339	gr. 0,2710
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,3080	0,1821	0,3392
Acide chlorhydrique.....	0,0234	0,0091	0,0008
Acide sulfurique.....	0,0485	0,0389	0,0409
Acide azotique.....	tr. tr. faibles	tr. faibles	tr. à peine sens.
Silice.....	0,0310	0,0315	0,0280
Protoxyde de fer.....	0,0045	0,0061	0,0005
Oxyde de cuivre.....	tr. sensibles	tr. tr. faib.	0,0008
Chaux.....	0,0742	0,0451	0,0638
Magnésie.....	0,0316	0,0207	0,0292
Lithine.....	tr. notables	tr. sensibl.	tr. sensibles
Potasse.....	0,0150	0,0110	0,0145
Soude.....	0,1313	0,0716	0,1617
Matières organiques.....	tr. sensibles	traces	tr. notables
Total.....	0,9310	0,5500	0,9704
Extrait sec à 180°.....	0,5128	0,3123	0,5215
	COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,2615	0,1339	0,2710
Silice.....	0,0310	0,0315	0,0280
Bicarbonate de calcium.....	0,1908	0,1160	0,1641
— de magnésium.....	0,1011	0,0662	0,0934
— de fer.....	0,0100	0,0136	0,0011
— de cuivre.....	tr. sensibles	tr. faibles	0,0017
— de lithium.....	tr. sensibles	traces	tr. sensibles
— de sodium.....	0,1084	0,0992	0,2952
Chlorure de sodium.....	0,0407	0,0146	0,0333
Azotate de sodium.....	tr. faibles	tr. tr. faib.	tr. faibles
Sulfate de sodium.....	0,0635	0,0525	0,0507
— de potassium.....	0,0277	0,0203	0,0268
Matières organiques.....	tr. sensibles	traces	tr. notables
Total.....	0,9247	0,5478	0,9653

Analyses du 14 mai 1895.

DÉPARTEMENT DU VAR.

ARRONDISSEMENT DE DRAGUIGNAN.

Canton et commune de Draguignan. — Source de la Foux.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique.....	0,1756	Silice.....	0,0085
Acide chlorhydrique.....	0,8141	Bicarbonate de calcium.....	0,2874
Acide sulfurique.....	0,7304	Sulfate de calcium.....	0,9598
Acide azotique.....	traces	— de magnésium.....	0,2487
Silice.....	0,0085	Chlorure de potassium.....	0,0481
Chaux.....	0,5070	— de sodium.....	1,2687
Magnésie.....	0,0829	Azotate de sodium.....	traces
Potasse.....	0,0291	Matières organiques.....	traces
Soude.....	0,6723		
Matières organiques.....	traces	Total.....	2,8192
Total.....	3,0199		
Extrait sec à 180°.....	2,7500	Analyse du 26 avril 1895.	

DÉPARTEMENT DE LA VIENNE.

ARRONDISSEMENT DE CHATELLERAULT. — CANTON DE PLEUMARTIN.

Commune de la Roche-Posay. — Sources: Est N° 1, Sud N° 2, Ouest N° 3.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	Est N° 1	Sud N° 2	Ouest N° 3
Acide carbonique libre.....	gr. 0,0104	gr. 0,0095	gr. 0,0097
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2781	0,2832	0,2974
Acide chlorhydrique.....	0,0181	0,0182	0,0211
Acide sulfurique.....	0,0433	0,0439	0,0481
Acide azotique.....	faibles tr.	faibles tr.	traces
Acide.....			
Silice.....	0,0293	0,0285	0,0320
Protoxyde de fer.....	traces	traces	traces
Chaux.....	0,1770	0,1790	0,1893
Magnésie.....	0,0120	0,0122	0,0132
Lithine.....	faibles tr.	faibles tr.	traces
Potasse.....	0,0056	0,0054	0,0058
Soude.....	0,0266	0,0271	0,0309
Matières organiques.....	tr. tr. notab.	tr. tr. not.	tr. tr. notab.
Total.....	0,6001	0,6070	0,6475
Extrait sec à 180°.....	0,4480	0,4520	0,4860
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	0,0104	0,0095	0,0097
Silice.....	0,0293	0,0285	0,0320
Bicarbonate de fer.....	tr. faibles	tr. faibles	traces
— de calcium.....	0,4551	0,4622	0,4867
Sulfate de magnésium.....	0,5360	0,5366	0,5396
— de potassium.....	0,0104	0,0100	0,0107
— de sodium.....	0,0257	0,0265	0,0298
Azotate de sodium.....	tr. faibles	tr. faibles	traces
Chlorure de sodium.....	0,0290	0,0292	0,0338
— de lithium.....	tr. faibles tr.	tr. faib. tr.	faibles tr.
Matières organiques.....	tr. notables	tr. notables	tr. notables
Total.....	0,5959	0,6025	0,6423

Nota. — Le dépôt formé par les sources contient de faibles traces d'arsenic.

Analyses du 22 décembre 1896.

DÉPARTEMENT DE LA VIENNE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CHATELLERAULT. — CANTON DE PLEUMARTIN (Suite).

Commune de la Roche-Posay. — Sources N^{os} 4 et 5.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	N ^o 4	N ^o 5
Acide carbonique libre.....	gr. 0,0114	gr. 0,0124
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2775	0,2832
Acide chlorhydrique.....	0,0213	0,0208
Acide sulfurique.....	0,0426	0,0411
Acide azotique.....	faibles tr.	faibles tr.
Silice.....	0,0280	0,0283
Protoxyde de fer.....	traces	traces
Chaux.....	0,1766	0,1790
Magnésie.....	0,0118	0,0120
Lithine.....	faibles tr.	faibles tr.
Potasse.....	0,0082	0,0059
Soude.....	0,0274	0,0268
Matières organiques.....	tr. tr. notab.	tr. tr. notab.
Total.....	0,6048	0,6095
Extrait sec à 180°.....	0,4460	0,4580
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,0114	0,0124
Silice.....	0,0280	0,0283
Bicarbonate de fer.....	traces	traces
— de calcium.....	0,4541	0,4632
Sulfate de magnésium.....	0,0354	0,0360
— de potassium.....	0,0152	0,0109
— de sodium.....	0,0213	0,0214
Azotate de sodium.....	faibles tr.	faibles tr.
Chlorure de sodium.....	0,0341	0,0333
— de lithium.....	tr. faibles tr.	tr. faibles tr.
Matières organiques.....	tr. notables	tr. notables
Total.....	0,5995	0,6045

Analyses du 8 mai 1897.

DÉPARTEMENT DE LA VIENNE (Suite).

ARRONDISSEMENT DE CHATELLERAULT. — CANTON DE PLEUMARTIN (Suite).

Commune de la Roche-Posay. — Sources : Saint-Savin, Saint-Cyprien et Dugesclin.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES		
	Saint-Savin	St-Cyprien	Dugesclin
Acide carbonique libre.....	gr. 0,0112	gr. 0,0089	gr. 0,0082
Acide carbonique des bicarbonates.....	0,2713	0,2438	0,2442
Acide chlorhydrique.....	0,0263	0,0202	0,0198
Acide sulfurique.....	0,0449	0,0276	0,0274
Acide azotique.....	tr. tr. notab.	tr. sensibl.	tr. sensibles
Silice.....	0,0315	0,0282	0,0280
Protoxyde de fer.....	tr. sensibles	tr. sensibl.	tr. sensibles
Chaux.....	0,1727	0,1552	0,1554
Magnésie.....	0,0121	0,0080	0,0079
Lithine.....	traces	traces	traces
Potasse.....	0,0065	0,0042	0,0039
Soude.....	0,0318	0,0233	0,0231
Matières organiques.....	tr. tr. notab.	tr. notables	tr. notables
Total.....	0,6056	0,5194	0,5179
Extrait sec à 180°.....	0,4541	0,3837	0,3825
COMPOSITION CALCULÉE			
Acide carbonique libre.....	0,0112	0,0089	0,0082
Silice.....	0,0315	0,0282	0,0280
Bicarbonate de fer.....	traces	traces	traces
— de calcium.....	0,4440	0,3990	0,3996
Sulfate de magnésium.....	0,0363	0,0240	0,0237
— de potassium.....	0,0120	0,0078	0,0073
— de sodium.....	0,0270	0,0141	0,0145
Azotate de sodium.....	traces	traces	traces
Chlorure de sodium.....	0,0378	0,0324	0,0317
— de lithium.....	traces	traces	traces
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total.....	0,5998	0,5144	0,5130

Analyses du 27 mars 1899.

DÉPARTEMENT DES VOSGES.

ARRONDISSEMENT DE MIRECOURT. — CANTON DE VITTEL.

Source du terrain Juvin, dite : *Merveilleuse* des sources Mongeot.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0587	Acide carbonique libre.....	0,0587
Acide carbon. des bicarbonates.	0,2573	Silice.....	0,0110
Acide chlorhydrique.....	0,0031	Bicarbonate de fer.....	traces
Acide sulfurique.....	1,0811	— de calcium.....	0,4211
Silice.....	0,0110	Sulfate de calcium.....	1,5118
Protoxyde de fer.....	traces sensibles	— de magnésium.....	0,2487
Chaux.....	0,7863	— de sodium.....	0,0461
Magnésie.....	0,0829	Chlorure de sodium.....	0,0049
Lithine.....	traces	— de potassium.....	traces
Potasse.....	traces	— de lithium.....	traces
Soude.....	0,0227	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	2,3031	Total.....	2,3023
Extrait sec à 180°.....	2,1012	Analyse du 20 avril 1899.	

DÉPARTEMENT DE L'YONNE.

ARRONDISSEMENT D'AUXERRE. — CANTON DE TOUCY.

Commune de Parly. — Puits Nodot.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	0,0496	Acide carbonique libre.....	0,0496
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0613	Silice.....	0,0175
Acide chlorhydrique.....	0,0086	Bicarbonate de fer.....	0,0104
Acide sulfurique.....	0,0193	— de calcium.....	0,0741
Silice.....	0,0175	— de magnésium.....	0,0150
Protoxyde de fer.....	0,0047	Sulfate de potassium.....	0,0094
Chaux.....	0,0288	Sulfate de sodium.....	0,0266
Magnésie.....	0,0047	Chlorure de sodium.....	0,0138
Potasse.....	0,0051	Matières organiques.....	traces
Soude.....	0,0189		
Matières organiques.....	traces	Total.....	0,2164
Total.....	0,2185		
Extrait sec à 180°.....	0,1348	Analyse du 29 février 1896.	

ANNAM.

PROVINCE DE QUANG-NAM.

Phiouc-Bin, à 13 kilomètres de Hong-Son.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbon. des bicarbonates.	0,0545	Bicarbonate de calcium.....	0,0244
Acide chlorhydrique.....	0,0152	— de magnésium.....	0,0064
Acide sulfurique.....	0,0178	— de sodium.....	0,0600
Acide hyposulfureux.....	0,0014	Sulfate de sodium.....	0,0316
Acide sulfhydrique.....	0,0037	Hyposulfite de sodium.....	0,0023
Silice.....	0,0480	Sulfure de sodium.....	0,0085
Chaux.....	0,0095	Chlorure de sodium.....	0,0244
Magnésie.....	0,0020	Silicate de sodium.....	0,0575
Potasse.....	0,0310	— de potassium.....	0,0507
Soude.....	0,0886	Chlorure de lithium.....	traces
Matières organiques.....	0,0280	Matières organiques.....	0,0280
Total.....	0,2997	Total.....	0,2938
Extrait sec à 180°.....	0,278	Analyse du 6 juillet 1896.	

ILES COMORES.

Source d'Anjouan.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE		COMPOSITION CALCULÉE	
	gr.		gr.
Acide carbonique libre.....	1,5250	Acide carbonique libre.....	1,5250
Acide carbon. des bicarbonates.	1,0747	Silice.....	0,1150
Acide chlorhydrique.....	0,0051	Bicarbonate de fer.....	0,0287
Acide sulfurique.....	0,0031	— de calcium.....	0,9885
Silice.....	0,1150	— de magnésium.....	0,5974
Protoxyde de fer.....	0,0129	— de potassium.....	0,0212
Chaux.....	0,3845	— de sodium.....	0,0580
Magnésie.....	0,1867	Sulfate de sodium.....	0,0055
Potasse.....	0,0110	Chlorure de sodium.....	0,0022
Soude.....	0,0307	Matières organiques.....	traces
Matières organiques.....	traces		
Total.....	3,3487	Total.....	3,3475
Extrait sec à 180°.....	1,2714	Analyse du 6 juillet 1896.	

TUNISIE.

Sources Bir-Tartar et El-Hamma-de-Nefzaoua.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	SOURCES	
	Bir Tartar	El Hamma
Acide carbonique libre.....	gr. 0,075	gr. 0,044
Acide chlorhydrique.....	2,307	0,332
Acide sulfurique.....	2,160	0,905
Silice.....	0,052	0,033
Protoxyde de fer et oxyde de cuivre.....	tr. sensib.	tr. faibles
Chaux.....	0,666	0,563
Magnésie.....	0,684	0,119
Potasse.....	0,190	0,094
Soude.....	1,710	0,538
Total.....	7,844	3,133
Extrait sec à 180°.....	7,210	2,870
COMPOSITION CALCULÉE		
Acide carbonique libre.....	0,075	0,040
Silice.....	0,052	0,033
Carbonates de fer et de cuivre.....	tr. sensibles	tr. faibles
Sulfate de calcium.....	1,617	1,368
— de magnésium.....	1,813	0,150
Chlorure de magnésium.....	0,199	0,163
— de potassium.....	0,301	0,149
— de sodium.....	3,228	1,014
Total.....	7,276	2,926

Analyses du 14 octobre 1897.

NOTE

SUR UNE CAUSE APPARENTE D'ERREUR

DANS LE

DOSAGE DU GRISOU PAR LES LIMITES D'INFLAMMABILITÉ

Par M. LEBRETON, Ingénieur des Mines.

Le procédé si pratique de dosage du grisou par les limites d'inflammabilité consiste, comme on le sait (*), à déterminer la limite d'inflammabilité d'un gaz combustible employé comme réactif successivement avec l'air pur et avec l'air grisouteux. L'écart entre les deux chiffres obtenus mesure, à un facteur constant près, la teneur en formène de l'air grisouteux.

Ce procédé suppose essentiellement que les limites d'inflammabilité du gaz réactif et du grisou sont constantes, et l'exactitude des résultats obtenus est du même ordre que celle de ce principe.

Or on constate fréquemment des différences qui paraissent inexplicables entre les limites d'inflammabilité d'un même gaz avec l'air pur, obtenues soit au même moment, soit à peu de distance, par le même opérateur ou plus fréquemment par des opérateurs différents; c'est

(*) LE CHATELIER, Note sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité (*Ann. des Mines*, 8^e série, t. XIX, 1891, p. 388). — LEBRETON, Note sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité (*Ann. des Mines*, 9^e série, t. VI, 1894; p. 289).

ainsi, pour ma part, que je l'ai observé pour la première fois. Ces différences s'élèvent souvent à plusieurs millièmes; il paraît dès lors illusoire de vouloir, par ce procédé, pousser l'exactitude jusqu'au millième; on est même en droit de se demander si ces variations dans la limite d'inflammabilité n'entachent pas d'erreur le procédé tout entier.

J'ai reconnu qu'il n'en est rien et que ces variations dans la limite d'inflammabilité dépendent uniquement de l'inclinaison de la burette dans laquelle on fait l'inflammation.

J'ai étudié la loi de cette variation successivement avec du gaz d'éclairage, du grisou provenant d'un soufflard, et de l'hydrogène.

J'ai reconnu :

1° Que, pour un angle donné de la burette avec la verticale, la limite d'inflammabilité de chacun de ces gaz est absolument fixe;

2° Que, lorsque, partant de la position verticale, on s'en éloigne progressivement, la limite d'inflammabilité décroît, d'abord assez lentement jusqu'au moment où la burette fait avec la verticale un angle d'environ 43°, puis plus rapidement jusqu'à un angle de 83° 45', au-delà duquel il m'a été impossible d'aller, l'eau contenue dans la burette venant affleurer à l'ouverture.

J'ai réuni dans les tableaux suivants les résultats que j'ai obtenus avec une burette de 80 centimètres cubes.

ANGLES de la burette avec la verticale	LIMITES d'inflammabilité Millièmes	ABAISSEMENT de la limite d'inflammabilité Millièmes
<i>Gaz d'éclairage.</i>		
0	82	»
26° 30'	81	1
42° 51'	79	3
51° 2'	77	5
59° 13'	75	7
67° 23'	72	10
75° 34'	67	15
83° 45'	65	17
<i>Hydrogène.</i>		
0	95	»
26° 30'	94,5	0,5
42° 51'	93	2
51° 2'	91	4
59° 13'	88	7
67° 23'	83	12
75° 34'	78	17
83° 45'	70	25
<i>Grisou.</i>		
0	64	»
59° 13'	63	1
75° 34'	62	2
83° 45'	61,5	2,5

Comme on le voit, ces trois gaz se comportent de manières très différentes.

Tandis que, jusqu'à l'angle de 43°, la limite d'inflammabilité du gaz d'éclairage s'abaisse de 3 millièmes, c'est-à-dire de 3,66 p. 100 de sa limite normale, en appelant limite normale la limite d'inflammabilité prise dans la position verticale;

Celle de l'hydrogène ne s'abaisse, dans les mêmes conditions, que de 2 millièmes, soit 2,1 p. 100 de sa limite normale;

Et celle du formène de 1/2 millièment seulement, soit 0,83 p. 100 de sa limite normale.

A $83^{\circ} 45'$ de la verticale, la limite du gaz d'éclairage s'est abaissée de 17 millièmes, soit 21 p. 100 ;

Celle de l'hydrogène, de 25 millièmes, soit 26 p. 100 ;

Celle du formène de 2,5 millièmes, soit 3,90 p. 100.

J'ai traduit ces résultats par des courbes, reproduites sur la page ci-contre, dans lesquelles j'ai porté en ordonnées, aux points où l'axe de la burette dans ses diverses positions venait couper la circonférence du plateau dont je me servais pour mesurer les angles, les différentes valeurs de la limite d'inflammabilité exprimées en millièmes.

Ces courbes mettent bien en évidence la manière différente dont se comportent les gaz que j'ai expérimentés.

Les conclusions intéressantes à en tirer, au point de vue de l'application du procédé de dosage du grisou par les limites d'inflammabilité, sont les suivantes :

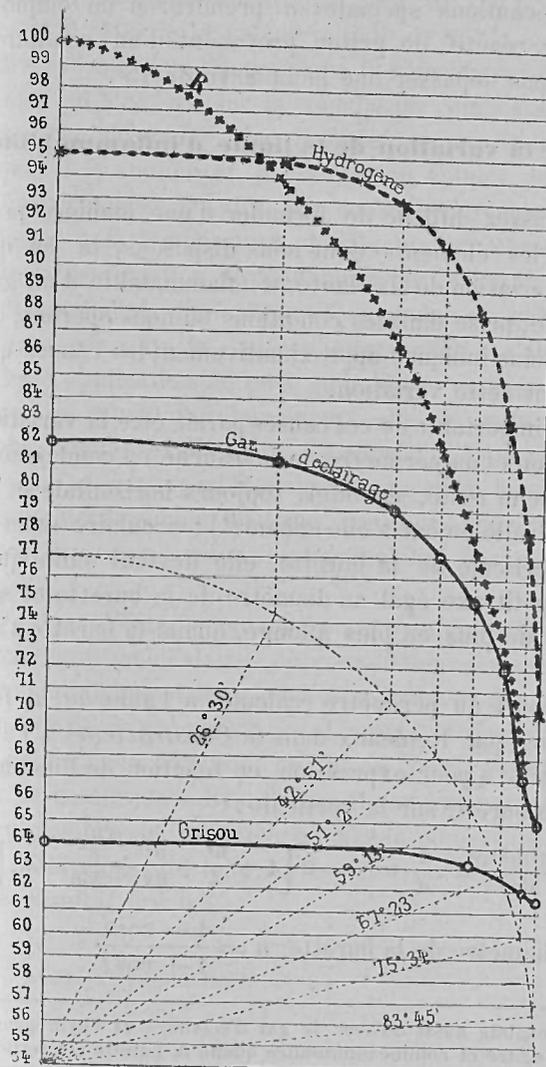
1° La limite d'inflammabilité des gaz expérimentés étant fixe pour une position donnée de la burette, le principe du procédé n'est pas atteint, puisqu'il suppose seulement la fixité de la limite dans les conditions où on opère ;

2° La limite d'inflammabilité du gaz d'éclairage qui est généralement employé comme gaz réactif étant assez variable suivant la position de la burette, il est essentiel de faire les deux opérations de comparaison (avec l'air pur et avec l'air grisouteux) exactement dans les mêmes conditions, c'est-à-dire en tenant la burette soit verticale, soit inclinée d'un angle fixe sur la verticale.

Je me suis assuré directement, ce qui était d'ailleurs évident *a priori*, que l'on obtient bien les mêmes résultats pour l'analyse d'un air grisouteux en opérant soit avec la burette verticale, soit avec la burette inclinée d'un angle quelconque.

La position verticale étant la plus simple à réaliser, il

va de soi que c'est celle-là qu'il convient de choisir de préférence ;



Courbes représentant la variation de la limite d'inflammabilité du grisou, du gaz d'éclairage et de l'hydrogène, et la variation du rapport R.

3° La limite d'inflammabilité du formène étant beaucoup moins variable que celle du gaz d'éclairage, il n'y a pas de précautions spéciales à prendre, si on emploie comme gaz réactif du grisou provenant d'un soufflard, sauf à ne pas dépasser une inclinaison de 45°.

Causes de la variation de la limite d'inflammabilité.

S'il est assez difficile de formuler d'une manière précise, avec les éléments dont nous disposons, la loi qui règle la variation de la limite d'inflammabilité d'un gaz combustible, prise dans les conditions où nous opérons, on peut du moins indiquer approximativement les causes qui déterminent cette variation.

La plus importante de ces causes paraît être la variation de la section et du périmètre de la tranche en combustion. Cette tranche reste, en effet, toujours horizontale et se déplace parallèlement à elle-même (*); circulaire dans la position verticale de la burette, elle devient elliptique, avec son petit axe égal au diamètre de la burette et son grand axe de plus en plus allongé, quand la burette s'incline.

Le rapport du périmètre (calculé à l'aide de la formule donnée par Reuleaux dans *le Constructeur*) à l'aire de la tranche a pour expression, en fonction de l'inclinaison i de la burette sur la verticale :

$$R = \frac{\text{périmètre}}{\text{aire}} = \frac{2}{d} (1 + \cos i) \left[1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64} + \frac{n^6}{256} + \dots \right]$$

$$\text{où } d = \text{diamètre de la burette, } n = \frac{1 - \cos i}{1 + \cos i}.$$

(*) On constate aussi qu'avec le gaz d'éclairage et l'hydrogène la flamme est agitée et comme moutonnée quand la burette est verticale, et qu'elle ne devient tranquille et plane que lorsque la burette arrive vers 46°; avec le formène, la flamme est plane, même dans la position verticale.

Le rapport R va en diminuant à mesure que i augmente; la courbe tracée en ****, page 99, représente sa variation. La diminution atteint: pour 43°, 13 p. 100; pour 83°, 34 p. 100 de la valeur initiale de R .

Il en résulte que l'importance du refroidissement par les parois, qui s'exerce sur la tranche en combustion et sur la tranche échauffée sous-jacente, va en diminuant par rapport à la section et, par suite, au volume de chacune de ces tranches; il suffit, par conséquent, pour porter le mélange à la température d'inflammation et entretenir juste la propagation de la flamme, critérium de la limite d'inflammabilité, d'une quantité moindre de gaz combustible, et par suite la limite d'inflammabilité s'abaisse.

Cette explication ne peut qu'indiquer dans ses grandes lignes la cause du phénomène; elle ne suffit pas à en rendre compte exactement. La courbe **** qui représente la variation du rapport R s'abaisse, en effet, beaucoup plus brusquement, surtout au début, que celles qui représentent la variation des limites d'inflammabilité des gaz que j'ai essayés.

D'autres éléments entrent encore en jeu, notamment les chaleurs moléculaires de combustion, les coefficients de conductibilité et les chaleurs spécifiques des gaz. Pour fixer le rôle de chacun de ces éléments, il faudrait mettre le problème en équation, ce qui ne serait possible qu'au prix de nombreuses hypothèses et par l'introduction d'un grand nombre de coefficients, pour la plupart inconnus ou mal déterminés, de telle sorte qu'on ne pourrait arriver à un résultat précis.

Lyon, 1^{er} juillet 1899.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA HONGRIE EN 1897.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Houille.....	1.072.549	14.382.775	13,41
Lignite.....	3.863.311	29.769.994	7,70
Briquettes.....	27.022	534.021	19,76
Coke.....	7.219	169.373	23,46
Roches asphaltiques.....	19.001	4.693	0,25
Bitume.....	3.057	395.538	129,38
Huile minérale.....	2.299	139.565	60,70
Minerais de fer exportés.....	471.420	4.319.286	9,16
— de manganèse exportés.....	3.976	24.596	6,18
Fonte d'affinage.....	402.503	35.761.065	88,84
Fonte de moulage.....	17.398	3.690.541	212,42
Plomb.....	2.527	910.109	360,45
Litharge.....	339	155.837	459,69
Cuivre.....	213	280.962	1.319,07
Minéral d'antimoine.....	209	59.366	284,05
Antimoine (régule et métal).....	783	575.433	734,58
Minerais de nickel et de cobalt.....	32	7.739	241,83
Alliages de nickel et de cobalt.....	8	5.836	729,50
Etain.....	1,78	2.642	148,45
Mercure.....	0,65	2.282	3.511,20
Bismuth.....	4,65	55.162	11.862,90
Pyrite de fer.....	42.697	405.315	9,49
Soufre.....	112	20.177	180,15
Acide sulfurique.....	3.297	160.063	48,54
Sulfure de carbone.....	432	43.867	101,54
Or.....	kilogr.	12.424.664	4.051,00
Argent.....	3.067	3.795.819	141,65
	26.790		

La valeur totale, y compris quelques autres produits non inscrits au tableau, s'est élevée à 108.137.316 francs.

Le nombre des ouvriers employés à l'exploitation des mines a été, en 1897, de :

Hommes.....	57.720
Femmes.....	4.555
Enfants.....	6.040

Total..... 65.315

Les accidents survenus en 1897 ont donné lieu à :

78 tués.....	soit 13,9 pour 10.000 ouvriers
172 blessés grièvement.....	— 30,7

(Extrait de l'Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

LES

MOUVEMENTS DES EAUX SOUTERRAINES

DANS LA RÉGION DE TEPLITZ ET DE BRÜX, EN BOHÈME

Par M. L. DE LAUNAY,

Ingénieur des Mines, Professeur à l'École supérieure des Mines.

Une série de catastrophes, survenues depuis vingt ans dans les mines de lignite des environs de Teplitz et de Brüx en Bohême, ont permis, tant par l'observation des accidents eux-mêmes que par les mesures prises pour y remédier, d'étudier les mouvements des eaux souterraines, dans des conditions d'amplitude et de précision tout à fait inusitées jusqu'alors. A Osseg, près de Teplitz, les travaux de mines ont été cinq fois (en 1879, 1887, 1892 et 1897) envahis par les eaux thermales des sources de Teplitz, situées à 7 kilomètres de distance ; à Brüx, on s'est trouvé en présence de sables aquifères (*schwimmsand*), comparables aux niveaux d'eau de nos morts-terrains du Nord, qui ont amené également l'inondation des chantiers. Dans les deux cas, des travaux considérables ont été entrepris pour empêcher le retour de malheurs semblables. L'ensemble des phénomènes a donné lieu à toute une bibliographie, qu'est venu récemment compléter, en la résumant, un mémoire étendu du Dr Franz Suess, le fils du géologue bien connu (*). Un exposé sommaire de la question et des conclusions qu'on

(* Studien über unterirdische Wasserbewegung (Jahrb der K. K. geol. Reichsanstalt, 1898, t. XLVIII, fasc. 3).

en peut tirer par le rapprochement avec d'autres observations d'hydraulique thermique nous a paru présenter un véritable intérêt général (*).

I. — Les relations d'hydrologie souterraine entre les sources thermales de Teplitz et les travaux d'exploitation d'Osseg.

Dans la région Nord-Ouest de la Bohême, au pied Sud de l'Erzgebirge et le long d'une dépression tertiaire, traversée par des roches éruptives récentes, on sait qu'il existe toute une série de sources thermales, dont les plus orientales sont celles de Teplitz et de Schönau (fig. 1). Quelques indications préliminaires sur le régime de ces dernières sources, tel précisément qu'il ressort des faits que nous allons étudier, sont nécessaires, pour comprendre le récit de la remarquable lutte engagée, sur ce point, depuis vingt ans, entre l'art de l'ingénieur et les forces naturelles.

En deux mots, on peut dire que les eaux thermales de Teplitz, comme celles de Schönau au voisinage, arrivent de la profondeur par un système filonien de larges fissures recoupant le porphyre quartzifère (microgranite)(**) et s'épanchent en partie, sous forme de nappes artésiennes, avant de parvenir au jour, dans les niveaux poreux qu'elles rencontrent au-dessous du terrain tertiaire (lui-même im-

(*) Nous avons déjà donné quelques indications sur ce sujet dans notre *Traité des Sources Thermominérales* (p. 301 et 337), d'après des renseignements recueillis sur place par M. Brisse en 1889.

(**) Ces porphyres quartzifères forment une longue trainée Nord-Sud de 10 à 15 kilomètres de large et 50 de long entre Teplitz et Schmiedeberg. Leur allure est intéressante à comparer avec celle de la trainée semblable qui existe au Sud d'Evau dans le Plateau Central. On s'est demandé si une partie de ces porphyres ne formeraient pas une coulée au-dessus du gneiss et si les eaux thermales ne se concentreraient pas en nappe, au contact; il est plus vraisemblable que ces eaux montent de la profondeur à travers le porphyre même.

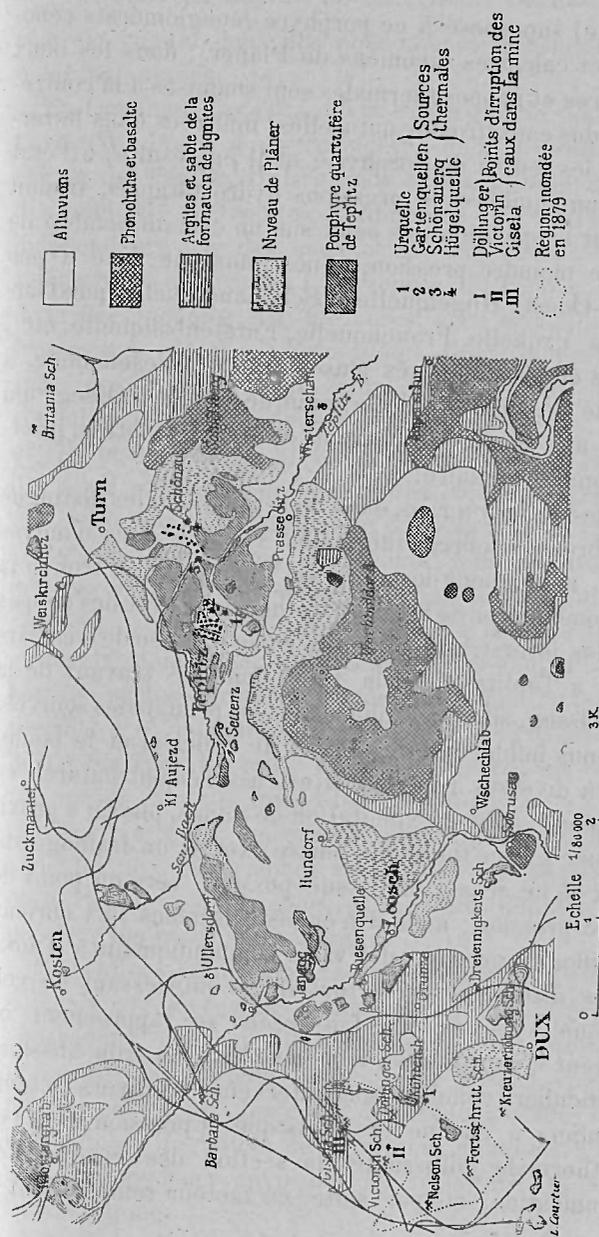


FIG. 1. — Carte géologique de la région de Teplitz et d'Osseg, d'après le Dr Franz E. Suess.

perméable) superposé à ce porphyre (conglomérats céno-maniens et calcaires sénoniens de Pläner); dans les deux cas, fissures et nappes thermales sont soumises à la contre-pression des eaux froides naturelles, infiltrées dans le tertiaire ou les fentes du porphyre, et il en résulte, à l'état normal, un équilibre de pressions hydrostatiques, traduit en fait par l'apparition des eaux sur un certain nombre de points de moindre pression, situés dans une zone à peu près Est-Ouest : Hügelquelle et Schönauerquelle, puis Gartenquelle, Urquelle, Frauenquelle, Fürstenbadquelle, etc., à Teplitz et, 4 kilomètres plus à l'ouest, Riesenquelle, à proximité des travaux de la mine de lignite d'Osseg, qui exploite une couche de charbon de 10 à 40 mètres, intercalée dans le tertiaire.

Jusque-là, il n'y a rien, dans ce régime, qui les distingue de nombreuses sources thermales, connues dans d'autres régions, notamment de celles de Vichy, où l'on trouve la même combinaison de filons hydrothermaux avec des nappes thermales interstratifiées; mais ce qu'il y a eu de très particulier à Teplitz, c'est la façon dont les travaux de la mine d'Osseg, situés à 7 kilomètres des principales sources, sont venus influencer sur le régime de celles-ci et le bouleverser à diverses reprises. Il est assurément naturel, en pure théorie, qu'une exploitation de mines, placée à proximité d'une source thermale, puisse exercer un drainage sur celle-ci en lui créant une issue possible vers un point de moindre pression; mais il n'en est pas moins fort curieux de vérifier ce principe des vases communicants à d'aussi grandes distances, et surtout il est intéressant de voir dans quelle mesure les faits réels se rapprochent ou s'écartent d'une théorie trop simpliste ou trop absolue: en particulier, comment sont intervenus ici divers facteurs particuliers à chaque cas, tels que la pression propre de l'eau thermale jaillissante, la section des conduites de communication, et, par suite, ce facteur temps, dont le

rôle est capital dans des phénomènes qui ne sont nullement instantanés.

En ramenant les faits à leur expression la plus élémentaire, W. Pösch a pu considérer qu'il y avait, dans la région de Teplitz, trois grands vases, communiquant par des conduites restreintes et alimentés chacun d'une façon indépendante par des eaux ayant une charge hydrostatique propre différente: I, les sources de Teplitz; II, celles de la Riesenquelle; III, les mines, avec leur afflux d'eaux froides superficielles. Nous allons voir, tour à tour, par suite des accidents qui seront racontés plus loin, des communications imprévues s'établir entre les vases II et III, puis entre III et I, et, en même temps, le niveau des eaux s'élever dans la mine de 70 mètres, entraînant une variation correspondante dans la charge hydrostatique sur les terrains avoisinants; puis les travaux de défense exercer, soit une dépression sur ces puits en les épuisant, soit une dépression sur les sources thermales ou les mettant à sec pour refaire leur captage; enfin le barrage réalisé fermer la communication entre les sources thermales et la mine. On s'est donc trouvé faire varier de façons très diverses, et en très grand, les conditions réciproques de ces trois vases communicants; il en est résulté, par suite, un enseignement précieux, qui vient s'ajouter aux expériences classiques de François à Ussat ou à Bagnères-de-Luchon, et ne fait, d'ailleurs, qu'en préciser les résultats généraux.

Nous allons maintenant raconter l'histoire des irruptions d'eaux successives dans la mine de lignite d'Osseg; mais, auparavant, nous appellerons encore l'attention sur la nécessité d'avoir bien présentes à l'esprit, pour comprendre cet exposé, les cotes de niveau absolues d'un certain nombre de points de la région, auxquels nous nous rapporterons pour envisager les variations de la surface hydrostatique.

A Teplitz, la source principale est la Urquelle, dont le niveau était, avant la catastrophe, de 203^m,15, avec un débit de 0^m³,52 par minute, à 49°; la Riesenquelle avait un débit de 1^m³,8 à 2^m³,4, par minute, à une température variable entre 15° et 34°. Les irrptions d'eau dans les mines se sont faites : en 1879, à la cote 156; en 1887 et 1892, à la cote 145; en 1897, à la cote 159.

Les sources de Teplitz sortent directement de fissures du porphyre; à la Riesenquelle, l'eau imprègne, au-dessus du porphyre, le conglomérat cénomani, où elle a déposé de la silice et de la barytine(*) et s'élève par des diaclases élargies du calcaire de Pläner. A Schönau, il y a une nappe d'eau thermale dans les conglomérats de la base des terrains sédimentaires.

La première catastrophe, qui jeta le trouble dans les sources de Teplitz, connues et utilisées depuis l'antiquité, eut lieu le 10 février 1879; elle fut produite par une brusque irruption d'eau dans les travaux du Döllingerschacht.

Ce jour-là, vers une heure de l'après-midi, une galerie de mines, située à la cote 156, fut brusquement inondée par un jet d'eau, gros comme le bras, dont la vitesse, d'après les calculs, devait être de 10 à 15 mètres par seconde. En moins de dix minutes, trois niveaux d'exploitation, sur près de 60 mètres de haut, furent envahis par 20.000 mètres cubes d'eau, et vingt et un ouvriers périrent. L'eau gagna successivement les mines voisines. Au début, elle était froide et blanche comme du lait; il est très probable qu'on avait crevé quelque grande poche d'eau superficielle, accumulée dans les niveaux crétacés perméables. Mais, peu à peu, sa température s'éleva et finit par atteindre 20° à 22° : c'est-à-dire que, les eaux

(*) Ces dépôts de barytine récents, assez fréquents dans la région de Teplitz, peuvent être rapprochés de ceux de la Malou.

froides n'opposant plus leur charge à celle de l'eau thermale, celle-ci était attirée vers les travaux de mines depuis la Riesenquelle et même depuis Teplitz. En même temps, l'eau s'élevait dans le puits de mine et recréait ainsi, peu à peu, la contre-charge nécessaire pour ramener l'eau thermale dans ses fissures primitives. On en eut la preuve en voyant, à partir du 13 février, la température des eaux d'inondation s'abaisser peu à peu; il était évident que l'eau chaude cessait d'y affluer et qu'un régime d'équilibre nouveau tendait à s'établir. En définitive, le niveau de l'eau atteignit lentement son niveau maximum, dans le puits Döllinger, à la cote 202,36 : ce qui supposait, au point d'irruption à 156 mètres, une charge primitive de 46 mètres.

Le contre-coup de ce mouvement des eaux se fit sentir à Teplitz avec un retard sensible, attribuable à la longueur des conduites de communications souterraines et à l'étendue des réservoirs profonds, qui durent se vider avant de donner accès à l'eau des sources thermales, attirée vers cette nouvelle issue. C'est seulement le matin du 13 février, trois jours après l'accident, que la Urquelle commença à baisser; à six heures du soir, elle tarit à la surface, puis disparut peu à peu en profondeur. En même temps, sa température fléchit, la moindre charge de la source thermale permettant un afflux des eaux froides superficielles. Les autres sources suivirent, et même un très grand nombre de puits d'eau douce de Teplitz (qui reçoivent, d'ailleurs, généralement, en temps normal, un certain afflux d'eau chaude) furent également mis à sec par suite de la modification profonde survenue dans le régime hydrostatique de la région.

A Schönau, plus éloigné, les sources ne tarirent pas, mais baissèrent sensiblement.

Le malheur était double, puisque l'on perdait ainsi, à la fois, les mines et les eaux thermales. En présence d'une

situation aussi critique, on appela immédiatement au secours les hommes les plus compétents, MM. H. Wolf, G.-C. Laube, von Hauer et Ed. Suess (*), pour aviser au moyen de la conjurer. Ceux-ci se rendirent bientôt compte qu'un équilibre de vases communicants avait dû s'établir entre les sources thermale et l'eau montée dans les puits de mine : ce qui, par l'observation du niveau atteint dans la mine en ce moment (à peu près 186), indiquait immédiatement à quelle profondeur maxima (une vingtaine de mètres) il fallait rechercher les premières. Dès le 22 février, on se mit à approfondir le captage sur la fissure thermale et, le 3 mars, on retrouva la Urquelle, avec sa température primitive, à environ 6^m,50 au-dessus du niveau de l'eau dans la mine Döllinger (192^m,70 au-dessus de la mer). En même temps, comme la saison thermale arrivait et qu'il s'agissait, avant tout, de ne pas l'aborder avec des sources à sec, on défendit aux mines de faire aucun épuisement pendant l'été; un équilibre approximatif s'établit ainsi, la perte d'eau chaude vers la mine devenant de plus en plus faible à mesure que la charge d'eau froide montait dans celle-ci, et l'élévation de ce niveau dans la mine amenant, par contre-coup, un certain relèvement corrélatif dans la source.

L'automne venu, il fallut pourtant songer à sortir de cet état provisoire et sauver les mines inondées. On se décida alors à épuiser la mine pour aller aveugler la voie d'eau

(*) Le professeur Ed. Suess nous écrit à ce propos : « J'ai été envoyé à Teplitz comme commissaire du Gouvernement lors de la première catastrophe. Imaginez-vous une ville florissante, riche de ses thermes, qui les perd tout à coup par des travaux faits à plus de 7 kilomètres de distance, le désespoir des habitants et surtout des hôteliers, le *run* sur la caisse d'épargne, la révocation précipitée des hypothèques sur les maisons, l'arrivée de grandes sommes pour sauver le crédit local, le deuil dans les rues où tout perd la raison, le vieux valet de mon hôtel entrant chez moi de grand matin et s'agenouillant devant moi pour me conjurer de sauver sa ville natale, etc., etc. Ce sont des souvenirs inoubliables. »

qui s'était produite et, en même temps, à profiter de l'abaissement correspondant de la source thermale pour aller assurer le captage de celle-ci à 60 mètres de profondeur. On devait donc créer ainsi, à la fois, une résistance à l'afflux de l'eau du côté de la mine et un dégagement, une colonne de moindre pression, du côté de la source. Ce travail difficile, qu'on fut forcé d'interrompre fréquemment pour diverses circonstances, dura plus de deux ans, la quantité d'eau à enlever par les pompes ayant été tout naturellement en croissant très vite, à mesure qu'on s'approfondissait.

* Les travaux de captage, puits et travers-bancs, exécutés alors sur la Urquelle, ont permis de bien reconnaître l'allure de la fissure thermale, qui forme une surface gauche, inclinée dans son ensemble du Nord au Sud (*). En captant les sources voisines, la Frauenquelle et l'Augenquelle, on a constaté également qu'elles sont en connexion directe avec la Urquelle, le niveau restant identique dans les trois puits : ce qui prouve leur communauté d'origine, bien que les deux dernières soient sensiblement refroidies par un mélange d'eaux superficielles. Enfin, on a pu voir que l'eau ascendante avait, au-dessus du porphyre, élargi des diaclases du calcaire, en même temps qu'elle laissait des dépôts de silice et de barytine.

A Schönau, des travaux analogues montrèrent que les eaux s'interstratifient dans un banc de conglomérat entre le porphyre et le calcaire superposés, où elles se mélangent avec des eaux douces.

Dans la mine, quand on arriva enfin à la brèche, par laquelle les eaux avaient fait irruption, on s'aperçut qu'elle était en plein charbon et ne correspondait pas, comme on aurait pu le croire *a priori*, à une grande fracture

(*) Voir les mémoires de Stur, 1888; de Höfer, 1893 (p. 15); et nos *Sources Thermominérales* (fig. 108, p. 539).

prolongée des terrains, mais à un simple élargissement local dans un système de fissures minces et ailleurs obstruées.

Cette brèche ayant été soigneusement bouchée, on eut, dans les mines et sur les sources, quelques années de répit; mais, en 1887, une nouvelle catastrophe se produisit dans le quartier Victorine, à l'ouest de la fosse Döllinger, avec des péripéties un peu différentes, mais avec un semblable effet.

Dans ce quartier, rien ne pouvait faire prévoir un semblable événement, contre lequel on restait constamment en garde depuis la première catastrophe. En 1881, pour exploiter la partie Ouest de la couche, qui a une pente assez sensible de l'Est à l'Ouest, on avait approfondi le puits et, après avoir traversé les couches calcaires de Pläner, on était venu buter à la cote 132 sur le porphyre, qu'on avait trouvé parfaitement sec en ce point; un travers-bancs, partant de la partie supérieure, avait été percé jusqu'à la couche de lignite, en ayant soin de se prémunir contre une venue d'eau par des sondages de 4 mètres percés en tous sens, et, là non plus, nulle part, on n'avait constaté la moindre infiltration. C'est du côté opposé par rapport au puits, dans l'Est, qu'un chantier, à la cote 145 (*), déjà en exploitation depuis quarante jours, sans qu'on eût rien observé d'anormal, donna lieu subitement, le matin du 28 novembre, à une trombe d'eau, accompagnée d'abord d'un bruit de glissement, puis comme d'un sifflement dans des fissures étroites. Les niveaux inférieurs de la mine furent rapidement inondés; mais les ouvriers purent, cette fois, se sauver, et même la brèche, située à un niveau déjà élevé dans la mine, resta quelque temps accessible; on essaya, sans aucun succès, de la boucher avec de l'argile et des sacs

(*) On a vu que le point d'irruption Döllinger était à la cote 156, c'est-à-dire 11 mètres plus haut.

de ferraille; puis il fallut renoncer à la lutte et laisser les eaux envahir les travaux.

Cette venue d'eau avait un débit de 50 à 60 mètres cubes par minute, c'est-à-dire 10 à 15 fois plus faible que dans l'accident de 1879, avec une température de 21°, et apportait des blocs de porphyre pesant jusqu'à 2 kilogrammes. Tout en coulant beaucoup plus lentement qu'en 1879, par une ouverture plus étroite, elle amena finalement, dans les travaux, une quantité d'eau comparable.

La brèche, située à la cote 145, était 6 mètres plus bas que le fond du puits de captage de la Urquelle à Teplitz (151), 11 mètres plus bas que le point d'irruption de l'eau en 1879 dans le puits Döllinger, situé à 680 mètres de distance.

À la suite de ce nouvel appel d'eau vers la mine, l'eau thermale descendit dans l'Urquelle de Teplitz: le 5 décembre, à la cote 199; le 16, à la cote 193; le 2 février, à la cote 182.

Pour remédier à ce désastre, les difficultés étaient grandes; car l'expérience de 1879 avait montré le temps considérable nécessaire pour aller directement aveugler la voie d'eau; en outre, la saison thermale approchait. On eut alors l'idée assez audacieuse de bétonner le chantier critique à distance, au moyen de quatre trous de sonde, avant de commencer l'épuisement, et de faire alors seulement descendre les eaux jusqu'au niveau où s'était produite l'irruption, afin d'y établir le barrage définitif.

Le 16 novembre, on coula 1.094 mètres cubes de béton par les sondages; un mois après, on se mit à épuiser, et on constata que le résultat désiré avait été obtenu: à peine un mince filet d'eau chaude coulait encore. On compléta les défenses par des barrages et, dès le mois de mars, l'exploitation put reprendre dans la mine.

Cependant, afin d'éviter le retour de pareils accidents, on résolut d'étudier en grand détail les conditions de

la circulation hydrothermale souterraine, pour pouvoir en déterminer d'avance les points critiques; il fut prescrit, notamment, aux exploitants de lignite de faire, de 50 mètres en 50 mètres, des sondages au mur de la couche et d'en tenir un registre, où seraient inscrites, avec leur température et leur débit, toutes les venues d'eaux rencontrées; un puits spécial, plus profond que tous les autres, dut servir de centre aux mesures de défense. Enfin les propriétaires des sources se décidèrent à forer, à Teplitz, un sondage de 500 mètres, dans l'espoir de trouver en profondeur le filon originel des eaux et d'empêcher à tout jamais, par son captage, la communication de s'établir entre lui et le terrain sédimentaire. Disons de suite que ce sondage n'obtint pas le résultat que l'on en attendait. Poursuivi jusqu'à 352 mètres de profondeur dans le porphyre quartzifère, malgré les difficultés résultant de la dureté de la roche et de la rencontre de diaclases kaolinisées, obliques au trou de sonde, il traversa ensuite un dyke de phonolithe de 16 mètres, puis rentra encore, pendant 10 mètres, dans le porphyre et fut définitivement arrêté à 386 mètres à la suite d'un accident de sondage (*). Pendant ce long travail, on n'avait trouvé nettement de venue d'eau chaude qu'à 10 mètres de profondeur; puis la température avait varié très irrégulièrement avec la profondeur: 48°,2 entre 55 et 73 mètres; 47°,5 à 355 mètres; 35° à 386 mètres, sans doute par suite de la rencontre à divers niveaux de veines chaudes inaperçues. Le niveau de l'eau dans le sondage s'établit, d'ailleurs, constamment en équilibre avec celui du puits de l'Urquelle: ce qui prouvait la communication par des fissures du porphyre. Ces diverses observations ont permis de conclure que l'eau thermique n'arrive pas par un réseau très complexe de diaclases ou même par

(*) Ce sondage partait de la cote 211 et devait primitivement être poussé jusqu'à 500 mètres de profondeur, soit 289 mètres au-dessous de la mer.

une nappe continue, sur laquelle un sondage serait toujours à peu près sûr de tomber plus ou moins vite, mais par quelques très larges fractures, que le hasard seul aurait pu faire recouper, et que, si elle s'épanche latéralement dans les fissures de la roche, c'est sous forme de veines secondaires, aussitôt refroidies par les eaux superficielles. Cette existence d'un large chenal filonien, ouvert sur le passage des eaux thermales abondantes, comme celles de Teplitz, est, notons-le en passant, tout à fait d'accord avec ce que nous ont fait supposer nos propres observations sur des sources analogues, telles que Bourbon-l'Archambault, Evaux, etc.

Postérieurement à ces travaux, une troisième irruption d'eau se produisit au même point qu'en 1887, dans le même puits Victorine, le 25 mai 1892:

Ce jour-là, les venues d'eau augmentèrent progressivement jusqu'à 70 et 80 mètres cubes par minute, de manière que les pompes ne purent en être maîtresses. Le 14 juillet, l'eau atteignit dans la mine le niveau de 145 mètres, où s'était produite l'irruption de 1887, tandis qu'à la source de Teplitz elle descendait à 186. En août, elle monta à 162 mètres, puis à 170^m,68, tandis que les sources baissaient à 178^m,65. On supposa que le bétonnage, fait en 1887, s'était trouvé partiellement en porte-à-faux sur un vide et avait fini par s'y affaisser localement en se brisant.

Cette fois, les conditions de la catastrophe parurent si obscures qu'on renouça presque à l'espoir de sauver l'une des deux parties intéressées (mine et source thermique) sans sacrifier l'autre (*). Les propriétaires des sources s'opposaient à ce qu'on épuisât la mine jusqu'au niveau d'irruption, craignant que leur source ne descendit en même temps par un effet de drainage et qu'il ne fallût,

(*) Il était impossible d'aller atteindre, sans un travail spécial, le point d'irruption, puisque le barrage de 1887 avait eu pour effet de le bloquer.

pour la suivre, approfondir les puits de captage le long des fissures thermales : ce dont l'expérience précédente avait montré la difficulté. En outre, on avait toujours la préoccupation de ne pas manquer d'eau pendant la saison thermale : ce qui eût porté à la réputation de Teplitz un coup fatal. D'autre part, on ne pouvait, comme la fois précédente, songer à bétonner à distance et sous l'eau une fissure, dont on ne connaissait pas cette fois l'emplacement exact, et où il était impossible, vu la pression, d'aller travailler à l'air comprimé. Il se passa donc deux ans de pourparlers inutiles, pendant lesquels on laissa les mines inondées jusqu'au niveau de 165 mètres, exploitant seulement la partie supérieure des couches de lignite.

Enfin, en février 1895, un changement de propriétaire des mines permit d'établir un nouveau projet, fondé sur les observations suivantes :

On avait remarqué qu'à la fin de 1893 l'écoulement de l'eau thermale vers les mines semblait avoir cessé. En effet, on avait pu maintenir le niveau de l'eau dans la mine 20 mètres plus bas que celui de la source (162 contre 182), et l'épuisement nécessaire (3 à 4 mètres cubes par minute) était néanmoins à peu près celui qu'on connaissait avant la catastrophe, c'est-à-dire ne comportait pas un supplément notable d'eau thermale à extraire. En même temps que cette communication avait paru s'interrompre, de grands effondrements s'étaient produits à la surface, et l'on pouvait supposer logiquement que les fissures, par lesquelles s'était faite l'irruption d'eau thermale, avaient dû se trouver obstruées naturellement, et obstruées avec assez de force pour résister à une surcharge d'eau de 20 mètres.

Il n'en résultait pourtant pas qu'on pût épuiser sans précaution la mine jusqu'au niveau de l'irruption Victorine (145 mètres), c'est-à-dire porter cette surcharge à 37 mètres : on aurait, en effet, risqué ainsi de détruire

l'équilibre des pressions et peut-être de rouvrir ces fissures. On se résolut alors à employer un artifice hydrostatique ingénieux, et qui réussit complètement ; car, en moins d'un an (de février 1895 au 30 janvier 1896), on arriva, par ce moyen, à barrer le nouveau point critique et, ce dont on avait un moment désespéré, à sauver une fois de plus la mine.

Ce système, proposé par M. G. Bihl, consista d'abord à établir, en une station intermédiaire entre le point critique et les sources thermales, une sorte de grand manomètre naturel, un puits hydrostatique absolument étanche et en communication étanche avec le point d'irruption Döllinger : puits muni à sa base de soupapes régulatrices, manœuvrables à volonté et dans lequel le niveau de l'eau permettrait, à chaque instant, d'observer directement la charge profonde et ses variations, enregistrées sur un graphique ; en même temps, on serait libre ainsi d'agir sur elle presque à volonté : conception, on le voit, analogue à celle des puits de pression hydrostatique réciproque de François.

Ce puits fut mené jusqu'au niveau (156 mètres) de ce point d'irruption Döllinger. La soupape du barrage de ce point fut alors ouverte, et on laissa les eaux s'échapper librement dans les travaux, où on les maintint seulement, au moyen de pompes, à 1 mètre au-dessous de ce point d'irruption, c'est-à-dire qu'en intercalant cette sorte de récipient intermédiaire on supprima la surcharge de 20 mètres des sources thermales, plus 1 mètre de dépression, soit 21 mètres de diminution de pression au total.

Les conditions pour les sources thermales se retrouvèrent à peu près les mêmes que pendant les travaux de 1882, mais avec cette différence qu'on eut à maintenir l'épuisement beaucoup moins longtemps : ce qui évita l'action directe sur ces sources. Le niveau d'eau général dans la région du puits Döllinger ayant été fixé ainsi à

155 mètres, on put alors épuiser le puits Victorine jusqu'à 145 mètres sans risquer de rouvrir les fissures obstructées, puisqu'on ne les soumettait au maximum qu'à une surcharge de 12 mètres, au lieu de 20 mètres qu'elles avaient à supporter précédemment. L'épuisement mené à bien, on établit un barrage définitif de ce côté ; en même temps, on referma la soupape du puits Döllinger, et l'on put ensuite épuiser les niveaux inférieurs de la mine, où l'on recommença l'exploitation.

On n'était cependant pas encore au bout des difficultés, et une dernière catastrophe s'est produite, le 24 avril 1897 ; mais les mesures de prévoyance prises antérieurement ont permis d'en triompher sans grand'peine.

Cette irruption d'eau s'est faite à partir des couches de Pläner en un point situé plus au Nord que les précédents, vers la cote 159. On avait déjà, depuis plusieurs mois, constaté dans une galerie de recherche quelques venues d'eau, au moyen des sondages préventifs mentionnés plus haut ; mais on en était resté facilement maître ; le 24 avril, l'eau commença soudain à couler en abondance et, en quelques heures, son débit atteignit 4 mètres cubes par minute, à près de 18°. Tandis que les niveaux inférieurs de la mine s'inondaient, on parvint à faire dans la galerie un barrage en argile de 0^m,50 de hauteur, auquel on substitua ensuite une digue en briques et ciment. Il fallut ensuite faire un second barrage plus à l'Est. En même temps, pour gagner du temps, on établit, dans toutes les galeries allant au puits d'épuisement, six barrages en argile de 1 mètre de haut, qu'on finit par monter jusqu'au toit des galeries. Cela donna le répit d'établir des pompes plus fortes et d'abaisser peu à peu le niveau de l'eau.

Un sondage de 0^m,20, élargi ensuite à 0^m,60, avait été commencé au-dessus du point critique. Quand il l'eut atteint, on jeta par là des boules d'argile ; un second

sondage semblable, foré à 20 mètres plus au Nord, donna lieu à un bourrage du même genre.

Le 3 mai, on put commencer le barrage définitif ; les venues d'eau avaient baissé, et, le 15 juin, tout était réparé, sans que le niveau eût eu le temps de fléchir sensiblement dans les sources de Teplitz, avec lesquelles la relation évidente du nouveau phénomène était cependant démontrée par les stations intermédiaires (Riesenquelle, puits hydrostatique de 1892).

Ces deux orifices intermédiaires permirent alors, comme ils pourront le faire dans tout cas semblable désormais, d'étudier les variations de la charge hydrostatique sur le trajet de Teplitz aux mines, et, par le moyen des vannes du puits, on a maintenant la possibilité, quand un point se trouvera menacé, de le soulager en diminuant sensiblement sa charge.

On voit, en résumé, quelles conclusions on peut tirer de cet historique, en ce qui concerne le régime souterrain des eaux thermales.

Parmi les diverses théories qui avaient été proposées pour expliquer le mode de venue des eaux de Teplitz, la plus vraisemblable se trouve être, aujourd'hui, celle de Posepny, d'après laquelle, ainsi que nous l'avons dit au commencement, ces eaux arriveraient de la profondeur rapidement par quelques larges fissures du porphyre, et s'épancheraient, au-dessus de ce porphyre, dans la couche de conglomérat qui le recouvre immédiatement, ainsi que dans les couches de Pläner.

Cette hypothèse, que nous avons seulement énoncée jusqu'ici, se trouve vérifiée par toute une série de faits, que nous pouvons rappeler succinctement. Tout d'abord, la venue profonde par les failles du porphyre résulte du captage même de l'Urquelle et du sondage de 1887. En ce qui concerne l'épanchement en nappes, on sait, depuis longtemps, que l'Augenquelle et les sources de Schönau

sortent de veines siliceuses dans le Pläner, sans qu'il y ait directement, au dessous, de fissure thermique dans le porphyre ; de même, des dépôts hydrothermaux de silice et de barytine, dans les conglomérats des environs de Teplitz, montrent aussi qu'à une époque où l'érosion était moins avancée, des eaux chaudes ont circulé latéralement dans ces conglomérats. Enfin, un sondage fait à Witterschen, à l'est de Teplitz, a rencontré une véritable nappe thermique à 24°, au contact du porphyre et des couches de Pläner : nappe soumise à une forte pression hydrostatique, qui en fait monter l'eau à un niveau comparable à celui de l'Urquelle, etc., etc.

Quand on envisage les faits de cette façon, on s'explique assez bien le mécanisme des inondations successives que nous venons de raconter. Ce n'est pas, comme on l'a parfois supposé, les fissures thermales proprement dites que les travaux de mines ont rencontrées, mais des nappes d'épanchement latérales, et, plus précisément, de grandes poches d'eau dans ces nappes d'épanchement. Posepny avait déjà remarqué, dans l'irruption du puits Döllinger, en 1881, que l'eau apportait des galets de porphyre, visiblement pris au conglomérat ; dans l'accident du puits Gisela en 1897, l'eau est arrivée par des fissures silicifiées du calcaire de Pläner ; dans l'accident du puits Victorine, on venait de percer absolument à sec 20 mètres de porphyre et une assez forte épaisseur de calcaire de Pläner, quand l'eau fit irruption, apportant des fragments porphyriques de près de 2 kilogrammes. Ce dernier accident permet de voir qu'il n'y a pas imprégnation d'eau continue dans les couches de Pläner, mais poches et courants d'eau locaux, séparés par des parties sèches. Une telle conclusion, fort importante, est absolument d'accord avec les résultats obtenus par les dernières recherches d'hydrologie spéléologique : la notion de nappe d'eau souterraine est, dans la plupart des ter-

raîns, d'une approximation tout à fait insuffisante, et les grandes circulations d'eau se font beaucoup plutôt par des fractures, des conduites ou des sortes de lits de rivière, que par une nappe proprement dite.

Ces réservoirs d'eau, accumulés dans les couches perméables de Pläner et du conglomérat, sont évidemment ceux qui ont causé les premiers désastres, comparables aux catastrophes dues, en ces dernières années, à certaines poches d'eau infraglaciales. L'expérience acquise depuis semblerait montrer que la plupart de ces poches se sont alors vidées complètement : ce qui expliquerait pourquoi les irrptions d'eau successives ont une intensité de moins en moins grande, ces poches n'ayant pas eu le temps, sans doute, de se remplir complètement dans l'intervalle.

Dans l'accident du puits Döllinger, il est certain qu'on a commencé par crever un de ces réservoirs, qui s'est vidé subitement ; puis, un courant de drainage s'étant établi vers la mine, il s'est produit un appel sur l'eau thermique, qui a baissé dans les captages des sources. Quand les mines ont été inondées, l'eau s'y est remise, au contraire, en charge et a fait relever sur les sources le niveau hydrothermal. Wolf a fait remarquer, à ce propos, que le phénomène s'était fait sentir aussi bien sur les puits domestiques de Teplitz, qui avaient tari en même temps que les sources thermales.

Lors de ce premier accident, les eaux étaient montées jusqu'à la cote 202 ; jamais, ensuite, elles ne se sont élevées aussi haut : peut-être en partie parce que les vides, de plus en plus étendus, par suite de l'exploitation continuée dans la mine, absorbaient, à niveau égal, des quantités d'eau de plus en plus considérables. Ainsi, lors du premier accident Victorine, elles montèrent plus lentement et, en définitive, moins haut (175), tout en donnant un cube plus considérable. Dans le deuxième acci-

dent Victorine, on put les arrêter à 161 mètres : les sources thermales avaient alors une suppression de 18 à 20 mètres ; néanmoins elles se perdirent moins que précédemment dans la direction des mines.

D'une façon générale, on a constaté, dans toutes ces inondations successives, que les sources thermales restaient constamment à un niveau plus élevé que les eaux de la mine, et l'on a remarqué que cette surcharge devenait d'autant plus forte que le niveau absolu était plus bas, c'est-à-dire que le profil en long de la surface hydrostatique s'infléchissait de plus en plus dans la direction de la mine, en même temps qu'il subissait un déplacement absolu, parallèlement à lui-même, de haut en bas. La conséquence pratique est qu'avec la profondeur atteinte par les travaux de mine le niveau de la source thermale ne peut, en aucun cas, descendre au-dessous de la cote 170, à moins que l'on n'applique directement une pompe sur elle pour la déprimer.

Il est assez facile d'expliquer ces observations en remarquant que l'eau thermale a, dans les fissures de Teplitz, une force ascensionnelle propre, qui, suivant une loi bien connue, est d'autant plus élevée que l'on abaisse davantage le niveau d'émergence. En outre, nous ne sommes jamais ici dans le cas de l'hydrostatique, mais dans celui de l'hydraulique ; l'eau thermale, qui monte de la profondeur à Teplitz et qui tend à s'écouler de là vers les mines, est comparable à un cours d'eau forcé de passer par un orifice restreint. Plus la hauteur de chute tend à s'accroître, plus la vitesse tend à s'élever, mais, par suite, plus les frottements dans ces conduites capillaires deviennent considérables. La différence de hauteur entre deux points représente la charge nécessaire pour vaincre les frottements : charge, à défaut de laquelle le mouvement s'arrêterait. Quand on abaisse le niveau dans la mine, la résistance, s'accroissant en même temps que la

vitesse, se traduit par une différence de niveau plus considérable.

Les vicissitudes diverses, par lesquelles ont passé les sources de Teplitz, ont montré, en outre, qu'il est, pour ces sources comme pour toutes les autres, un niveau donnant le maximum de débit compatible avec le maximum de thermalisation. Si on descend au dessous, on attire vers la source les eaux froides qui imbibent les eaux superficielles ; si on monte au dessus, comme c'est presque toujours le cas à l'état naturel, on détermine un épanchement, une perte de l'eau thermale vers les terrains avoisinants. La température relativement élevée de la plupart des puits d'eau douce de Teplitz n'a pas d'autre cause.

II. — Les sables aquifères de Brûx.

Les difficultés auxquelles donne lieu, dans l'exploitation des mines, la rencontre de certains niveaux aquifères, sont bien connues ; elles se traduisent généralement par l'augmentation considérable des frais d'épuisement, ou par la nécessité d'employer, à leur traversée, dans le forage des puits, des artifices spéciaux, tels que le procédé de congélation Poetsch. Dans les mines de lignite de Rudiay, au voisinage immédiat de la ville de Brûx, en Bohême, l'existence des sables aquifères entre deux couches imperméables au-dessus du lignite présente un danger beaucoup plus grave encore. Ces sables sont, en effet, par suite de l'eau qui les imprègne, dans un état de mobilité, de fluidité extrême ; la moindre issue qu'on vient à leur offrir amène leur départ presque subit : d'où la formation de cavités, qui s'affaissent et entraînent à la surface des effondrements, plus habituellement réservés aux régions salifères. Bien que ce péril soit dès longtemps reconnu et que des mesures de prévoyance spéciales aient été

organisées il y a plus de dix ans, la ville de Brüx a subi, en juillet 1895, en août, septembre et décembre 1896, enfin en décembre 1897, le terrible effet de ces glissements. On a pu observer alors une série de phénomènes qui ne présentent pas moins d'intérêt pour le géologue (*) que pour l'exploitant de mines ou l'hydraulicien.

Rappelons d'abord la coupe géologique du tertiaire bohémien. Dans son ensemble, ce terrain comprend trois termes : 1° Étage inférieur prébasaltique, formé de grès, avec schistes argileux superposés, contenant des couches de charbon tourbeux et lamelleux ; 2° Étage moyen (surtout développé dans le Mittelgebirge), avec tufs basaltiques, conglomérats, etc. ; 3° Étage supérieur post-basaltique, formé de schistes et argiles, avec intercalations de sable aquifère, qui renferme les principales couches de lignite. Auprès de Brüx, on exploite, dans ce dernier étage, une couche de charbon de 8 à 18 mètres de puissance, qui atteint localement 30 mètres vers Oberleutendorf et 38 mètres vers Bilin. Cette couche, qui affleure non loin de Brüx, plonge sous la ville avec une pente d'environ 8° vers le Nord-Ouest, et atteint ses points les plus profonds à quelques kilomètres au Nord vers Oberleutendorf et Maria-Ratschitz (353 mètres au-dessous du

(*) M. Fr. Suess a rapproché de ces sables aquifères mouvants le curieux phénomène des *filons de sable*, qui ont été observés par divers auteurs (notamment par Diller, dans le Nord de la Californie), au milieu des roches les plus diverses. D'après Diller (*Bull. of the Geol. Soc. of America*, New-York, 1890, t. 1, p. 444), on voit, au milieu du crétacé, des filons sableux, atteignant 2^m,50 d'épaisseur et jusqu'à 12 kilomètres de long. Ces filons, postérieurs au plissement du crétacé, s'arrêtent aux couches pléistocènes superposées. La disposition régulière des éléments, et notamment des micas, parallèlement aux parois, témoigne d'un dépôt à l'état fluide. Enfin diverses considérations ont conduit à penser que ces sables venaient d'en bas et s'étaient élevés dans des fissures ouvertes par un tremblement de terre. D'autres auteurs, E. Kalkowsky, A.-P. Pawlow, W. Cross, ont décrit des phénomènes semblables, bien que moins nets, dans divers pays.

sol). Au toit de la couche se trouvent, au milieu des argiles, des lentilles très irrégulières de sable aquifère, qui, en dépit de très nombreux sondages, ne sont pas encore aussi parfaitement déterminées qu'on le voudrait, par suite de leurs fréquentes variations locales et des durcissements partiels qui peuvent les faire méconnaître sur le passage de tel ou tel trou de sonde, mais dont la disposition d'ensemble auprès de Brüx semble pourtant bien la suivante (fig. 2 et Pl. II).

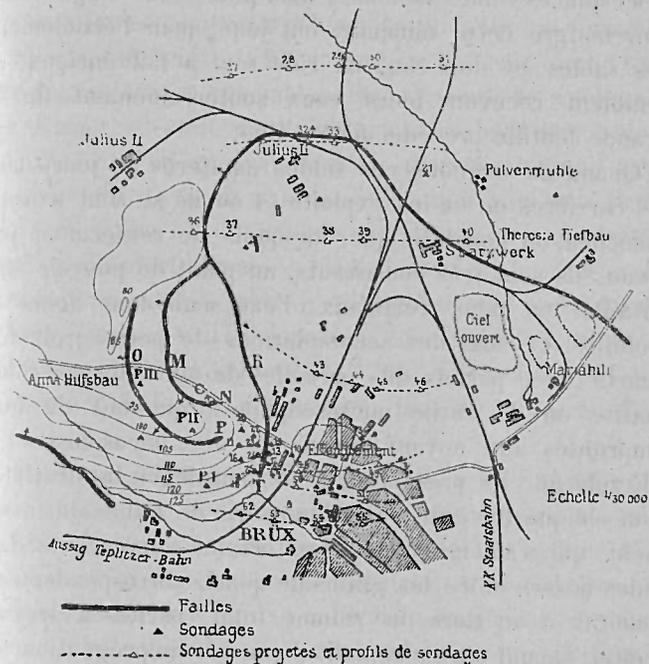


Fig. 2. — Carte de la région de Brüx, mettant en relief les dislocations des couches tertiaires, d'après le Dr Franz E. Suess.

Sous la ville même, une forte lentille, dont notre planche II montre les limites, ainsi que les lignes de niveau au mur, peut avoir environ 500 mètres de long

sur une largeur à peu près pareille. En moyenne, elle va s'approfondissant de l'Est à l'Ouest, et présente, dans toute sa partie centrale, une puissance d'une vingtaine de mètres. A l'Ouest, elle est limitée par une faille Nord-Sud XY, ou plutôt par un pli étiré, dont la méconnaissance a amené, comme nous le verrons, les désastres de Brüx. Puis elle disparaît ou change complètement de caractère, et l'on n'a plus, à l'ouest de Brüx, au-dessus des couches exploitées par le puits Anna-Hilfsbau, que deux minces veines sableuses d'au plus 0^m,20 d'épaisseur, qui, malgré cette minceur, ont joué, pour l'écoulement des sables et de l'eau, un rôle tout à fait curieux, et semblent recevoir leurs eaux souterrainement de la grande lentille précédemment citée.

Quand on examine ces sables aquifères au jour, dans les carrières où on les exploite et où ils se sont trouvés asséchés, on constate que, lorsqu'ils ne renferment pas d'eau, ils sont très consistants, au point de pouvoir être entaillés en talus verticaux; l'eau seule leur donne la mobilité. Ce sont des accumulations de petits grains de quartz (avec parfois des parcelles de mica, un peu d'hématite ou de rutile microscopique), qui ont dû être empruntés aux noyaux quartzeux des micaschistes de l'Erzgebirge. Ils présentent à un haut degré la stratification oblique fluviale, avec une série de failles de tassement, qui n'atteignent pas les terrains sous-jacents. Les vides laissés entre les grains de quartz correspondent, en général, à un tiers du volume total, parfois à près de moitié. Quand on les remplit d'eau par imprégnation, on facilite, à un degré extraordinaire, le mouvement relatif de ces grains, qui, à l'état de sécheresse, frottent au contraire et se coincent les uns sur les autres. On obtient alors une sorte de roulement à billes, analogue à ceux qui sont aujourd'hui si usités en mécanique, et l'ensemble se comporte comme un véritable liquide. Vient-on à retirer

l'eau, même sous de fortes pressions, le volume du sable ne change pas.

Ces remarques faites, voici comment se sont produits, à Brüx, les effondrements de ces dernières années.

Le premier a eu lieu le 19 et le 20 juillet 1895. Depuis longtemps, on se méfiait, dans la région, de ce sous-sol mobile et fugitif, dont on connaissait le danger; on avait, en conséquence, exécuté une série de sondages pour déterminer l'emplacement des sables aquifères; mais, par malheur, les deux sondages E et 27, les plus voisins de Brüx, étaient tombés à l'Ouest de la faille qui limite les sables aquifères de Brüx et dont on ignorait alors l'existence, du côté où ces sables disparaissent; le sondage 20 du Kaiserbad était aussi également au bord même de la lentille, et l'on en avait conclu, avec une logique apparente, qu'il n'y avait pas de sables aquifères sous Brüx: en sorte qu'on s'était cru très prudent en laissant, le long de la Johnsdorferstrasse et du chemin de fer, un massif de protection de 40 mètres, à l'ouest duquel on avait pris, contre la limite d'exploitation, une première ligne de chantiers 1294, 1260, 1266, 1265, 1273. Puis on avait commencé à abattre une seconde ligne de tailles en reculant vers les puits.

Rien dans les travaux n'avait attiré l'attention et, le jour même de la catastrophe, le 19 juillet, à quatre heures de l'après-midi, on avait visité le chantier 1294 sans faire aucune remarque spéciale. A neuf heures du soir, trois ouvriers, qui se trouvaient au voisinage, entendirent d'abord un choc, comme celui que produit la rencontre de deux bennes, puis un bruit prolongé, comme celui d'une benne descendant un plan incliné; un courant d'air éteignit leurs lampes, et un flot d'eau, parti probablement du chantier 1260 (ou peut-être du 1266), envahit les galeries.

Le point d'irruption, situé au minimum à la cote 112,

était peut-être même à 149. La couche va en s'inclinant jusqu'au puits Anna-Hilfsbau, où elle arrive à la cote 90. Des masses d'eau et de sable se précipitèrent vers le puits, arrêtaient les machines d'épuisement et, le 20 juillet, l'eau, après s'être élevée progressivement dans le puits, y resta stationnaire au niveau 103, sans pénétrer dans les travaux du puits Anna, qui sont séparés des précédents par un dos d'âne à la cote 112. On peut en conclure que les sables s'étaient eux-mêmes obstrués leur route. Puis l'eau s'abaissa jusqu'à la cote 102 : niveau au-dessous duquel toutes les galeries se remplirent d'une masse de sable et de boue, représentant peut-être 90.000 à 95.000 mètres cubes.

Comme on put s'en rendre compte plus tard, ces 90.000 mètres cubes de sable provenaient de la lentille située sous la ville de Brüx. Le vide laissé par leur départ ne tarda pas à amener ses conséquences naturelles. Dès dix heures du soir, le 19 juillet, les maisons commencèrent à s'écrouler ou à se lézarder en partant du point extrême, le plus à l'Est, où ce vide avait dû se produire d'abord, et en se rapprochant peu à peu des mines vers le point T jusqu'au 20 juillet, six heures du matin (*); notre planche II indique les effondrements, qui affectent, dans l'ensemble, une direction Est-Ouest et occupent une étendue totale de 6 hectares. On peut remarquer avec quelle rapidité, en moins de neuf heures, s'est fait le déplacement de ces masses souterraines.

Six jours après l'accident, le sable était devenu solide et consistant; on put construire des barrages provisoires à la cote 106 autour du puits Anna-Hilfsbau, et l'on entreprit toute une série de sondages pour reconnaître l'allure de la lentille sableuse, qui venait si désastreusement de

(*) Il y eut, sur le sondage 5, un mouvement d'eau tout à fait spécial. Un mât dressé fut englouti et entraîné longtemps dans un tourbillon souterrain.

révéler son existence. Cette allure, que nous avons déjà indiquée plus haut, est mise en évidence sur notre planche par des courbes de niveau. C'est au même moment que l'on constata la présence de la faille XY. Comme mesure de défense pour l'avenir, on décida d'arrêter les exploitations à l'Ouest, au plan incliné n° IV, ce qui laissait un massif de protection d'au minimum 155 mètres, et d'établir une ligne de barrages pour s'isoler du quartier Est. En même temps on changea l'ordre du dépilage, que l'on commença désormais à partir du puits et non plus en rebroussant à partir des extrémités.

Une année environ se passa alors tranquillement; mais, dans la nuit du 6 au 7 août, un nouveau mouvement de faible importance endommagea quelques maisons; il fut attribué à l'affaissement de cavités souterraines, qui avaient dû échapper au premier désastre en se remplissant d'eau; cette masse d'eau d'un millier de mètres cubes se déplaça, pour une cause quelconque, le 6 août, et trouva à se loger dans les vides encore subsistants de l'Est de la mine, sans jeter aucune perturbation dans les nouveaux travaux.

Un mois après, dans la nuit du 9 au 10 septembre, un nouvel effondrement, plus considérable, mais plus progressif, se produisit à l'Ouest de la ville, dans une zone heureusement peu bâtie, où, dès lors, le dommage fut faible. A la suite, l'eau afflua dans la mine par le Sud et s'éleva peu à peu jusqu'au niveau de 101^m,50. La cause immédiate, différente de celle des accidents antérieurs, est curieuse à étudier, parce qu'elle montre l'action directe d'une issue très étroite, offerte artificiellement aux eaux sous pression. Là, en effet, comme dans un accident ultérieur du 6 décembre 1896, c'est tout simplement en détubant un tron de sonde pour une réparation qu'on se trouva ouvrir aux eaux supérieures sous pression du sable aquifère une issue vers les vides des travaux de mine, où elles s'engouffrèrent.

Après l'accident du 6 août, on avait, en effet, jugé nécessaire de s'assurer, au moyen de sondages, s'il ne restait pas encore, dans les travaux abandonnés, des vides susceptibles d'amener des effondrements. Le sondage 25, ayant trouvé une semblable cavité de 9 mètres de haut, on dut, pour la remplir d'en haut, élargir son diamètre et, à cet effet, retirer momentanément le tubage. Le soir du 9 septembre, quand les tubes arrivèrent en remontant à la cote 178 (41 mètres de profondeur), où se trouvait un mince débit sableux dans l'argile, on entendit subitement l'eau couler dans le sondage. Cet afflux d'eau n'ayant fait que s'accroître à l'intersection d'une autre couche sableuse, on essaya de redescendre les tubes; mais on ne put les faire pénétrer au-dessous de 62 mètres de profondeur. Après la catastrophe, le niveau de l'eau changea brusquement, à diverses reprises, dans le trou de sonde, descendant un moment à 63 mètres au-dessous du sol, remontant ensuite à 30 mètres, puis retombant à 62 mètres le matin du 11 septembre, remontant encore à 24 mètres à une heure de l'après-midi, etc. Il est bien évident que c'est à ce déplacement des eaux que furent dus les effondrements. L'eau de la petite nappe sableuse à la cote 178, qui devait avoir une communication quelconque avec la grande lentille sableuse de Brûx, s'était précipitée par le trou de sonde dans la cavité découverte à sa base, entraînant avec elle des sables, dont on put voir le frottement manifeste sur les parois du tube, et il en était résulté une série de mouvements tumultueux, de remous, etc., dont les variations du niveau d'eau dans le sondage indiquèrent les phases à la surface.

Le 13 septembre, on put remonter les tubes; puis on redescendit le tubage élargi, et l'on obstrua la cavité en y faisant tomber 2.727 mètres cubes d'argile.

Mais ce n'était là qu'un remède local; il fallait organiser, dans la mine, un système de défense général, et plu-

sieurs procédés plus ou moins ingénieux furent alors proposés.

Le premier, qui finit par être adopté, consistait à remblayer entièrement les vides des vieux travaux et à établir des barrages dans les galeries de mine. Son seul inconvénient était le danger de laisser échapper quelque vide inaperçu; mais, par contre, c'était assurément le plan le plus pratique et le plus sûr.

On avait eu également l'idée de maintenir les eaux par un équilibre de pressions hydrostatiques en laissant remonter les eaux de mine dans les travaux Anna-Hilfsbau jusqu'au niveau des eaux emmagasinées dans le sable aquifère, de manière à contrebalancer celles-ci par celles-là. Mais, outre qu'il eût fallu plusieurs années pour atteindre cet équilibre, les mines inondées eussent constitué, à leur tour, un danger permanent pour d'autres mines, dont elles ne sont séparées par aucune démarcation tranchée.

Enfin M. O. Smrecker, de Mannheim, avait proposé d'assécher artificiellement les lentilles de sable aquifère, qui alors auraient pris la ferme consistance dont elles témoignent à leurs affleurements. Pour y arriver, il voulait d'abord, au moyen de 55 sondages, reconnaître la disposition exacte de ces sables et leur système d'alimentation, puis pomper l'eau à travers des filtres appropriés pour retenir les sables. On repoussa cette proposition à cause des grandes dépenses qu'elle eût entraînées et surtout de la presque impossibilité de couper toutes les communications entre ces sables et les eaux de surface, qui les auraient imprégnées à nouveau.

On se décida donc, comme nous l'avons indiqué plus haut, pour le remblayage. Des sondages allèrent reconnaître les anciens travaux, dont on avait le plan et constater ceux où il restait un vide, afin d'y faire un bourrage en argile. En même temps, on renforça les barrages autour du puits; mais, comme il restait, entre le puits et les

travaux de l'Est, toute une zone perforée de galeries, où l'on ne pouvait aisément accéder à partir du puits et où il était nécessaire d'établir des barrages, on fonça, à cet effet, un puits spécial au point 27 (Verdämmungsschacht).

La difficulté était que les points où l'on voulait établir ces barrages définitifs à la place d'anciens barrages provisoires étaient, dans les parties profondes de la mine, noyés sous l'eau. Épuiser sans précaution eût été risquer de changer l'équilibre des pressions et d'attirer les eaux vers ces points de moindre charge. On commença donc, au moyen de trois sondages hydrostatiques P_1 , P_2 , P_3 , par reconnaître le régime des eaux sur une ligne droite allant des vieux travaux au puits; on vit ainsi que le niveau en P_3 , à l'Est des barrages du puits Anna-Hilsbau, était à peu près le même que dans ce puits, c'est-à-dire que les barrages provisoires ne supportaient aucune pression et qu'on pouvait, par suite, risquer l'épuisement.

On se mit alors à l'ouvrage, et les travaux étaient en bon train quand le détubage d'un sondage en cours, le sondage 23, provoqua, le 6 décembre 1896, dans les mêmes conditions qu'au mois de septembre, un nouveau mouvement, heureusement de très faible amplitude.

Ce sondage avait reconnu un vide, où l'on avait fait tomber 286 bennes de remblai. Puis, n'ayant pu en faire pénétrer davantage, même en exerçant une pression par une colonne d'eau, on avait cru le bourrage complet. On commença à retirer les tubes et, à un moment donné, il se produisit dans le sondage un bruit d'eau, en même temps que quelques maisons se lézardaient. Le mouvement s'arrêta de lui-même et l'on redescendit les tubes; on creva un tampon d'argile de 6 mètres de haut, qui s'était formé dans les tubes, et l'on retrouva un nouveau vide, qu'on remblaya.

Les barrages du puits Anna-Hilsbau I et II furent aisément terminés au début de 1897; au contraire, les barrages

plus profonds IV et V ne purent, en raison de difficultés diverses, être achevés qu'en automne 1898. Le puits 27, qui devait servir à les exécuter, commencé au début de 1897, était à 64 mètres de profondeur, quand, le 9 décembre 1897, il s'y produisit par le fond une venue d'eau soudaine, qui fut attribuée à la même nappe mince de sable aquifère, déjà atteinte par les sondages 25 et 23. L'eau monta de 34 mètres, puis redescendit, en laissant 9 mètres de sable au fond du puits.

Il fallut alors renoncer à approfondir le puits pour éviter le retour d'accidents semblables, et l'on partit, au contraire, du puits Anna-Hilsbau par une double galerie (mise en évidence sur le plan). Les 1.460 mètres de galerie, avec 5 barrages et 5 muraillements, furent finis en octobre 1898.

En résumé, on a eu, dans cette région, une série de mouvements, dus à des variations dans les pressions réciproques des eaux profondes emmagasinées dans les sables aquifères, des eaux de mine influencées par les épuisements et des eaux superficielles. L'influence de ces mouvements sur les eaux superficielles et sur les eaux de mine a pu être facilement constatée à Brüx.

Dans les puits à eau, avant la première catastrophe, le niveau hydrostatique se tenait à peu près horizontal vers la cote 213, avec une très légère pente vers la Biela.

Quelques semaines après cette catastrophe, la surface des eaux avait, au contraire, pris une forme en entonnoir à courbes de niveau dessinant à peu près des demi-cercles depuis la cote 212, vers le sondage 1, jusqu'à la cote 208, vers le sondage 10, c'est-à-dire qu'elle accusait maintenant un drainage vers l'ouest, vers les mines. Quand eut lieu la seconde forte irruption du 10 septembre 1896, les puits de la région ébranlée tombèrent de 4 à 5 mètres en quelques jours, puis remon-

tèrent rapidement, tandis que ceux à plus grande distance étaient moins et plus lentement influencés.

Le régime des eaux de mine, tel qu'il a été mis en évidence par les sondages 1 à 3, est tout différent. Au sondage 1, on a vu, en 1897, que les eaux se tenaient à la cote 122^m,50 (80 mètres au-dessous des puits); dans les sondages 2 et 3, à 97 et 95. Ces différences de niveau s'expliquent par les difficultés de circulation entre ces trois points, situés: le sondage 1 à 350 mètres du sondage 2, le sondage 2 à 200 mètres du sondage 3.

Enfin, les sables aquifères enmagasinent une réserve d'eau sous pression, qui, en temps ordinaire, communique bien avec la nappe phréatique des puits, par laquelle elle est alimentée à un niveau supérieur, mais non avec les eaux de mine situées au dessous. Toute issue, si étroite qu'elle soit, brusquement ouverte sur les mines, amène donc une catastrophe telle que celles racontées plus haut: catastrophe exagérée, dans le cas présent, par le déplacement des sables, qui en est la conséquence et l'éroulement des cavités laissées vides après le départ de ceux-ci.

Le fait qu'une simple petite veine sableuse d'au maximum 0^m,20 d'épaisseur a pu amener les accidents de 1896 est fort intéressant.

On s'est demandé si ce déplacement des sables tenait à la seule compression des terrains superposés, lorsque l'eau qui résistait à cette charge est déplacée, ou s'ils étaient réellement entraînés par l'impulsion des eaux. Cette dernière hypothèse est rendue vraisemblable par la forte résistance à l'écrasement qu'offrent les sables asséchés et la facilité avec laquelle ils se laissent entailler au jour en talus verticaux.

BIBLIOGRAPHIE.

I. — CATASTROPHES DE TEPLITZ.

1879. A.-A. NAAFF..... Die Dux-Teplitzer Gruben und Quellen-Katastrophe vom Jahre 1879.
1881. F. ZECHNER..... Die Entwässerung Arbeiten auf den inundierten Dux-Osseger Kohlenwerken und die Arbeiten zur Sicherung der Teplitzer Thermen (*Oest. Zeits. f. Berg und Hüttenw.*, t. XXIX).
1888. D. STUR..... Der zweite Wassereinbruch von Teplitz-Osseg (*Jahrb. d. K. K. geol. R. A.*, t. XXXVIII).
1888. NORB. MARISCHLER.. I. Studien über den Ursprung der Teplitz-Schönauer Thermen; II. Die Ergebnisse der Teplitzer Tiefbohrungen in geologischer und bohrtechnischer Beziehung (Teplitz).
1888. W. POECH..... Die hydraulischen Vorgänge in den Spalten des Teplitz-Erzgebirgischen Porphyrs (*Oest. Zeits. f. Berg. und Hüttenw.*, t. XXXVI).
1893. H. HÖFER..... Gutachten über die Hintanhaltung von Thermenkatastrophen in Teplitz-Schönau.
1898. FRANZ E. SUESS... Studien über unterirdische Wasserbewegung (I. Die Thermalquellen von Teplitz und ihre Geschichte; II. Die Schwimmsandeinbrüche von Brüx (*Jahrb. d. K. K. geol. Reichs.*, t. XLVIII).

II. — SUR LES SABLES AQUIFÈRES DE BRÜX.

1893. A. JENTZSCH..... Katastrophe von Scheidemühl (*Zeits. für praktische Geologie*, p. 347 et 383).
1896. M. RUBESCH..... Schwimmsand Entwässerungs Methode auf der Rudiaubraunkohlenseche in Bilin (*Oest. Zeits. f. Berg und Hüttenwesen*, Vienne, n° 3).
1896. F. SCHRÖCKENSTEIN. Studien über den Schwimmsandeinbruch in Brüx (*Der Kohleninteressent*, Teplitz, XIV, n° 9).

1896. F. TOULA..... *Über die Katastrophe von Brück (Zeits. d. Verbr. naturw. Kennln., t. XXXVI, fasc. I, Vienne, avec photographies).*
1896. Prof. J. ULLRICH und L. STAMM..... *Gutachten über die anlässlich der Brücker Schwimmssand Katastrophe zu treffenden Massnahmen.*
1896. H. HÖFER und v. UHLIG..... *Beantwortung der Fragen, welche an die geologischen Sachverständigen anlässlich der am 19 Juli 1895 erfolgten Schwimmsand-Einbruchs Katastrophe gestellt wurden.*
1898. Dr. FRANZ E. SUESS. *Studien über unterirdische Wasserbewegung (Jahrb. d. K. K. geol. Reichs., t. XLVIII, fasc. 3).*

ANALYSE
DES RAPPORTS OFFICIELS
SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU
SURVENUS EN FRANCE
PENDANT LES ANNÉES 1891 A 1897

Par M. GLASSER, Ingénieur des Mines.

Les tableaux qui suivent comprennent, pour les années 1891 à 1897 (*), les accidents de grisou ayant occasionné des morts ou des blessures même très légères. Nous n'avons pas cherché à y comprendre les flambées plus ou moins importantes n'ayant occasionné aucune blessure, par la raison que, si l'on peut espérer parvenir à dresser, d'après les documents officiels, une statistique à peu près complète des accidents ayant atteint les ouvriers, on ne peut y trouver la trace que d'un petit nombre des flambées de grisou n'ayant eu que des conséquences matérielles, et celles que l'on relèverait ainsi ne seraient même pas, d'une façon certaine, les plus importantes. Nous n'avons pas non plus compris dans ces tableaux les inflammations de poussières, les explosions de gaz autres que le grisou, etc. Il y a cependant un certain intérêt à rapprocher ces divers accidents de ceux qui figurent dans les tableaux, et nous indiquerons brièvement ci-après les circonstances de ceux d'entre eux qui sont survenus dans la même période.

(*) Voir, pour les années antérieures, *Annales des Mines*, 8^e série, t. I, II, IV, VI, VIII, IX, X, XVII et XX.

A. ACCIDENTS DUS A DES INFLAMMATIONS DE GAZ. — Au nombre de ces accidents, nous comprenons des flambées de grisou, une flambée de gaz des marais, et enfin les inflammations de gaz produits par la distillation de la houille à la suite d'incendies souterrains.

I. *Flambées de grisou.* — Celles qui ont atteint les ouvriers sont consignées dans les tableaux; nous en mentionnerons, en outre, quelques-unes qui figurent dans les tableaux de la statistique de l'industrie minérale. Pour deux d'entre elles, nous avons eu sous les yeux les rapports officiels.

Le 22 juin 1893, au puits Chatelus n° 2 de la concession de Beaubrun (Loire), une légère flambée de grisou s'est produite dans les circonstances suivantes : une taille en défilage avait buté contre une faille qui limitait le champ d'exploitation; le lendemain matin, le piqueur de la taille voulut vérifier l'état de la couronne au voisinage du rejet et y plaça sa lampe à feu nu. Il provoqua une petite flamme, mais, s'étant baissé rapidement, il ne fut pas atteint.

Cet accident est resté heureusement sans aucune conséquence, parce que la faille grisouteuse débitait très peu de gaz; mais il a attiré l'attention sur la nécessité d'une surveillance plus attentive au point de vue du grisou.

Le 25 juillet 1895, dans les travaux d'approfondissement du puits Saint-Pierre des mines de Montrambert (Loire), le grisou s'est manifesté de la façon suivante :

La fosse n'étant pas grisouteuse, on y travaillait à feu nu; mais comme, dans le précédent approfondissement, on avait rencontré un peu de grisou à la traversée d'une passée schisto-charbonneuse, on prenait soin d'aérer le puits jusqu'au fond par une colonne de tuyaux et d'examiner l'état de l'atmosphère à la lampe de sûreté avant toute reprise du travail. Le 25 juillet, vers huit heures du

soir, un petit jet de gaz fut allumé le long de la paroi du puits par une lampe à feu nu; il ne brûla que très peu de temps et n'atteignit personne; la colonne d'aéragé fut immédiatement allongée d'un tuyau, et l'état de l'atmosphère soigneusement vérifié à la lampe de sûreté. A trois heures du matin, une lampe, approchée du point de la première flambée, alluma de nouveau pour quelques instants le grisou. Ce point de dégagement correspondait à une passée schisto-charbonneuse. Les lampes de sûreté furent substituées aux lampes à feu nu; mais, après que le cimentage du point de dégagement eût été fait, le grisou ne se manifesta plus en aucune façon.

Nous noterons encore deux flambées sans conséquence, provoquées par des lampes à feu nu, survenues en 1893, la première dans la grande couche de Montrambert (Loire), et la deuxième au puits Ferrouillat, de la concession de La Béraudière (Loire).

Enfin cette même année, une flambée très faible, due au bris d'une lampe de sûreté par un coup de pic, occasionnait des blessures insignifiantes à un ouvrier dans des travaux de recherches effectués à la concession de Bordezac (Gard).

II. *Flambée de gaz des marais* (*). — Une flambée de gaz des marais s'est produite, le 21 juillet 1894, au puits Marseille, des mines de Montrambert (Loire), occasionnant de légères brûlures à un ouvrier occupé au percement destiné à relier un travers-bancs au puisard du puits; un trou de sonde avait établi la communication avec le puisard, dont le fond était au-dessus du niveau du travers-bancs; il livrait passage à l'eau restée au fond du puisard; il est probable qu'après qu'elle a eu fini de s'écouler le trou de sonde a laissé dégager du gaz des marais prove-

(*) M. l'Ingénieur des mines Leproux a rendu compte en détail de cet accident (*Annales*, 9^e série, t. VIII, p. 31).

nant des vases accumulées sous l'eau. Un ouvrier arrivant au fond du travers-bancs, avec une lampe à feu nu, a enflammé ce gaz et a été légèrement brûlé.

III. *Inflammations de gaz de distillation de la houille.*

— Nous avons relevé les inflammations de gaz de distillation qui suivent.

Nous citerons d'abord les flambées nombreuses des 10, 13 et 14 avril 1891, à la mine de Bourran, de la concession de Lassalle (département de l'Aveyron). Ces flambées, heureusement sans conséquences, auraient pu provoquer de graves accidents ; elles se sont produites entre un coffrage imparfaitement étanche, derrière lequel continuait un incendie, et une petite galerie en cul-de-sac ayant servi à l'embouage des parties inférieures et qui laissait dégager des quantités importantes de gaz de distillation. On avait vainement essayé d'arrêter ces dégagements en remblayant le cul-de-sac avec de la terre pilonnée. C'est au cours de ce travail que les flambées se sont produites au contact de l'incendie (on n'employait que des lampes de sûreté) ; malgré un aérage assez actif, elles se répétèrent un grand nombre de fois. On réussit à les arrêter en activant l'aérage.

Le 15 septembre 1891, à la même mine de Bourran, deux ouvriers ont été légèrement brûlés par une flambée de gaz, en s'approchant, dans une galerie insuffisamment aérée, d'un barrage établi pour contenir un feu ; l'un d'eux était muni, contrairement à une défense formelle, d'une lampe à feu nu.

Le 13 mars 1892, deux ouvriers ont, de nouveau à la même mine, été brûlés ; ils étaient occupés à pratiquer, au voisinage d'un incendie, une galerie d'aérage destinée à remplacer une communication atteinte par l'incendie.

On procédait au coffrage de la galerie, et pour cela on commençait par abattre au toit et sur les côtés, le

charbon plus ou moins brûlé ; le courant d'air arrivant au chantier paraissait suffisant, et l'on arrosait, toutes les heures, les parois chaudes.

L'explosion s'est produite peu de temps après le changement de poste au moment où, après plus d'une heure d'interruption de travail et près de trois heures d'interruption de l'arrosage, l'un des ouvriers recommençait à arroser abondamment les parois ; elle a été attribuée à de l'oxyde de carbone ayant filtré à travers le pilonnage depuis les points incendiés et parvenu au contact de houille en ignition.

Le 17 novembre 1891, à la mine de Combes de la concession de Seyrons et Paleyrets (Aveyron), une explosion, sans accident de personne, s'est produite, tandis qu'on luttait contre un incendie ; plusieurs inflammations d'oxyde de carbone au contact de l'incendie même s'étaient produites dans la journée lorsque, à cinq heures et demie du soir, une véritable explosion a renversé deux barrages et trois ouvriers et a fait sentir ses effets mécaniques dans toute la mine.

Le 5 novembre 1892, au quartier de la Martinie, dans les exploitations à découvert de la même mine, huit ouvriers ont été atteints par les flammes d'un incendie, par suite de l'effondrement du sol en un point où l'on travaillait au-dessus de vides laissés par d'anciens travaux envahis par les feux.

Les victimes ont été brûlées par le mélange de gaz incandescents, qui s'est dégagé de ces excavations au moment de l'effondrement. Deux d'entre elles ont succombé le lendemain.

Enfin la catastrophe de Blanzay, survenue le 4 février 1895 et qui a coûté la vie à vingt-huit ouvriers, et occasionné des blessures à huit autres, a été attribuée à des gaz de distillation de la houille.

L'accident s'est produit dans le quartier du piédroit on

de l'Est du puits Sainte-Eugénie, dans la deuxième couche. Cette couche, formée de charbon à gaz très inflammable, tenant de 37 à 38 p. 100 de matières volatiles, et épaisse de 8 à 10 mètres, était exploitée par tranches horizontales successives, prises dans l'ordre montant et avait déjà donné lieu à plusieurs feux. Un incendie s'était déclaré dans la matinée du dimanche 3 février, entre la remonte du poste d'entretien le samedi à dix heures du soir et la visite réglementaire du dimanche à midi. Il fut sans doute activé à ses débuts par un soufflage inopiné d'air comprimé dû à la destruction par le feu d'une partie d'une conduite alimentant un ventilateur. La journée du 3 et la nuit du 3 au 4 se passèrent à lutter contre l'incendie en cherchant à l'enfermer entre deux barrages établis à l'étage en exploitation; mais, faute d'un isolement suffisant, et par suite d'une fausse manœuvre des robinets d'air, qui a eu pour effet de rétablir pendant quelques heures le soufflage d'air comprimé, arrêté dans l'après-midi du 3 par la fermeture de la conduite générale, l'incendie se développait au voisinage d'une galerie de tracage de l'étage supérieur parcourue par le courant d'air. Le 4, à cinq heures du matin, peu après le renouvellement du poste, composé de vingt-six hommes sous les ordres d'un maître mineur, une explosion considérable se produisit, chassant hors du puits une masse de fumées chaudes, mais sans produire d'effets matériels importants. Tous les hommes employés à la lutte contre l'incendie étaient brûlés ou asphyxiés; seuls ceux qui étaient restés au voisinage de la recette, en particulier pour le service du trainage mécanique, ne subissaient qu'un commencement d'asphyxie peu grave. Vingt-huit hommes restaient dans les travaux, et une partie seulement des cadavres purent être retirés, le sauvetage ayant été arrêté par un éboulement considérable, derrière lequel l'incendie continuait avec intensité. La couche était peu grisouteuse, et

son aérage très actif (la teneur du retour d'air ne dépassait pas, tous les jours précédents, un quart p. 100); elle était, par contre, formée d'un charbon très riche en gaz. L'accident a été attribué à des gaz de distillation produits dans la partie barrée où le feu était devenu peu actif, et qu'une circonstance fortuite (peut-être un éboulement), aurait brusquement chassé sur une partie en combustion active au voisinage du courant d'air du niveau supérieur.

B. INFLAMMATIONS DE POUSSIÈRES. — Au cours des sept années sur lesquelles ont porté nos relevés, cinq explosions ont été attribuées aux poussières.

Le 21 juin 1893, à la fosse n° 7 de la concession de Nœux (Pas-de-Calais), dans des travaux où l'on n'a jamais constaté de grisou, deux ouvriers ont été brûlés par une inflammation de poussières consécutive à un coup de mine tiré pour déhourder une cheminée à charbon obstruée.

Le 26 octobre 1893, à la mine de lignite de Dauphin (Basses-Alpes), un grave accident a coûté la vie à quatre ouvriers (trois asphyxiés et un brûlé) et en a blessé six autres (brûlures plus ou moins graves); il s'est produit à la suite du tirage d'un coup de mine à la poudre noire. La recherche minutieuse du grisou au cours de l'enquête n'a permis d'en constater nulle part la présence d'une façon certaine, et il a paru que l'accident devait être imputé à l'inflammation des poussières accumulées dans les cheminées à charbon. A la suite de l'accident, des mesures ont été prises pour éviter la pulvérisation du charbon dans les cheminées en les tenant constamment pleines, et le tirage des coups de mine à la poudre noire dans le charbon a été interdit.

Le 1^{er} juin 1894, la même mine a été le théâtre d'un accident analogue; deux ouvriers ont été brûlés, l'un d'eux assez grièvement, par l'inflammation de poussières à la suite du tirage simultané de trois coups de mine à la poudre

noire ; le grisou ne paraît avoir joué aucun rôle. Les mesures de précautions ci-dessus indiquées et qui n'avaient pas été observées ont été rendues obligatoires par arrêté préfectoral.

Le 8 juin 1894, à la mine de lignite de Gaude (Basses-Alpes), un ouvrier a été mortellement blessé par une inflammation de poussières (le grisou n'a pu être constaté nulle part en quantité appréciable au cours de l'enquête); l'accident s'est produit à la suite d'un coup de mine tiré au charbon par la victime, malgré une interdiction formelle. Les effets mécaniques de cette inflammation de poussières ont été assez sensibles.

Enfin, le 25 octobre 1895, à la fosse Mulot de la concession de Dourges, un coup de poussières a coûté la vie à trois ouvriers. L'accident s'est produit dans un lambeau isolé comprenant des travaux assez restreints et dont l'aérage était suffisamment assuré par quatre souffleurs branchés sur une conduite d'air comprimé; le charbon n'est pas grisouteux du tout; il est moyennement poussiéreux; on travaillait à feu nu. Les ouvriers avaient foré deux trous de mine voisins, les avaient chargés à la poudre noire et bourrés avec des poussières de charbon pour s'épargner la peine d'aller chercher de l'argile: le deuxième coup faisant canon a dû produire l'inflammation des poussières soulevées par le premier; la flamme s'est développée sur une certaine longueur, mais sans mettre le feu à des cartouches restées à peu de distance; les effets dynamiques ont été insignifiants; il y a seulement eu une chasse d'air importante; à la suite de l'accident, l'emploi des explosifs de sûreté a été substitué à celui de la poudre noire.

C. CAS D'ASPHYXIE. — Les cas d'asphyxie dans les houillères sont assez nombreux; sans compter ceux qui sont dus au grisou, nous en avons relevé une série, dus les

uns à la viciation lente de l'air, les autres à l'envahissement brusque des chantiers, soit par l'acide carbonique, soit par les fumées d'un incendie. En voici l'énumération :

Le 9 novembre 1891, à la fosse n° 1 de Bruay (Pas-de-Calais), un porion a été asphyxié par de l'acide carbonique accumulé dans un cul-de-sac qui pouvait être aéré par un ventilateur; il s'y était engagé avant que le ventilateur ne fût mis en marche et bien que sa lampe brûlât fort mal; s'étant baissé pour arranger un tuyau de conduite d'eau, il a été asphyxié; le mauvais air s'était accumulé en arrière d'un serrement et était dégagé au chantier par un courant d'eau amené de la région infectée au moyen d'un tuyau trop large formant trompe.

Le 14 janvier 1892, à la mine de Saint-Laurs (Vendée), deux ouvriers ont été trouvés morts dans un chantier insuffisamment aéré; l'air étant confiné et presque privé d'oxygène, ils s'étaient sans doute trouvés fatigués, puis s'étaient endormis pour ne plus se réveiller.

Le 7 mars 1893, à la mine de Crol-et-Fournol de la concession de Combes (Aveyron), un ouvrier a subi un commencement d'asphyxie dans un chantier insuffisamment aéré (aérage naturel), au voisinage de vieux travaux où le mauvais air s'était accumulé.

Le 30 juin 1895, à la mine du Parc à Cransac (Aveyron), un ouvrier a péri dans les circonstances suivantes :

Le dimanche 30 juin 1895, le ventilateur qui assurait l'aérage de la mine avait été arrêté pour exécuter une réparation indispensable, et l'aérage avait été seulement l'aérage naturel pendant la journée. On avait néanmoins fait travailler une dizaine d'ouvriers à des travaux urgents; ceux-ci n'avaient rien remarqué d'anormal pendant toute la matinée et le début de l'après-midi; mais, vers cinq heures, à la suite des heures les plus chaudes de la journée, ils se trouvèrent successivement incommodés et cherchèrent à sortir, tandis que le contremaitre, informé du fait, faisait

remettre le ventilateur en marche. Plusieurs ouvriers tombaient dans la galerie en cherchant à fuir, mais étaient bientôt ranimés par le courant d'air rétabli; l'un d'eux, tombé dans une descenderie, succomba soit à l'asphyxie, soit à une syncope prolongée.

Le 30 avril 1896, à la fosse n° 3 de Courrières (Pas-de-Calais), un ouvrier a été asphyxié pour avoir pénétré dans un plan incliné interdit à la circulation, bouché à sa partie inférieure par un barrage étanche, auprès duquel s'était accumulé de l'acide carbonique.

Le 8 septembre 1897, aux mines de La Chapelle-sous-Dun (Saône-et-Loire), trois ouvriers ont été asphyxiés dans les circonstances suivantes : on travaillait à reprendre une galerie en direction dans une couche très inflammable; cette galerie débouchait dans un plan incliné qui donnait en même temps accès à un niveau inférieur que l'on avait dû abandonner par suite de feux. L'aérage avait été interrompu au-dessous du niveau où l'on travaillait; mais l'accès n'en avait pas été suffisamment interdit aux ouvriers. Un d'eux, ayant laissé tomber la lampe dans le plan incliné, voulut aller l'y rechercher et, malgré une première tentative au cours de laquelle il avait vu s'éteindre la lampe dont il était muni, il était redescendu et était tombé asphyxié. Un camarade, puis le chef de poste, qui se portèrent témérairement à son secours, furent asphyxiés successivement. On ne parvint que plus d'une heure après à retirer les trois cadavres.

Le 23 décembre 1891, à la mine de Banel de la concession de Seyrons-et-Paleyrets (Aveyron), un boiseur a été asphyxié par les fumées provenant d'un incendie qui s'était rapidement développé dans la mine, en raison de l'insuffisance des moyens dont on disposait pour lutter contre lui. La victime a commis l'erreur de s'engager dans une galerie pleine de fumée, au lieu de remonter le courant d'air; des camarades qui l'accompagnaient ont pu grand-

peine parvenir jusqu'à une porte, derrière laquelle ils ont rencontré un courant d'air frais, mais n'ont pu retourner au secours du boiseur tombé en chemin.

Le 26 novembre 1895, à la mine de lignite de Gaujac (Gard), un ouvrier a été asphyxié par l'acide carbonique, dans les circonstances suivantes : Le matin de l'accident, des ouvriers, en arrivant au bout d'une galerie en direction, sur laquelle s'amorçait un chantier d'abatage, constatèrent un écoulement d'eau trop abondant pour permettre le travail au charbon. Ils reçurent du contremaître l'ordre imprudent de travailler à l'avancement de la galerie et de terminer leur travail par le percement d'un trou à l'endroit du suintement pour favoriser l'écoulement de l'eau. C'est au moment où ils commençaient ce dernier travail que la paroi céda et qu'il se produisit une venue d'eau d'une grande violence, inondant toutes les galeries inférieures de la mine, en même temps qu'une partie des travaux était envahie par de l'acide carbonique ayant fait irruption avec l'eau. Cet acide carbonique provenait de vieux travaux et résultait soit de la combustion lente des parties charbonneuses laissées, soit de l'action d'eaux de mine acides sur les calcaires du toit et du mur. Deux ouvriers, surpris dans les travaux inférieurs, ne purent se sauver à temps; l'un d'eux se réfugia dans une remontée, qui ne fut pas envahie par le mauvais air et fut sauvé après soixante-quatre heures; l'autre avait été asphyxié en cherchant à fuir par le retour d'air.

Enfin, le 2 juin 1896, au puits Fontanes de la concession de Rochebelle (Gard), vingt-quatre ouvriers ont été asphyxiés par un dégagement subit d'acide carbonique.

La mine de Fontanes, dont le charbon dégage de l'acide carbonique dans tous les travaux, n'avait jusque-là donné lieu à des dégagements instantanés qu'aux étages inférieurs.

Elle comprenait, au moment de l'accident, deux

régions distinctes : l'une entre les niveaux 90 et 125 où se faisait l'exploitation, l'autre entre les niveaux 165 et 205, en préparation. C'est dans la seconde seule jusque-là que s'étaient produits des dégagements instantanés d'acide carbonique. Les travaux en étaient soumis à des mesures de précaution toutes spéciales.

Le chantier qui a été le théâtre de l'accident du 2 juin 1896 était à l'extrémité d'une galerie en cul-de-sac sur 80 mètres de longueur et qui avait pu être poussée seulement avec aérage par diffusion ; elle suivait un dérangement assez important et se trouvait alors dans des grès présentant des passées schisteuses avec intermittence de filets charbonneux. L'enquête a établi qu'on n'avait rien remarqué d'anormal les jours précédents ni le jour même et qu'aucun des indices qui précèdent habituellement les dégagements instantanés (exsudations importantes d'acide au front de taille, pression dans les trous de mine, détonations sourdes au chantier, décrépitation du charbon) n'avait été observé.

Le 2 juin, vers cinq heures de l'après-midi, à l'heure de la fin du poste, au moment où les ouvriers qui travaillaient au chantier venaient d'allumer un coup de mine, il se produisit une explosion considérable projetant plus de 300 tonnes de charbon plus ou moins pulvérisé et de schistes et quelques blocs de grès, et déversant instantanément dans les galeries du quartier une quantité de gaz qui a été évaluée à 1.500 mètres cubes et qui a vicié l'atmosphère de plus de 6.000 mètres cubes de galeries.

Tous les ouvriers du quartier, avertis par une détonation assez forte et par une chasse d'air très sensible, commencèrent sans doute à fuir ; plusieurs parvinrent au jour malgré l'extinction de leurs lampes ; quelques-uns tombèrent évanouis et purent être rappelés à la vie par les sauveteurs entrés dans la mine presque immédiatement ; mais vingt-quatre d'entre eux périrent et furent retrouvés

dans la soirée plus ou moins loin de leurs chantiers. Aucun ouvrier n'était, au moment de l'explosion, au chantier même où elle s'est produite ; ils venaient sans doute de le quitter après allumage des coups de mine. Un corps a été retrouvé, à une distance assez grande, à moitié enfoui sous les débris.

La galerie était obstruée loin en avant du front de taille d'abord par du charbon pulvérulent, puis par des fragments de charbon et de schiste et enfin par des débris plus gros ; à plus de 10 mètres en avant, on retrouvait un bloc de grès de 3 tonnes ; plusieurs cadres de boisage étaient brisés.

L'examen du théâtre de l'accident a fait supposer qu'il y avait eu plusieurs centres d'explosion au front de taille, le long de la faille que suivait la galerie.

Cet accident ayant montré que même les niveaux les moins profonds de la mine de Rochebelle pouvaient donner lieu à des dégagements instantanés d'acide carbonique, on a prescrit pour les travaux de reconnaissance et de traçage (les seuls dangereux, car le gaz acide carbonique paraît toujours être drainé par les travaux de préparation avant les travaux de défilage) une série de précautions dont les principales consistent à faire précéder l'avancement de trous de sonde de 3 mètres de longueur et à ne faire l'abatage que par volées de coups de mine tirées en l'absence des ouvriers.

Les différents accidents qui ont été énumérés ci-dessus et ceux qui sont compris dans les tableaux peuvent se classer ainsi qu'il suit (nous en avons écarté les deux accidents de grisou de la mine de plomb argentifère de Pontpéan, afin de n'y comprendre que les accidents des mines de charbon).

CAUSES DES ACCIDENTS	NOMBRE des accidents	NOMBRE			
		de tués	de blessés	total des victimes	
Inflammations	de grisou.....	49	77	64	141
	de gaz des marais.....	1	"	1	1
	de produits de distillation de la houille.....	6	30	18	48
	de poussières.....	5	8	10	18
Asphyxies	par le grisou.....	5	5	"	5
	par des fumées.....	1	1	"	1
	par de l'air vicié.....	6	8	"	8
	par dégagement brusque d'a- cide carbonique.....	2	25	"	25
Effets mécaniques dus à un dégagement de grisou	1	2	2	4	
Totaux.....	76	156	95	251	

D'autre part, les cinquante-deux accidents dus au grisou dans les exploitations minérales de toute nature et ayant occasionné des morts ou des blessures que nous avons consignés dans les tableaux, se classent au point de vue de leurs causes, ainsi qu'il suit :

CAUSES DES ACCIDENTS	NOMBRE des accidents	NOMBRE			
		de tués	de blessés	total des victimes	
Inflammations produites par	explosion ou allumage d'un coup de mine.....	4	1	6	7
	lampe à feu nu.....	26	9	30	39
	lampe de sûreté ouverte, déte- riorée ou brisée.....	10	4	13	17
	causes diverses (en particulier allumettes).....	3	62	13	75
	causes indéterminées (déposi- tions suspectes).....	3	1	3	4
Asphyxies.....	5	5	"	5	
Effets mécaniques dus à un dégagement instan- tané de grisou.....	1	2	2	4	
Totaux.....	52	84	67	151	

Si l'on compare ce dernier tableau avec ceux qui ont été publiés année par année dans la *Statistique de l'industrie minérale*, on y relèvera quelques différences au sujet soit du nombre même des accidents, soit du nombre des victimes et, d'autre part, au sujet des causes auxquelles ont été attribués les accidents.

Tout d'abord nous n'avons pas fait figurer dans les tableaux les quatre flambées inoffensives de Beaubrun, de la Béraudière et de Montrambert, et l'inflammation de gaz des marais du puits Marseille à Montrambert, que nous avons relatées ci-dessus.

Ensuite nous avons porté dans les tableaux quelques accidents qui n'ont pas figuré dans ceux de la *Statistique de l'industrie minérale*, soit à cause de la faible durée de l'incapacité de travail qu'ils ont occasionnée (accidents nos 17, 18, 21 et 27), soit pour l'un d'eux (accident n° 45), parce qu'il s'est produit dans des travaux de recherches de mines. Enfin les chiffres que nous donnons pour le nombre des blessés sont supérieurs d'une unité à ceux de la *Statistique* pour chacun des deux accidents nos 38 et 50, parce que nous avons compté des blessés qui n'avaient subi qu'une incapacité de travail très courte.

Au sujet des causes, nous ferons remarquer en particulier que les tableaux de la *Statistique de l'industrie minérale* attribuent sept flambées à des coups de mine, tandis que nous n'en portons que quatre sous la rubrique « inflammation par explosion ou allumage d'un coup de mine », rubrique qui pourrait d'ailleurs, pour les quatre accidents, se réduire à « inflammation par allumage d'un coup de mine ». La différence tient aux trois accidents nos 22, 35 et 40, au sujet desquels les dépositions des intéressés, attribuant la flambée à l'allumage régulier d'un coup de mine avec mèche ou anadou, ont paru suspectes, et dont la cause doit être, d'une façon plus ou moins certaine, l'emploi irrégulier d'allumettes.

Ce sont ces trois accidents que nous avons portés sous la rubrique « causes indéterminées ».

Accidents survenus dans des exploitations minérales autres que les mines de combustibles.

Nous rapprocherons des accidents de grisou et accidents similaires survenus dans les mines de combustibles quelques accidents analogues survenus au cours de la même période (1891-1897), dans les autres exploitations minérales.

Ce sont les accidents résultant soit d'inflammations de gaz, soit de viciations de l'atmosphère.

A. INFLAMMATIONS DE GAZ. — Nous mentionnerons d'abord les deux flambées de grisou survenues à la mine de plomb argentifère de Pontpéan, que nous avons portées dans les tableaux.

Nous en rapprocherons les trois suivantes :

Le 10 septembre 1894, une explosion de gaz combustibles (gaz des marais), provoquée par des lampes à feu nu brûlait cinq ouvriers (dont un mortellement et trois grièvement), dans une argilière souterraine, à Malakoff (Seine) (*).

Le 28 avril 1891, un ouvrier, en pénétrant dans une galerie d'une carrière souterraine d'argile à Bollène (Vaucluse), enflammait un peu de gaz combustible accumulé au toit de la galerie et subissait des brûlures insignifiantes.

Le 21 décembre 1893, un chef de chantier et un ouvrier étaient grièvement blessés par une flambée de gaz dans une autre carrière souterraine, à Bollène ; des dégagements

(*) M. l'Ingénieur en Chef des mines Humbert a rendu compte de cet accident, dans une note insérée aux *Annales* (9^e série, t. VIII, p. 19).

gagements de gaz combustibles avaient déjà été fréquemment observés dans cette carrière, et l'emploi de lampes de sûreté y avait été prescrit. L'accident s'est produit au moment où, après trois jours de chômage, le chef de chantier et deux ouvriers pénétraient dans une galerie en cul-de-sac légèrement montante avec une lampe de sûreté sans treillis ; à la suite de l'accident, la proscription de galeries en remonte a été renouvelée (*).

B. ASPHYXIE. — Les cas d'asphyxie dans les différentes exploitations minérales sont assez fréquents ; ils ne se rapportent d'ailleurs que de fort loin à notre sujet.

Nous en mentionnerons cependant un qui a été particulièrement grave.

Le 23 mars 1894, aux recherches de pétrole d'Aïn-Zeft (Algérie), trois hommes ont été asphyxiés dans une galerie de reconnaissance par un gaz qui était très probablement de l'acide carbonique amené par une venue d'eau consécutive au tirage de deux coups de mine.

Nous avons fait précéder les tableaux détaillés, d'une part, d'un relevé des accidents par année et, d'autre part, d'un tableau indiquant l'importance des accidents dus au grisou par rapport au total du personnel employé et en comparaison des autres causes d'accidents dans l'exploitation des houillères. Ces deux tableaux résumés sont identiques aux tableaux résumés n^{os} 3 et 4 publiés par M. l'Ingénieur en chef des Mines Lallemand (*Annales des Mines*, 8^e série, t. X, p. 521 et suiv.). Afin d'y donner des chiffres comparables à ceux de ces tableaux (du moins à partir de 1876), nous n'avons fait figurer dans ces tableaux résumés que les accidents ayant occasionné des morts ou des

(*) M. l'Ingénieur en chef des mines Oppermann a rendu compte, avec détails, de ces deux accidents dans les *Annales des Mines* (9^e série, t. VIII, p. 5 et suiv.).

blessures entraînant une incapacité de travail de plus de vingt jours.

Le premier d'entre eux fait connaître qu'au cours des sept années 1891 à 1897 il y a eu 84 morts et 59 blessés par suite d'accidents de grisou, soit une moyenne de 12 morts et 8,4 blessés par an, alors que, de 1876 à 1884 (années pour lesquelles les chiffres de M. Lallemand sont comparables aux nôtres), ces moyennes avaient été de 42,1 morts et 24,8 blessés. Si l'on compare le nombre des morts à ceux des années antérieures à 1876, on voit qu'il faut remonter avant l'année 1850 pour trouver des périodes aussi longues, où la moyenne du nombre des tués ait été moindre que celle des sept dernières années, et, à cette époque, la production houillère de la France était à peu près le septième de ce qu'elle est aujourd'hui.

Il ressort, d'ailleurs, du second tableau que le nombre des morts dues au grisou n'a été, pour l'ensemble des années 1891 à 1897, que de 0,43 par million de tonnes extraites, et de 0,88 en moyenne par 10.000 ouvriers et par an, chiffres très inférieurs à ceux de toutes les périodes décennales antérieures, et qui s'abaissent même à 0,41 et 0,23 si l'on écarte l'année 1891; on remarquera, en outre, que dans les trois années successives 1892, 1893 et 1894, les accidents de grisou n'ont pas occasionné la mort d'un seul ouvrier, fait qui ne s'était produit au cours d'aucune des soixante dernières années.

Ces heureux résultats doivent être attribués, comme l'indiquait la Commission de Statistique de l'industrie minière, dans un rapport au Ministre des Travaux publics en 1893, « au redoublement de précautions prises dans les mines grisouteuses, et en particulier à l'amélioration croissante de l'aérage, à l'emploi des explosifs de sûreté et à la surveillance de plus en plus étroite du grisou. »

TABLEAU CHRONOLOGIQUE DES ACCIDENTS DE GRISOU AVEC LE NOMBRE DES VICTIMES FAITES PAR CHACUN D'EUX.

DATES des accidents		NUMÉROS d'ordre des accidents	CONCESSIONS	BASSINS	NOMBRE de victimes	
Mois	Jour				tués	blessés
Année 1891.						
Mars.	3	33	Robiac et Meyrannes.	Alais.	2	2
Avril.	4	22	La Béraudière.	Saint-Etienne.	»	1
Août.	7	44	Lavernhe.	Aubin.	1	1
Septembre.	14	12	Dourges.	Valenciennes.	»	1
Octobre.	10	15	Lens.	id.	»	1
id.	19	7	Bully-Grenay.	id.	»	2
id.	30	11	Carvin.	id.	»	1
Novembre.	2	34	Robiac et Meyrannes.	Alais.	»	1
Décembre.	6	28	Le Treuil.	Saint-Etienne.	62	10
Année 1892.						
Avril.	12	29	Bianzy.	Blanzy.	»	1
Juin.	18	25	Montrambert.	Saint-Etienne.	»	1
Juillet.	11	47	Faymoreau.	Vouvant et Chantonnay.	»	1
Octobre.	24	41	Bouquiés.	Aubin.	»	1
Année 1893.						
Mars.	13	51	Pontpéan.	»	»	1
Novembre.	15	4	Vicoigne.	Valenciennes.	»	1
Année 1894.						
Février.	4	42	Bouquiés.	Aubin.	»	1
id.	24	39	Trélys et Palmesalade.	Alais.	»	1
Juin.	15	52	Pontpéan.	id.	»	1
Août.	9	1	Aniche.	Valenciennes.	»	2
Septembre.	24	24	Comberigol.	Saint-Etienne.	»	3
Année 1895.						
Février.	5	31	Cessous et Comberedonde.	Alais.	2	»
id.	25	50	Gardanne.	Faveau.	1	3
Avril.	23	13	Drocourt.	Valenciennes.	»	3
Juillet.	9	32	Grand'Combe.	Alais.	1	»
Octobre.	11	2	Anzin.	Valenciennes.	»	1
id.	14	35	Robiac et Meyrannes.	Alais.	»	1
Novembre.	25	19	Nœux.	Valenciennes.	1	1
id.	28	49	Montrelais.	Basse-Loire.	1	»
Décembre.	12	8	Bully-Grenay.	Valenciennes.	»	1
id.	26	16	Lens.	id.	»	2
Année 1896.						
Février.	26	45	Recherches de la Bouble.	Saint-Eloy.	4	»
Avril.	4	6	Bruay.	Valenciennes.	»	1
Mai.	6	5	Vicoigne.	id.	1	»
Juin.	27	48	Faymoreau.	Vouvant et Chantonnay.	»	2
Août.	14	36	Robiac et Meyrannes.	Alais.	1	»
id.	17	3	Anzin.	Valenciennes.	1	»
id.	27	9	Bully-Grenay.	id.	»	1
Année 1897.						
Janvier.	21	46	Chanteloube.	Briçon.	»	1
Février.	27	20	Nœux.	Valenciennes.	»	1
Mars.	5	14	Drocourt.	id.	1	1
id.	15	38	Salles-de-Gagnières.	Alais.	»	1
id.	27	37	Robiac et Meyrannes.	id.	»	1
Avril.	6	30	Bianzy.	Blanzy.	4	1
Juin.	16	10	Bully-Grenay.	Valenciennes.	»	1
Juillet.	26	40	Trélys et Palmesalade.	Alais.	1	1
Septembre.	30	43	Lacaze et Lassalle.	Aubin.	»	1

TABLEAU CHRONOLOGIQUE DONNANT POUR CHAQUE ANNÉE.

1° Le nombre de mines de houille exploitées, leur production totale, le nombre des ouvriers employés au fond à la surface; — 2° le nombre des accidents de toute nature survenus dans ces mines, le nombre des tués et des blessés; — 3° le nombre des mines où des explosions de grisou ont eu lieu, le nombre de ces accidents et le nombre des victimes (tués ou blessés).

Nombre annuel des mines de houille exploitées.
Production. — Personnel. — Accidents. — Victimes.

ANNÉES	MINES DE HOUILLE exploitées					ACCIDENTS de toute nature				ACCIDENTS DE GRISOU						
	Nombre	Production en millions de tonnes	Ouvriers			Nombre	Victimes			Nombre de mines intéressées	Nombre d'accid.			Victimes		
			au fond	au jour	Total		Tués	Blessés	Total		Mortels	Non mortels	Total	Tués	Blessés	Total
1891	289	26	94	38	132	812	220	718	938	8	3	6	9	65	20	85
1892	298	26	95	38	133	894	128	826	953	4	0	4	4	0	4	8
1893	298	26	94	39	133	874	124	785	909	2	0	2	2	0	2	4
1894	312	27	96	38	134	840	114	866	980	5	0	5	5	0	5	9
1895	301	28	97	40	137	981	164	901	1.065	10	5	5	10	6	12	18
1896	294	29	99	40	139	962	182	833	1.015	7	4	3	7	7	4	11
1897	287	31	102	42	144	1.207	153	1.100	1.253	9	3	6	9	6	9	15

TABLEAUX DÉTAILLÉS
DES ACCIDENTS DE GRISOU
de 1891 à 1897

MINES DE COUILLE

BASSIN DE VALENCIENNES. — DÉPARTEMENT DU NORD.

1. — Concession de la Niche.
(Instituée par décret impérial an IV.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS SURVIVANTS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	9 août 1894.	Fosse l'Arche- vêque.	»	2 brûlés très légère- ment.	2.615	823.623 tonnes.	Légère accu- mulation de gaz au ciel d'une ga- lerie en cul-de- sac au voisinage du franchisse- ment d'un crain.	Lampe à feu nu portée au chapeau	»	L'étrage général de la fosse était satisfaisant et le grisou à peu près inconnu; à la suite de l'accident, les recherches de grisou à la lampe Chesneau n'en ont décelé nulle part. L'accident s'est produit dans une voie de reconnaissance de 38 mètres poussée de 25 mètres sans retour d'air. La flambee a été si restreinte que deux ouvriers qui suivaient de près les deux victimes n'ont pas été atteints et que celles-ci ont pu reprendre leur travail dès le lendemain. Les résultats de l'exploration dans la veine où a eu lieu l'accident (veine Rigolette, étage de 400 mètres) ayant été jusque-là peu satisfaisants, ces travaux ont été abandonnés.
2. — Concession de la Niche. (Instituée par décret impérial an VII.)										
2	11 oct. 1895.	Fosse Saint- Marck.	»	1 brûlé légère- ment.	5.115	1.595.529 tonnes.	»	Allumage d'un coup de mine avec le briquet et l'a- madou.	»	L'étrage général de la fosse était satisfaisant; le retour d'air ne contenait généralement pas trace de grisou. La fosse n'était pas classée grisoueuse; mais un peu de grisou s'était manifesté dans trois des galeries exploitées. La plupart des précautions en usage dans les fosses grisouuses étaient observées; on employait, en particulier, que des lampes de sûreté. Le chantier avait été exploré à la lampe Marsaut, mais avant le bourrage du coup de mine, c'est-à-dire environ six minutes avant l'allumage et non immédiatement avant, comme le prescrivait le règlement. Le grisou n'avait pas été constaté jusque-là dans la veine où s'est produite la flambee. À la suite de celle-ci, toutes les règles relatives aux fosses grisouuses ont été appliquées par les exploitants à la fosse Saint-Marck.
3	17 août 1896.	Fosse Hérin.	1 asphyxié	»	5.235	1.632.454 tonnes.	Eboulement ayant obstrué le chemin suivi par le courant d'air.	»	Imprudence de la victime	L'étrage général de la fosse était satisfaisant et n'a été troublé que momentanément par un éboulement fortuit. Deux ouvriers lampistes ayant constaté la présence du grisou par l'extinction d'une de leurs lampes (lampe Marsaut) en pénétrant, après deux jours de chômage, dans la voie de la troisième taille, l'un d'eux s'était levé pour ouvrir une porte d'aérage dans le but de chasser le grisou; il avait laissé son aide dans cette voie avec ordre de l'y attendre. Cet aide a été retrouvé asphyxié dans une cheminée servant de communication entre la troisième et la quatrième taille; la voie de cette dernière était complètement obstruée par un éboulement qui s'était produit pendant le chômage. La victime aura sans doute voulu aller reconnaître l'obstacle s'opposant au passage du courant d'air.

BASSIN DE VALENCIENNES — DÉPARTEMENT DU NORD.

3. — Concession de Vicoigne.
(Instituée par décret du 27 septembre 1841.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	15 nov. 1893.	Fosse n° 4	»	1 légère- ment brûlé.	354	114.550 tonnes.	Obstruction partielle du cou- rant d'air.	Lampe Bo- ty dont le ta- mis présentait une déchirure de un centi- mètre carré.	Impruden- ce	L'aérage général était satisfaisant et les dégagements de grisou faibles. L'accident s'est produit au moment où l'ouvrier, porteur d'une lampe en mauvais état, débouchait d'un montage dans la taille à laquelle il aboutissait; des planches disposées entre le mur et le toit pour empêcher le charbon de tomber et de se mélanger avec les remblais contraignaient l'aérage en ce point et y avaient permis l'accumulation d'un peu de grisou. A la suite de cet accident, la fosse a été classée grisouteuse.
5	6 mai 1896.	Fosse n° 1.	1 asphyxié	»	416	134.271 tonnes.	Accumulation de gaz dans une remonte en cul- de-sac qui avait été abandonnée et interdite.	»	Impruden- ce de la vic- time	L'accident s'est produit dans un montage en cul-de-sac, qui avait été entrepris pour rejoindre un niveau supérieur et améliorer l'aérage. Des instructions avaient été données aux porions et aux boute-feu en vue d'une surveillance constante de l'état de l'atmosphère. Le grisou s'étant manifesté en proportion sensible, le chantier avait été évacué, et les mesures prises pour en améliorer l'aérage étant restées vaines, il avait été interdit. Malgré cela, un ouvrier avait envoyé son fils y chercher un outil oublié; celui-ci ne revenant pas, le père s'était porté à son secours et était tombé à son tour. Le fils a pu être retiré immédiatement et rappelé à la vie. Le père n'a pu être retrouvé qu'après assainissement de l'atmosphère et était mort. A la suite de l'accident, les exploitants ont été invités à modifier partiellement l'organisation de l'aérage, et à être plus soigneusement actif en raison de la grande dissémination des chantiers.

BASSIN DE VALENCIENNES — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

1. — Concession de Bruay.
(Instituée par décret du 27 septembre 1855.)

6	4 avril 1896.	Fosse n° 4.	»	1 légère- ment brûlé.	3.774	1.292.813 tonnes.	Cloche.	Lampe à feu nu.	»	L'aérage général était bon, le grisou n'avait jamais été signalé dans la couche où s'est produit l'accident. Le gaz contenu, en petite quantité, dans une cloche, a été allumé par la lampe à feu nu d'un mineur, qui a été légèrement brûlé; l'incapacité de travail n'a été que de dix jours.
---	------------------	----------------	---	--------------------------------	-------	----------------------	---------	--------------------	---	--

2. — Concession de Bully-Grenay.
(Instituée par décrets des 15 janvier 1853 et 21 juin 1877.)

7	19 oct. 1891.	Fosse n° 3.	»	2 brûlés légère- ment.	3.555	1.049.176 tonnes.	Cloche dans la- quelle on n'avait pas pris soin de diriger le courant d'air.	Lampe à feu au portée au chapeau.	»	L'aérage général de la fosse était suffisant pour une mine non grisouteuse; l'accident a été la première manifestation de grisou signalée à cette fosse. Il s'est produit, au moment où les ouvriers, travaillant à l'amorce d'une taille chassante, arrivaient au chantier; le premier d'entre eux a enflammé avec sa lampe à feu nu un peu de grisou accumulé dans la cloche formée par cette amorce. A la suite de l'accident, le quartier où il s'était produit a été considéré comme grisouteux.
---	------------------	----------------	---	---------------------------------	-------	----------------------	--	---	---	---

BASSIN DE VALENCIENNES

2. — Concessions
(Instituée par décrets des 15

DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

Bully-Grenay.
(Instituée par décrets des 15

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS	
			tués	blessés		ouvriers au fond	Causes directes			Causes indirectes
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	12 déc. 1895.	Fosse n° 3.	»	1	3.480	1.012.715 tonnes.	Montage ayant rencontré un acci- dent en gradins : le gaz, provenant sans doute d'une couche inférieure, se dégageait par une cassure.	Lampe à feu nu portée au chapeau.	»	L'aérage général était satisfaisant et, à part le quartier sud de la fosse séparé des autres par un accident et classé comme grisouteux, le grisou n'avait été signalé à la fosse n° 3 que par l'accident ci-dessus. Le 19 octobre 1891, à la suite duquel le groupe des tailles où il s'était produit avait été abandonné et arrêté; au cours de l'enquête, le grisou n'a été constaté qu'en faible proportion au front de taille même où il produisit la flambée. Le front de taille était à la partie supérieure d'un montage en ferme de 12 mètres, aéré pendant le travail par un ventilateur à bras. La victime était un boiseur qui y a pénétré de nuit, alors que le travail était interrompu, pour y aller chercher des bois. A la suite de l'accident, la fosse a été classée grisouteuse.
9	27 août 1896.	Fosse n° 8.	»	1 brûlé légère- ment.	3.979	1.225.052 tonnes.	Accumulation en couronne au point haut du chantier; le gaz s'était sans doute accumulé les jours précédents dans les remblais par suite d'un ralentissement de l'aérage.	Allumage d'un coup de mine avec de l'amadou.	»	La fosse était encore dans la période de préparation, elle n'avait qu'une communication avec le jour; le front d'air se faisait par un goyau avec un ventilateur. L'accident s'est produit à la suite d'un arrêt du ventilateur, dans la nuit du 22 au 23 août, par suite du montage de l'arbre, suivi d'un ralentissement du ventilateur jusqu'au 24 au matin. A la suite de cela, le grisou avait envahi quelques travaux et s'était sans doute accumulé dans les remblais. Le 27, au matin, en allumant un coup de mine, après que le boute-feu avait, dit-il, vérifié l'absence de grisou, un ouvrier a été légèrement brûlé (incapacité de travail de quinze jours), et son voisin a subi des brûlures insignifiantes. Mais le gaz a continué à se dégager et à flamber, si bien qu'on n'a pu l'éteindre directement; on a dû construire un barrage; une tentative de retour quelques heures après a été infructueuse, et le chantier, momentanément barré, n'a pu être repris que vingt jours après. A la suite de l'accident, les exploitants ont décidé l'établissement d'une deuxième communication avec le jour et l'installation d'un deuxième ventilateur.
10	16 juin 1897.	Fosse n° 3.	»	1 brûlé légère- ment.	4.216	1.340.323 tonnes.	Arrêt fortuit de l'aérage dans un montage.	Lampe Boty.	»	La fosse était très peu grisouteuse et son aérage général bon. L'accident a eu lieu dans un montage de reconnaissance aéré par l'air comprimé. Un éboulement venait de faire tomber la conduite d'air comprimé et d'interrompre ainsi l'aérage du montage. L'inflammation s'est produite au moment où les ouvriers revenaient au chantier, abandonné pendant une durée de quatre heures. Un seul ouvrier a été brûlé, et l'incapacité de travail n'a été que de trois jours. A la suite de l'accident, les lampes Boty ont été remplacées dans la fosse peu grisouteuse de la concession par des lampes d'un des types réglementaires.
3. — Concessions (Instituée par décret du 15 décembre 1860.)										
11	30 oct. 1891.	Fosse n° 3.	»	1 brûlé légère- ment.	840	167.446	Accumulation de gaz dans une cheminée obs- truite par le char- bon abattu.	Lampe à feu nu portée au chapeau.	»	L'aérage général était suffisant et le grisou très peu abondant; au cours de l'enquête, il n'en a pas été constaté trace. Le grisou n'avait jamais été signalé dans la veine en question (veine n° 2). L'accident s'est produit dans une cheminée des tailles montantes de la veine n° 2. Cette cheminée se trouvait obstruée par suite de l'accumulation du charbon abattu, retenu par des étaçons placés en travers de la cheminée. Le grisou s'était sans doute dégagé, en quantité d'ailleurs minime, par quelques fissures existant au toit; la flambée a été de très faible importance, et la victime n'a subi qu'une incapacité de travail de trois jours. Le quartier de la veine n° 2, qui a été le théâtre de l'accident, a été abandonné, et la région correspondante de la fosse (où s'était déjà produite une flambée) a été classée grisouteuse.

BASSIN DE VALENCIENNES

4. — Concess.
(Instituée par décret

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS	
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes		
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
12	14 sept. 1891.	Fosse n° 3.	»	1 brûlé griève- ment.	2.353	538.970 tonnes.	Dégagement fortuit de grisou à la suite du tirage de deux coups de mine, et accumulation dans un montage.	Lampe à feu nu portée au chapeau.			L'aérage n'était pas partout ascensionnel. Le grisou ne s'était jamais manifesté dans la veine. L'accident s'est produit dans un montage en cul-de-sac destiné à servir de passage au courant d'air, à l'aplomb d'une cheminée voisine. La victime revenait au chantier, abandonné depuis la veille immédiatement après le tirage de deux coups de mine; l'inflammation s'est produite au moment où sa lampe a dépassé le tas de charbon abattu. A la suite de l'accident, les ouvriers du quartier ont été munis de lampes de sûreté, et les conditions de travaux ont été modifiées de manière à le rendre régulièrement ascensionnel.
5. — Concess. (Instituée par décret											
13	23 avril 1895.	Fosse n° 1.	»	3	1.982	524.170 tonnes.	Dégagement local dû à des fissures du toit mises à nu par un léger éboule- ment.	Allumage d'un coup de mine.	Imprudence inobservance des prescrip- tions.		L'aérage général était un peu insuffisant en raison de l'exploitation très active de la veine n° 2 dans laquelle s'est produit l'accident et où les dégagements de grisou étaient sensibles. L'accident s'est produit dans le creusement de la voie supérieure d'une taille, alors que l'on entaillait le toit d'une fois le trou de mine foré, le mineur constata la présence de grisou au toit et la signala au voisin, mais en insistant pour qu'il allumât tout de même la mine; celui-ci y consentit après s'être contenté seulement de chasser le grisou avec sa barrette. L'inflammation s'est produite pendant la combus- tion de la mèche, alors que les ouvriers se retiraient. A la suite de l'accident, l'activité de l'exploitation a été réduite.
14	5 mars 1897.	Fosse n° 1.	1	1 brûlé griève- ment.	2.273	598.710 tonnes.	Accumulation de gaz à la partie supérieure d'un montage.	Lampe Mue- seler dont le verre présen- tait une légère cassure dissim- ulée par le rebord du tam- is.			L'aérage général du quartier était en rabat-vent, et était peu intense en raison de l'activité de l'exploita- tion. Le chantier avait été inspecté le 4, à onze heures du soir, sans rien déceler d'anormal; à la tournée suivante du matin, le 5, à deux heures du matin, il n'avait pas été inspecté. L'accident s'est produit le 5, à six heures du matin, à la reprise du travail. Le chantier était au haut d'un montage destiné à réaliser une communication d'aérage; il était aéré normalement pendant les heures de travail, à l'aide d'un ventilateur à bras avec colonne d'aérage. L'explosion paraît avoir été occasionnée par la mise en marche du ventilateur, alors que l'ouvrier porteur de la lampe défectueuse était déjà au chantier depuis un moment.
6. — Concess. (Instituée par décret											
15	10 oct. 1891.	Fosse n° 9.	»	1 brûlé légère- ment.	5.110	1.724.667 tonnes.	Montage en cul- de-sac débou- chant dans une voie de fond au droit d'une faille par où le grisou s'est sans doute dégagé.	Lampe à feu nu portée au chapeau.			Aérage général suffisant; le grisou n'avait jamais été constaté dans le quartier. L'accident s'est produit dans un montage en exécution dans la veine Alfred au moment où la victime. arrivait au travail, y pénétrait pour se rendre compte de la quantité de charbon abattue au poste pré- cédent. A la suite de l'accident, les mesures en usage dans les fosses grisouteuses ont été appliquées au quartier où il s'était produit, et l'aérage général de la fosse a été rendu plus actif.

— DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

Dourges.
5 août 1852.)Drocourt.
(juillet 1878.)Lens.
(janvier 1853.)

BASSIN DE VALENCIENNES. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

6. — Concession de Lens.
(Instituée par décret du 15 janvier 1853.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		PRO- DUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS	
			tués	blessés		Causes directes		Causes indirectes		
						de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
16	25 déc. 1895.	Fosse n° 2.	»	2	7.170	2.364.711 tonnes.	Accumulation de grisou au point haut d'une faille au voisinage d'une faille.	Lampe de sûreté sans flam- me et dont le verre était cassé.	Impureté de l'une des lignes qui s'est pas formée au moment.	11 L'aérage général de la fosse était excellent; le grisou n'avait été constaté, en faible quantité d'ailleurs, que dans un seul quartier, au voisinage d'une faille. Les précautions nécessaires avaient été prises pour l'aérage de ce quartier, et l'emploi des lampes à feu nu y avait été complètement pros crit. L'accident a été occasionné par l'imprudence d'un délégué mineur qui, descendu avec une lampe à feu nu, l'échangea pour pénétrer dans le quartier grisouteux contre une lampe de sûreté hors d'usage, servant de lanterne dans une écurie. En arrivant au chantier où un peu de grisou se manifestait en couronne, malgré l'emploi d'une couverture qui dirigeait le courant d'air vers le haut du chantier, il voulut le rechercher avec sa lampe et produisit une légère flambée, qui le brûla, ainsi qu'un des ouvriers du chantier.
7. — Concession de Nœux. (Instituée par décrets des 15 janvier 1853 et 30 décembre 1857.)										
17	1 ^{er} mars 1895.	Fosse n° 5.	»	1 brûlé légère- ment.	3.377	1.082.694 tonnes.	Voisinage de la grande faille de Bruay, accu- mulation dans une cloche.	Lampe à feu nu.		L'aérage général suffisant. Le quartier n'était pas considéré comme grisouteux; le grisou ne s'y était manifesté qu'une seule fois par une petite flambée consécutive au tirage d'une volée de coups de mine dans le percement de la bowette où s'est produit le nouvel accident. La flambée a eu lieu dans une cloche formée par un léger éboulement qui s'était produit en avant de la paroi murillée de la bowette. L'inflammation a été occasionnée par l'inspection qu'en faisait à la lampe à feu nu le boiseur qui devait la garnir. La bowette venait de rencontrer la grande faille de Bruay; la cloche s'était formée dans une partie failleuse, au voisinage d'une boule de charbon. Les lampes de sûreté adoptées à la suite de la flambée précédente, puis supprimées, parce que l'on n'avait plus jamais constaté de grisou, ont été prescrites à nouveau pour tous les travaux se dirigeant vers des régions mal connues.
18	9 août 1895.	Fosse n° 5.	»	1 brûlé légère- ment.	3.377	1.082.694 tonnes.	Cloche au voi- sinage d'une irrè- gularité du gise- ment.	Ouverture de la lampe de sûreté, pro- duite, au dire de l'ouvrier, par le bris du verre.		L'aérage général bon. L'accident s'est produit dans une cloche de 1 ^m .20 de hauteur, formée au toit de la galerie supérieure d'une taille en dressant, au moment où la victime entreprenait la pose d'un cadre de boisage. Quelques heures auparavant, le porion y avait constaté la présence d'un peu de grisou et avait donné au boiseur des instructions, afin qu'il dispose des toiles pour diriger le courant d'air dans la cloche. Une fois ce travail achevé, mais d'une façon maladroite, il avait entrepris le boisage. Ses déclarations, au sujet du bris du verre de sa lampe de sûreté, ont paru assez suspectes. A la suite de l'accident, de nouvelles instructions ont été données au personnel pour dissiper tout amas accidentel de grisou.
19	25 nov. 1895.	Fosse n° 5.	1	1	3.377	1.082.694 tonnes.	Montage de 11 mètres de long.	Lampe à feu nu portée au chapeau.		L'aérage général suffisant. Les travaux poussés à partir de la fosse n° 5 étaient parvenus, après avoir traversé la grande faille de Bruay, dans le voisinage de la fosse n° 7. Le charbon rencontré était d'une nature très différente de celui de la fosse n° 5, non grisouteuse. Les lampes de sûreté prescrites à la suite d'un précédent accident avaient été inconsidérément supprimées parce qu'on n'avait plus trouvé de grisou. L'accident s'est produit au moment où les ouvriers revenaient, le lundi matin, dans un montage de 11 mètres de long, abandonné le samedi soir après avoir fait partir deux coups de mine au charbon sans combiner les effets produits. A la suite de l'accident, les travaux de la fosse n° 7 et les quartiers Sud et Sud-Est de la fosse n° 5 ont été classés grisouteux.

BASSIN DE VALENCIENNES.

7. — Concession

(Instituée par décrets des 15 jan

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	27 fév. 1897.	Fosse n° 4.	»	1 brûlé légère- ment.	3.527	1.222.627 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Négligence l'ouvrier chargé d'inspecter chantiers.	

BASSIN DU BOULONNAIS.

1. — Concession

(Instituée par décret

21	31 janvier 1894.	»	»	1	52	1.375 tonnes.	Montage en cul-de-sac se di- rigeant vers de vieux travaux renfermant du grisou.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime.	
----	------------------------	---	---	---	----	------------------	---	--------------------	------------------------------	--

BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE.

1. — Concession

(Instituée par décret

22	4 avril 1891.	Puits Dyèvres.	»	1 légère- ment brûlé.	993	345.164 tonnes.	»	Incertaine. — Projection de flamme par le bout allumé de la mèche d'un coup de mine (au dire de l'ouvrier).	Inobservance du règlement mines à grisou.	
----	------------------	-------------------	---	--------------------------------	-----	--------------------	---	--	---	--

B. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

de Nœux.

(Instituée par décrets des 15 jan

OBSERVATIONS									
11									
L'aérage général de la fosse était satisfaisant. Le grisou n'y avait jamais été signalé; cependant, dans les travaux où s'est produit l'accident et qui comprenaient trois descendries s'avancant vers une région connue, voisine de la fosse n° 5 légèrement grisouteuse, on prenait la précaution de faire visiter les chantiers à la lampe de sûreté avant l'arrivée des ouvriers, et les ouvriers qui travaillaient à l'avancement étaient munis de lampes de sûreté.									
L'accident s'est produit dans un montage en cul-de-sac dépendant de ces travaux; il n'avait pas été inspecté par l'ouvrier qui en était chargé; un mineur pénétrant au début du poste de jour avec sa lampe à feu nu a été légèrement brûlé. Après l'accident, on n'a plus trouvé trace de grisou.									
Le quartier a été classé grisouteux à la suite de l'accident.									

DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

d'Hardinghen.

(Instituée par décret

La mine non grisouteuse; cependant on avait constaté des traces de grisou dans une bowette de recherches s'ouvrant vers de vieux travaux renfermant du grisou qui se dégagait par les fissures du terrain; on n'employait que des lampes de sûreté dans les travaux de cette bowette.									
L'accident a été dû à l'imprudence de la victime qui, après avoir échangé à la recette sa lampe de sûreté contre une lampe à feu nu, est revenue explorer la bowette de recherches.									
À la suite de l'accident, des mesures de surveillance très soigneuses ont été prescrites au point de vue du grisou, afin d'employer les lampes de sûreté partout où l'on en trouverait trace.									

DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

de la Béraudière.

(Instituée par décret

L'aérage de la mine était purement naturel et, par suite, pas très énergique. La répartition du courant d'air était bien faite.									
L'accident s'est produit dans un traçage en cul-de-sac auquel l'air frais était envoyé par un ventilateur à bras. L'allumage du coup de mine a été fait (peut-être bien avec une allumette) par un ouvrier qui n'a pris aucune précaution, au lieu d'être fait, suivant le règlement, par un boute-feu, après s'être assuré que le chantier ne contenait pas de grisou.									
Les exploitants étaient en train d'installer un ventilateur Rateau pour améliorer l'aérage général.									

BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE

1. — Concession
(Instituée par décret

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
23	18 nov. 1893.	Puits Ferrouil- lat.	"	1 légère- ment brûlé.	850	304.223 tonnes.	Dégagement imprévu de grisou au voisinage d'une faille dans une taille en cul- de-sac et légèrem- ent montante.	Lampe à feu nu.	Inobserva- tion des précau- tions prescrites.	
2. — Concession (Instituée par décret										
24	24 sept. 1894.	Puits Saint- Claude.	"	3 dont un légère- ment brûlé et deux con- tusionnés en cher- chant à fuir.	165	42.757 tonnes.	Dégagement fortuit dû, sans doute, au voi- sinage d'un resser- rement de la couche; accumu- lation dans une remontée en cul- de-sac.	Lampe à feu nu.	"	
3. — Concession (Instituée par décret										
25	18 juin 1892.	Puits Devil- laine.	"	1 légère- ment brûlé.	890	307.916 tonnes.	Cloche au toit d'un travers- bancs traversant des schistes noirs brouillés.	Lampe à feu nu.	"	
26	27 janv. 1893.	Puits Marseille	"	1 légère- ment brûlé.	852	308.777 tonnes.	Cloche en plein charbon.	Lampe à feu nu.	"	

— DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

de la Béraudière.
(Instituée par décret
du 11 novembre 1824.)

OBSERVATIONS	
11	
<p>Le grisou n'avait jamais été constaté dans la couche, et l'on travaillait à feu nu; mais il était prescrit de visiter à la lampe de sûreté les chantiers en cul-de-sac, avant chaque reprise de travail. L'accident s'est produit au moment où les ouvriers revenaient au chantier dans la soirée, après y avoir travaillé la matinée et sans l'avoir visité à nouveau à la lampe de sûreté.</p> <p>Le dégagement de grisou qui s'est produit était si sensible qu'au moment de l'enquête, malgré une ventilation spéciale, le grisou marquait à la lampe.</p> <p>A la suite de l'accident, les mesures relatives aux mines grisouteuses ont été prescrites dans le quartier intéressé, et l'aérage de ce quartier a été amélioré.</p>	
2	
<p>de Comberigol. (Instituée par décret du 10 octobre 1856.)</p> <p>La mine était considérée comme non grisouteuse, et aucun indice n'avait annoncé la présence du grisou.</p> <p>L'accident s'est produit dans une remontée en cul-de-sac, traversant un resserrement de la couche. Les ouvriers arrivaient au chantier pour remplacer ceux du poste précédent, qui l'avaient quitté vingt-cinq minutes auparavant.</p> <p>A la suite de l'accident, la mine a été classée grisouteuse.</p>	
3	
<p>de Montrambert. (Instituée par décret du 11 novembre 1824.)</p> <p>L'aérage général satisfaisant. Grisou très rare.</p> <p>L'accident s'est produit au cours du muraillement d'un travers-bancs par un maçon; une cloche s'était formée dans la partie non encore muraillee. L'ouvrier avait exploré le toit de la galerie et la base de la couche avec une lampe de sûreté sans rien constater, puis il avait pris une lampe à feu nu pour mieux examiner le sommet de la cloche. Il a ainsi enflammé une petite quantité de grisou et subi de légères brûlures.</p> <p>A la suite de l'accident, des précautions spéciales ont été prises pour l'aérage du travers-bancs. On a aussi d'ailleurs en train de modifier l'aérage général pour l'activer considérablement.</p>	
<p>L'aérage général était bon, et la couche avait été considérée jusque-là comme non grisouteuse. On y travaillait partout à feu nu.</p> <p>L'accident s'est produit dans un défilage en troisième tranche: une petite cloche s'était faite au toit par suite de la chute de charbon menu. Un boiseur, en allant la garnir, a produit l'inflammation du grisou et a été légèrement brûlé. Ultérieurement la cloche s'est de nouveau remplie de grisou.</p> <p>A la suite de l'accident, les lampes de sûreté ont été substituées aux lampes à feu nu.</p>	

BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE — DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

3. — Concession de Montrambert.
(Instituée par décret du 4 novembre 1824.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	16 nov. 1895.	Puits Devil- laine.	»	1 brûlé légère- ment.	854	291.058 tonnes.	Remontée insuffisamment aérée.	Lampe à feu nu élevée au toit de la galerie.	Inobserva- tion des précau- tions édictées.	L'aérage général était suffisant et le grisou très rare; cependant certaines précautions avaient été négligées pour les remontes en cul-de-sac. L'accident s'est produit dans le quartier Est de la planche de la troisième Brulante, dans une remontée aérée par une gaine formée de planches et dans laquelle l'air était dirigé à la base par une toile sans doute insuffisamment ajustée. A la suite de l'accident, l'emploi de la lampe Boty a été prescrit pour les travaux du quartier.

4. — Concession du Treuil.
(Instituée par ordonnance du 4 novembre 1824.)

28	6 déc. 1891.	Puits de la Manu- facture.	62	10	455	182.320 tonnes.	Grands vides laissés sans remblais dans une couche grisouteuse.	Incendie souterrain.	»	L'accident (*) a été provoqué par l'inflammation, au contact d'un incendie souterrain, d'un mélange explosif comprenant sans doute à la fois du grisou, resté emmagasiné dans de vieux travaux non remblayés, et des gaz de distillation provenant d'une région échauffée par un vieil incendie mal éteint. Ce mélange a été allumé sur les barrages d'un incendie souterrain actif par suite de la perturbation apportée dans l'aérage par l'arrêt du ventilateur dans la matinée qui a précédé l'accident. A la suite de l'accident, l'aérage et la méthode d'exploitation de la mine ont été profondément modifiés.
----	-----------------	-------------------------------------	----	----	-----	--------------------	--	-------------------------	---	---

BASSIN DE BLANZY — DÉPARTEMENT DE SAÔNE-ET-LOIRE.

1. — Concession de Blanzv.
(Instituée par décret du 19 mars 1769.)

29	12 av. 1892.	Puits Magny.	»	1 brûlé légère- ment.	3.749	1.183.091 tonnes.	Cloche en couronne dans une galerie.	Lampe à feu nu.	»	La couche n° 1 du puits Magny, où l'accident s'est produit, n'avait jamais, depuis cinquante ans, montré trace de grisou; mais on venait de commencer les travaux d'un nouvel étage en profondeur. L'aérage général était d'ailleurs suffisant; à l'enquête, on n'a trouvé de grisou qu'au point même de l'accident. La lambeée a eu lieu au cours du calage d'une cloche de 2 mètres de hauteur, ouverte par un éboulement au toit de la galerie principale de l'étage, au moment où un boiseur inspectait la partie supérieure de la cloche. En raison de cette première manifestation du grisou en s'approfondissant, et dans la crainte de la voir se renouveler en profondeur, les lampes de sûreté ont été prescrites pour les travaux du nouvel étage.
----	-----------------	-----------------	---	--------------------------------	-------	----------------------	---	--------------------	---	---

(*) Cette catastrophe a fait l'objet d'une note insérée dans les *Annales des Mines*, 9^e série. t. IV, p. 235.

BASSIN DE BLANZY. DÉPARTEMENT DE SAÛNE-ET-LOIRE.

1. — Concession de Blanzy.

(Instituée par décret du 17 mars 1769.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	6 avr. 1897.	Puits Sainte- Eugénie n° 1.	4	1	4.300	1.359.028	Dégagement de grisou local dans la colonne du puits par les fissures du muraillement, accumulation par suite de l'obstruction volontaire du courant d'air.	Ouverture de lampes de sûreté dans un poste de rallumage.	Imprudene	L'aérage général était suffisant; mais il pouvait être assuré au moyen de deux ventilateurs tirant sur des puits différents, et par suite le puits Sainte-Eugénie tantôt servait de puits d'entrée d'air et tantôt était resté au point de vue du courant d'air. Aussi ses abords pouvaient-ils être munis de portes interceptant le courant d'air. Au moment de l'accident, il servait depuis vingt jours à l'entrée d'air, et les portes qui avaient permis précédemment d'arrêter le courant d'air avaient été enlevées de leurs gonds, mais laissées à côté. On procédait à des travaux d'aménagement dans le puits et, à cet effet, on travaillait sur un plancher qui faisait obstacle au courant d'air, mais celui-ci avait été rétabli latéralement par un bure, de telle manière que l'air frais arrive au poste de rallumage situé au-dessous de ce plancher. L'enquête a établi d'une façon presque certaine que les ouvriers, gênés par l'air frais, avaient intercepté le courant d'air latéral (en remettant une porte sur ses gonds et en bouchant un tuyau d'aérage qui la traversait), ce qui a permis au grisou de s'accumuler dans l'atmosphère du poste de rallumage et de s'enflammer au contact des lampes qui y étaient ouvertes. En suite de l'accident, les exploitants ont renoncé au système d'aérage qui faisait jouer alternativement des puits différents au puits Sainte-Eugénie et ont diminué autant qu'ils l'ont pu le nombre des postes de rallumage et, d'une façon générale, toutes les chances d'inflammation du grisou pouvant résulter de l'emploi des explosifs, de foyers de réchauffage, etc., ou de la production d'étincelles électriques.
BASSIN D'ALAIS. DÉPARTEMENT DU GARD.										
1. — Concession de Comberedonde.										
(Instituée par décret du 30 août 1828.)										
31	5 fév. 1895.	"	2	"	340	74.517	Dégagement de grisou parti- culièrement actif au voisinage d'une faille, accumulation dans un montage resté non aéré pendant trois jours.	Allumettes allumées dans le but de rallumer une lampe qui s'était éteinte.	Imprudene	L'aérage général de la mine était bon, quoique descendant, et la teneur en grisou des retours d'air toujours très faible. L'accident s'est produit dans un montage qui était exécuté pour ouvrir une communication d'aérage entre deux niveaux voisins; il était aéré par un ventilateur à bras, parce que le mauvais air s'y était manifesté. Le travail avait été interrompu pendant trois jours, et la veille, le chef de chantier, après avoir constaté qu'une lampe s'éteignait au chantier, en avait barré l'entrée avec des planches. Une des victimes, y ayant pénétré malgré cela, a vu sa lampe s'y éteindre, est redescendue pour donner de l'air au moyen de quelques tours de ventilateur et, sans plus de précautions, est remontée essayer de rallumer sa lampe de sûreté avec une allumette, après l'avoir ouverte (fermeture à rivet de plomb), tandis qu'un autre ouvrier continuait à tourner le ventilateur. De nouvelles instructions ont été données à la suite de l'accident au sujet de la surveillance de la fermeture des lampes, en particulier aux postes de rallumage.

BASSIN D'ALAIN DEPARTMENT DU GARD.

2. — Concession Grand'Combe.

(Instituée par ordonnance du 17 mars 1782 et 7 mai 1817.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
32	9 juillet 1895.	Quartier du Pontil.	1 asphyxié	»	3.045	812.743 tonnes.	Dégagement subit de grisou accumulé dans une remontée en cul-de-sac.	»	Improbable de la part du chef de chantier.	11 L'aérage général était ordinairement suffisant. L'accident s'est produit après un chômage de deux jours. Le chef de poste venait de faire sa tournée et ne s'était pas fait annoncer. Deux ouvriers, en voulant gagner un chantier situé à l'extrémité d'une remontée en cul-de-sac constatarent en s'y engageant que le grisou marquait à la lampe; la remontée devait cepen- dant être parcourue par le courant d'air, guidé par un galandage qui partageait celle-ci en deux comparti- ments. Le chef de poste, prévenu par les ouvriers, revint au chantier avec eux; aux deux tiers de la montée, comme le grisou marquait de plus en plus, il continua à s'avancer seul; on cessa bientôt de l'entendre, et les appels qui lui étaient adressés restant sans réponse, les deux ouvriers voulurent se porter à son secours, mais furent arrêtés par l'atmosphère irrespirable. Lorsqu'on put pénétrer, après avoir aéré, le chef de chantier était mort, victime de sa témérité. Il est probable que le grisou s'était dégagé brusquement dans le montage et s'était accumulé à la partie supérieure pendant quelques minutes d'arrêt du ventilateur, puis réparti inégalement au sommet entre les deux compartiments, de telle manière que la différence de poids des deux colonnes de grisou ait compensé la pression destinée à produire le courant d'air au moment de la remise en marche du ventilateur arrêt du ventilateur pendant quelques minutes au cours de la nuit pour le graissage).

3. — Concession Brissac et Meyrannes.

(Instituée par décret du 10 novembre 1809.)

33	3 mars 1891.	Mine de Créal.	2 écrasés sous des blocs projetés.	2 contu- sionnés.	1.752	422.639 tonnes.	Dégagement instantané.	»	»	L'accident (*) s'est produit dans le grand travers-banc, dit galerie de Brissac, destiné à réunir les travers de la mine de Créal à ceux de la mine de Molières et à reconnaître la région qui les sépare. On était dans le charbon à 2.400 mètres du puits; l'aérage était assuré par une colonne de tuyaux qui, après les pertes, débitait au front de taille 337 litres d'air frais par minute. Les 13 et 16 février, on avait pu constater des dégagements instantanés considérables consécutifs au tirage de coup de mine. On avait par conséquent abandonné les explosifs pour ne plus faire l'abatage qu'au pic en faisant précéder le front de taille par un bras de sonde. Au moment où l'accident s'est produit, deux trous étaient forés à 3 mètres en avant du front, et l'on en avait un troisième, tandis que l'on commençait l'abatage au pic. Le grisou a fait irruption soudaine, proje- ctant des blocs et du menu. Un ouvrier a été écrasé par un bloc, un autre enfoui sous le menu et étouffé, le troisième serré entre un bloc et la paroi et un quatrième simplement projeté. Les deux premiers sont morts. Le courant d'air n'a pas été interrompu, et l'atmosphère du chantier est restée respirable. Le volume de grisou a été évalué à 400 mètres cubes. À la suite de l'accident, on a abandonné l'abatage au pic, qui exposait ainsi les ouvriers, pour revenir aux explosifs, mais avec des précautions nouvelles: proscription des coups de mine dans le charbon, usage des coups un à un avec des meches blanches et des allumettes de sûreté, ou tirage par volée à l'abri, en n'employant que des explosifs de sûreté; retraite des hommes pendant le tir dans un refuge à double porte s'ouvrant de dedans en dehors et aéré par une conduite spéciale d'air comprimé.
----	-----------------	-------------------	--	-------------------------	-------	--------------------	---------------------------	---	---	---

(*) M. l'Ingénieur en Chef des Mines Ichon et M. Lombard, Ingénieur à la C^e des Houillères de Bessèges (Annales, 9^e série, t. 1, p. 581).

L'industriel compte de cet accident dans une note consacrée à une série de dégagements instantanés de

BASSIN D'ALAIN

3. — Concession
(Instituée par

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
34	2 nov. 1891.	Mines de Molières.	»	1	1.752	422.639 tonnes.	Cloche insuffisamment aérée.	Allumage de la mèche d'un coup de mine sans doute avec une allumette.	Inobservance des prescrip- tions	11
35	14 oct. 1895.	Mine de Molières.	»	1	1.793	400.160 tonnes.	Cloche à proximité d'un dérangement de la couche.	Allumage d'une ciga- rette avec une allumette.	Improbable	
36	14 août 1896.	Bessèges couche Saint- Auguste- ter.	1 asphyxié	»	1.727	406.015 tonnes.	Remontée en cul-de-sac dans une couche grisouteuse.	»	Improbable de la mine	
37	27 mars 1897.	Mine de Molières	»	1	1.755	440.060 tonnes.	Cloche au voisinage du front de taille.	Lampe de sûreté brisée d'un coup de pic.		

4. — Concession
(Instituée par

38	15 mars 1897.	Mine de Cagnières (Puits du Viaduc).	»	2 dont un très légère- ment.	421	66.458 tonnes.	Aérage local insuffisant, petite accumu- lation de grisou dans un angle de la taille.	Lampe de sûreté dont le verre a été brisé par un coup de pic au dire de l'ouvrier.		
----	---------------------	---	---	--	-----	-------------------	--	---	--	--

DÉPARTEMENT DU GARD.

Alain et Meyrannes.

(Instituée par

29 novembre 1809.)

OBSERVATIONS									
11									
L'accident s'est produit dans une couche de 0 ^m ,45 de puissance exploitée par grandes tailles avec renouveau. On avançait dans un étranglement que l'on perceait tous les 8 mètres par une galerie servant à la communication d'aérage avec les tailles suivantes. L'aérage général était satisfaisant et la mine bien ventilée. Au moment de l'accident, le front de taille était à 8 mètres de la dernière traversée d'aérage, et on allait commencer à percer une nouvelle; l'air n'était conduit que par une toile de 4 mètres de longueur. La flambée s'est produite au moment de l'allumage d'un coup de mine (sans doute avec une allumette) au toit au voisinage de la cloche. L'inspection du chantier n'avait pas été faite avant l'allumage.									
L'aérage général satisfaisant. Une cloche s'était formée dans le toit après purgeage de celui-ci, et une petite quantité de grisou s'y était accumulée. Elle se serait enflammée, au dire de la victime, par suite d'une étincelle provoquée par un coup de pic; mais on a retrouvé au chantier des allumettes et une feuille de papier à cigarettes partiellement brûlée et portant des fragments de peau interdigitale brûlée.									
L'aérage était bon. Le chantier dans lequel l'accident s'est produit était une remonte en cul-de-sac destinée à établir une communication entre deux étages; la couche était grisouteuse; l'aérage était assuré par des colonnes de tuyaux. Il était généralement suffisant; néanmoins des dégagements de grisou plus importants que d'habitude obligeaient quelquefois à l'abandonner momentanément. Un dégagement plus important, survenu brusquement à la suite de la rencontre d'un soufflard, en avait décidé l'abandon définitif et en avait fait barrer l'entrée. Le chef de chantier, y ayant oublié un outil, y a pénétré malgré cela et s'y est avancé sans doute encore après l'extinction de sa lampe; il y est resté asphyxié.									
L'aérage général de la mine était satisfaisant. L'accident s'est produit à l'avancement d'une galerie de 20 mètres de longueur, qui n'était encore aérée que par diffusion et qui devait être prochainement mise en communication avec une traversée d'aérage. Le grisou n'avait pas encore été constaté à teneur inquiétante dans le chantier. Un ouvrier y était resté seul avec le départ de ses camarades et a été légèrement brûlé par l'inflammation du grisou, due, suivant ses déclarations, à un coup de pic qui aurait brisé le verre de sa lampe. A la suite de cet accident, de nouvelles mesures ont été prescrites pour l'aérage des chantiers des mines grisouteuses du département du Gard.									
Alain-de-Gagnières. 28 août 1832.									
L'aérage général des travaux était suffisant, mais celui du chantier où s'est produit l'accident n'était satisfaisant que par les fuites des portes d'aérage, parce que le chantier était presque entièrement déhouillé et ne communiquait très peu de grisou. La cause de l'inflammation est restée douteuse, les déclarations des ouvriers relativement au bris du verre d'une lampe paraissant peu vraisemblables. Elle a donné lieu à une petite flamme au toit qui a atteint légèrement deux des trois ouvriers occupés au chantier. A la suite de l'accident, l'exploitant a été invité à assurer un aérage régulier pour tous les chantiers des mines où le grisou a été rencontré.									

BASSIN D'ALAIN (Département du Gard).

5. — Concession de Palmy et Palmesalade.
(Instituée par décret du 27 août 1828.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Cause indirecte	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflammation des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	
39	24 février 1894.	Puits de l'Arbous- set.	»	1	771	152.899 tonnes.	Cul-de-sac in- suffisamment aé- ré et exagération fortuite du dégä- gement de grisou au chantier.	Lampe de sûreté dont le verre a été brisé soit par un coup de pic (d'après l'ouvrier), soit par l'échauf- fement dû à la combustion dans une at- mosphère gri- souteuse.	Inobservance des prescrip- tions.	L'aérage général de la mine était bon. L'accident s'est produit dans une recoupe de 15 mètres de longueur; le grisou n'avait jamais été constaté au chantier. Celui-ci était aéré par une toile formant canar à partir de la galerie du fond. Elle avait qu'à 3 mètres du chantier. L'état de l'atmosphère du chantier n'avait pas été vérifié, ainsi qu'il est prescrit, avant la reprise du travail. Quelques instants avant l'accident, l'ouvrier aurait constaté que la lampe était chaude; mais il n'aurait pas reconnu de grisou. Le verre de la lampe s'étant brisé, il s'est produit une flambée avec flamme bleue léchant le toit.
40	26 juillet 1897.	Puits de l'Arbous- set.	1	1 légère- ment blessé.	736	146.872 tonnes.	Remontée en cul-de-sac de 50 mètres de lon- gueur normale- ment aérée par des colonnes d'aé- rage; au moment de l'accident, le courant d'air a été interrompu par l'ouverture prolongée d'une porte.	Allumage d'un coup de mine très pro- bablement avec une allu- mette.	Impropre- té de la vic- time.	L'aérage général de la mine était suffisant, quoique comportant la dépendance des quartiers et un courant descendant dans certaines couches grisouteuses. L'accident s'est produit au sommet d'une remonte convenablement aérée et dans laquelle, le matin même, on avait tiré un coup de mine sans rien remarquer d'anormal. Il a été provoqué par l'allumage d'un deuxième coup de mine à la fin du poste de travail, alors que depuis une heure une porte d'aérage dont la fermeture forçait le courant d'air à passer au chantier était restée ouverte pour la sortie des ouvriers. L'ouvrier n'a sans doute pas vérifié l'état de l'atmosphère avant l'allumage et a très probablement employé une allumette. À la suite de l'accident, les prescriptions d'un nouveau règlement pour les mines à grisou du Gard ont été appliquées.

BASSIN D'AUBIN (Département de l'Aveyron).

Concession de Cahuc et Cahuc.
(Instituée par ordonnances royales des 2 janvier 1832 et 8 juillet 1832; par décrets des 14 décembre 1863 et 31 décembre 1878.)

41	24 oct. 1892.	Mine de Fareyrès	»	1	132	21.418 tonnes.	Dégagement de grisou par une faille mise à nu à la suite du li- rage de trois coups de mine à l'avancement d'une remonte branchée sur une galerie en cul-de- sac.	Lampe à feu nu.	Inobservance du règle- ment prescri- vant l'emploi des lampes de sûreté dans les remontées en cul-de-sac.	L'aérage général était naturel, d'activité très irrégulière et par suite souvent insuffisant; cependant la remonte en grisou du retour d'air général était sensiblement nulle. Longtemps la mine avait été considérée comme non grisouteuse; et c'est seulement en 1890, à la suite d'une flambée, qu'un arrêté préfectoral avait prescrit des examens des chantiers à la lampe de sûreté et l'emploi de celle-ci dans les remontées et les cul-de-sac. L'accident s'est produit dans une remontée en percement parvenue à 13 mètres d'une galerie horizontale en cul-de-sac. La victime avait fait partir trois coups de mine et avait dû attendre plus de trois heures que la fumée fût dissipée. En revenant au chantier avec sa lampe à feu nu, il a provoqué la flambée. À la suite de l'accident, l'aérage a été activé par la construction d'une cheminée d'aérage au débouché de la galerie de retour d'air. Des soigneuses observations relatives aux dégagements de grisou ont été faites, et la direction a été rappelée à l'observation du règlement relatif aux lampes de sûreté.
----	------------------	------------------------	---	---	-----	-------------------	---	--------------------	--	--

BASSIN D'AUBREY DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

Concession Bouquès et Cahuc.

(Instituée par ordonnances royales des 2 janvier 1832 et 8 juillet 1833. — Révisée par décrets des 14 décembre 1863 et 31 décembre 1878.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODU- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS	
			tués	blessés			Causes directes		Cause indirecte		
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
42	4 févr. 1894.	Mine de Fareyrès	»	1	141	27.823 tonnes.	Cloche de 1 ^m ,80 de hauteur formée au toit de la couche dans des schistes friables.	Lampe à feu nu introduite dans la cloche pour l'exami- ner.		11	L'aérage général de la mine, assez satisfaisant, était obtenu au moyen d'un foyer d'aérage; les lampes à feu nu étaient autorisées, sauf dans les remontes et les culs-de-sac de plus de 12 mètres de hauteur. L'accident s'est produit dans une galerie servant de passage à l'une des branches principales du courant d'air; une cloche, qui s'était formée dans les schistes friables du toit de la couche, s'était peu à peu accumulée au cours de la semaine et devait être rebouchée pendant le chômage du dimanche. Elle avait été rebouchée trois fois inspectée à la lampe de sûreté, mais pas jusqu'à son sommet, les derniers jours du moins. C'est en s'élevant dans la cloche pour procéder à son travail que le boiseur qui en était chargé a mis le feu au grisou. A la suite de l'accident, l'emploi des lampes à feu nu a été interdit, et le foyer d'aérage a été éteint.
Concession Marsaut et Lassalle. (Instituée par décret du 21 brumaire an XII).											
43	30 sept. 1897.	Mine de Miramont	»	1 légère- ment brûlé.	662	209.174 tonnes.	Cloche consti- tuée au toit d'une galerie par une chambre un peu plus haute prati- quée pour le loge- ment d'un treuil.	Lampe à feu nu.			Aérage général satisfaisant. Jamais le grisou n'avait été constaté à la mine de Miramont. L'accident s'est produit dans un plan incliné au rocher dans des schistes noirs présentant un pendage inverse de celui des couches de houille et sont séparés de celles-ci par une faille. L'inflammation est résultée de l'inspection avec la lampe à feu nu du toit de la chambre du treuil du plan incliné en vue d'y placer un cadre de boisage. A la suite de l'accident, l'exploitant a été invité à faire procéder à la visite de tous les travaux avec la lampe Marsaut avant chaque poste.
Concession de la Varnhe. (Instituée par ordonnance royale du 28 février 1834.)											
44	7 août. 1891.	Mine de Campa- gnac.	1	1	903	241.549 tonnes.	Remontée dans laquelle l'aérage d'un coup de mine à l'aide d'une mèche rompu par un obstacle placé par les ouvriers; gri- sou dégagé irrégulièrement par les remblais.	Allumage d'un coup de mine à l'aide d'une mèche bickford goudronnée et d'amadou.			Aérage général satisfaisant et excluant toute accumulation importante de grisou. Des quantités considérables de grisou devaient être emmagasinées dans les vieux travaux remblayés et se dégager par bouffées par suite des tassements successifs des remblais. L'accident s'est produit dans une remonte où le courant d'air était amené par une toile d'aérage; mais le courant d'air avait été obstrué quelques moments avant l'accident par une porte placée en travers de la remonte pour empêcher la chute le long de la remonte des fragments de charbon projetés par les coups de mine. L'allumage d'un coup de mine a été fait par le boute-feu, mais sans avoir examiné suffisamment l'état du chantier; la mèche ayant légèrement fusé, il s'est produit une flambée qui a brûlé deux ouvriers. A la suite de l'accident, l'emploi des mèches goudronnées a été abandonné, et de nouvelles précautions ont été édictées par l'exploitant pour le tirage des coups de mine.

BASSIN DE SAINT-ELOY.

Recherches de houille

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	26 févr. 1896.	Puits Tollin.	4	"	"	"	Aéragé insuffisant.	Lampe à feu nu.	"

BASSIN DE BRIANÇON.

Concession
(Instituée par décret

46	21 janvier 1896.	Galerie unique de l'explo- itation.	"	1 légère- ment brûlé.	8	72 tonnes.	Légère accu- mulation de grisou à la partie supérieure d'un montage aban- donné et sans aéragé.	Lampe à feu nu.	"
----	------------------------	--	---	--------------------------------	---	---------------	---	--------------------	---

BASSINS DE VOUVANT ET DE CHANTONNAY.

Concession
(Instituée par ordonnance

47	11 juillet 1892.	Puits du Centre.	"	1 griève- ment brûlé.	189	26.843 tonnes.	Accumulation de grisou au sommet d'un chantier mal aé- ré.	Lampe de sûreté dont le tamis a été crevé par un coup de pic.	"
----	------------------------	------------------------	---	--------------------------------	-----	-------------------	--	---	---

DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME.

de la Boule.

OBSERVATIONS									
11									
L'accident s'est produit dans un puits de recherches de 300 mètres de profondeur, au fond duquel on avait rencontré des couches dégageant beaucoup de grisou; l'aéragé avait été assuré au moyen d'une colonne de tuyaux descendant jusqu'au fond et au sommet de laquelle était installé un ventilateur soufflant. On ne travaillait qu'avec des lampes de sûreté, mais c'était la seule précaution prise contre le grisou.									
On venait d'entreprendre la substitution à la colonne de tuyaux d'un goyau de plus forte section formé sur le côté du puits par un galandage. Ce travail s'effectuait, au moment de l'accident, sur un plancher de service, à 80 mètres de profondeur. Mais on avait eu l'imprudence de supprimer la colonne d'aéragé au-dessous du plancher; l'aéragé ne se faisait donc plus au fond du puits que d'une façon tout à fait insuffisante par la circulation d'une benne d'épuisement.									
L'explosion a été provoquée par l'imprudence d'un contremaitre descendu avec une lampe à feu nu. Les effets mécaniques ont été faibles; mais les quatre hommes qui étaient sur le plancher ont été projetés au fond du puits et ont péri.									
A la suite de l'accident, on a introduit dans les travaux toutes les précautions en usage dans les mines franchement grisouteuses et prescrit une surveillance très soignée.									

DÉPARTEMENT DES HAUTES-ALPES.

Chanteloube.

(Instituée par décret du 19 octobre 1867.)

Aéragé général naturel peu actif.									
L'accident s'est produit dans un montage en cul-de-sac, qui avait été abandonné en raison du manque d'aéragé.									
La victime, y ayant pénétré et constatant que sa lampe à feu nu brûlait mal, a voulu sortir la mèche et y faire affluer l'huile. C'est alors que le grisou s'est enflammé, brûlant légèrement l'ouvrier.									
A la suite de l'accident, les montages en cul-de-sac ont été interdits, et il a été prescrit d'examiner les chantiers à la lampe de sûreté avant la rentrée des ouvriers, et enfin de percer une communication d'aéragé avec le jour pour activer l'aéragé naturel des travaux.									

DÉPARTEMENT DE LA VENDÉE.

Paymoreau.

(Instituée par décret du 1^{er} février 1831.)

La disposition générale de l'aéragé était vicieuse. La circulation de l'air se faisait en partie par des cheminées servant aussi à la descente du charbon et pouvant, par suite, être obstruées accidentellement. On employait les lampes à feu nu, sauf à leur substituer des lampes de sûreté lorsqu'il pouvait y avoir quelques craintes au sujet de la pureté de l'atmosphère et à abandonner le chantier si le grisou manquait.									
Lorsque l'accident s'est produit, les lampes de sûreté venaient d'être substituées aux lampes à feu nu, parce que la flamme de celles-ci manifestait un allongement anormal. Le chantier aurait dû être abandonné.									
A la suite de l'accident, le règlement de la mine a été modifié et précisé.									

BASSINS DE VOUVANT ET DE CHANTONNAY

Concession de
(Instituée par ordonnance

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48	27 juin 1896.	Puits du Centre.	"	2	146	22.683 tonnes.	Accumulation de grisou fortuite et sans doute très faible.	Lampe à feu nu.	"

BASSIN DE LA BASSE-LOIRE.

Concession de
(Instituée par décret

49	28 nov. 1895.	Puits Saint- Joseph.	1 asphyxié	"	94	11.703 tonnes.	Dégagement brusque de grisou à la suite d'un éboulement.	"	"
----	---------------------	----------------------------	---------------	---	----	-------------------	---	---	---

MINES DE
LIGNITE.

BASSIN DE FUYEAU.

Concession de
(Instituée par ordonnance

50	25 févr. 1895.	Fosse Biver.	1	4	244	60.137 tonnes.	Remontée en cul-de-sac au voi- sinage d'une fis- sure par laquelle se dégageait une eau fortement sul- fureuse.	Lampe à feu nu.	"
----	----------------------	-----------------	---	---	-----	-------------------	---	--------------------	---

DÉPARTEMENT DE LA VENDÉE.

Paymoreau.
(Instituée par décret du 1^{er} février 1831.)

OBSERVATIONS									
11									
<p>Le grisou n'avait pas été signalé au puits du Centre depuis 1892 et n'avait jamais été rencontré dans la couche du Nord où a eu lieu l'accident; le règlement des quartiers grisouteux ne s'y appliquait pas. On travaillait à feu nu; cependant chaque chantier était muni d'une lampe Davy pour examiner l'atmosphère avant la reprise de chaque poste.</p> <p>Le chantier où s'est produit l'accident avait été inspecté à dix heures du soir, au début du poste de nuit; la flambée s'est produite à une heure, au moment où les ouvriers revenaient au chantier avec leurs lampes à feu nu après une pause.</p> <p>A la suite de l'accident, le quartier a été classé comme grisouteux.</p>									
DÉPARTEMENT DE LA LOIRE-INFÉRIEURE.									
Montrelais. (Instituée par décret du 17 août 1807.)									
<p>La mine est généralement peu grisouteuse et l'aérage suffisant.</p> <p>L'accident s'est produit dans les travaux d'exploration d'un lambeau qui s'était signalé comme grisouteux. On y pratiquait une cheminée montante ayant 8^m 50 de hauteur; elle était aérée par deux colonnes de tuyaux avec ventilateurs à bras. L'état du chantier était satisfaisant tant au point de vue du soutènement que de l'aérage, lorsque se produisirent, dans le charbon, des craquements suivis d'un éboulement d'une masse de 4 mètres cubes et d'un fort dégagement de grisou. Des deux ouvriers travaillant à l'avancement et des deux autres tournant les ventilateurs, l'un ne put se sauver assez rapidement et fut pris sous les tuyaux d'aérage. Lorsqu'on parvint à le retirer, il était asphyxié.</p> <p>A la suite de l'accident, la cheminée a été abandonnée et la conduite des travaux modifiée.</p>									

DÉPARTEMENT DES BOUCHES-DU-RHÔNE.

Gardanne.
(Instituée par décret du 17 septembre 1817.)

L'aérage général des travaux, produit auparavant par un ventilateur, était redevenu naturel (mais activé par un échappement de vapeur), par suite de l'enlèvement momentané de ce ventilateur à la suite de nouvelles installations dans le puits. On avait reconnu déjà plusieurs fois des traces de grisou dans les travaux de la fosse, mais pas dans la couche même où s'est produit l'accident.

Celui-ci a eu lieu dans une remontée de 20 mètres en percement destinée à constituer une communication d'aérage, au moment où, après le chômage du dimanche, un ouvrier parvenait, avec sa lampe à feu nu, à 2^m 50 du sommet de la remontée. Il s'est produit une explosion qui a renversé celui-ci, et brûlé les quatre camarades qui le suivaient; les effets mécaniques ont été faibles.

A la suite de l'accident, l'emploi des lampes de sûreté a été ordonné dans les travaux, l'emploi des explosifs a été réglementé, et le rétablissement à bref délai de l'aérage mécanique a été prescrit.

MINES DE PLOMB ARGENTIFÈRE.

DÉPARTEMENT D'ILLE-ET-VILAINE.

Concession de Pontpéan (*).
(Instituée par décret du 11 janvier 1829.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumulation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
51	13 mars 1893.	Puits de la Répu- blique.	»	1	364	16.680 tonnes (minerai lavés et marchands).	Cheminée en cul- de-sac de 7 ^m .00 de hauteur aérée par un canar y pénétrant de 2 ^m .00 seulement.	Lampe à feu nu.	»	Le grisou n'avait jamais occasionné d'accident dans le quartier intéressé; l'aérage y était suffisant pour un quartier non grisouteux. L'inflammation s'est produite au moment où un ouvrier pénétrait dans une cheminée après vingt-quatre heures de chômage. À la suite de l'accident, on a prescrit l'emploi de lampes de sûreté dans cette cheminée et modifié la circulation des eaux alimentant la trompe d'aérage et qui paraissaient avoir amené le grisou d'un quartier où il se dégageait en plus grande quantité que celui de l'accident.
52	15 juin 1894.	Puits de la Répu- blique.	»	1	365	21.207 tonnes.	Cheminée en cul- de-sac de 22 ^m .00 de hauteur aérée par un canar y pénétrant de 20 mètres.	Lampe à feu nu.	»	L'accident s'est produit dans le même quartier que le précédent, au moment où un ouvrier pénétrait dans une remonte, après deux heures seulement d'interruption de travail. Le lendemain, le grisou marquait encore, dans toute la partie de la remonte où n'arrivait pas le courant d'air et dans cette partie seulement, ce qui paraît montrer que le grisou se dégageait du chantier même. À la suite de cet accident, un arrêté préfectoral a prescrit l'emploi de lampes de sûreté pour vérifier l'état de l'atmosphère dans les travaux en remontée à chaque reprise du travail.

(*) M. l'Ingénieur en Chef des mines Lodin a publié (*Annales*, 9^e série, t. VIII, p. 90 et suiv.) une note sur les dégagements gazeux observés à Pontpéan, dans laquelle il a discuté les circonstances de ces deux accidents.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1897

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux de M. COIGNARD, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

1° *Houille*. — Houilles grasses des recherches de Bordezac (Gard) :

	Matières volatiles	Cendres
	p. 100	p. 100
Charbon gros.....	23,10	8,95
Charbon gros.....	22,10	8,60
Charbon gros.....	17,40	6,20
Charbon menu.....	25,05	7,15
Charbon menu.....	17,40	13,50

Ces charbons fournissent un coke compact à éclat métallique.

2° *Houille*. — Houille maigre provenant des sondages exécutés par la Société des Recherches du Midi, à Saint-Martin-de-Valgagues (Gard) :

	Matières volatiles	Cendres
	p. 100	p. 100
Sondage n° 1. — Couche rencontrée à 150 mètres.	12,05	12,40
Sondage n° 1. — Couche rencontrée à 323 ^m ,85.	Menu brut.....	8,50 38,10
	Menu lavé.....	8,60 14,50
	Gros brut.....	8,55 41,30
	Gros lavé.....	8,70 23,60
Sondage n° 2. — Filets charbonneux reconnus entre 300 et 326 mètres.	14,30	12,10
Sondage n° 2. — Filets charbonneux recoupés à la profondeur de 345 ^m ,10.....	11,90	»

Pas de coke.

3° *Houille*. — Houille grasse des mines de Banne (Ardèche).

Matières volatiles.....	26,50 p. 100.
Cendres.....	11,40 —

4° *Lignite*. — Lignite des mines de Gaujac (Gard), provenant de la couche du Rocher (Niveau 50).

Humidité.....	21,50 p. 100.
Matières volatiles.....	34,00 —
Cendres.....	12,10 —
Carbone fixe.....	32,40 —

§ 2. — MINÉRAIS.

1° *Minerai de fer*. — Hématite brune provenant d'Escaro (Pyrénées-Orientales).

Fer.....	48,50 p. 100.
Manganèse.....	3,40 —
Phosphore.....	0,015 —

2° *Minerai de fer*. — Hématite brune provenant des recherches exécutées dans la commune de Lanuéjols (Lozère), sur des filons au contact des calcaires du lias et des schistes anciens.

	a	b
	p. 100	p. 100
Fer.....	42,50	23,80
Manganèse.....	5,65	13,10
Chaux.....	traces	1,50
Phosphore.....	0,31	0,19
Silice.....	16,00	30,00

3° *Minerai de cuivre*. — Cuivre pyriteux provenant des recherches du Bès, commune de Saint-Martial (Gard).

Silice.....	63,30 p. 100.
Cuivre.....	10,40 —
Fer.....	9,73 —
Soufre.....	10,75 —
Or.....	traces.

4° *Minerais de zinc*. — Calcaire provenant des recherches de Bès

(Gard), galerie Sarran fils. — Gîte calaminaire dans les dolomies infraliasiques.

Calamine riche (scheidage).....	Zinc.....	p. 100
		39,10
Calamine légèrement plombée (gr. scheidage)...	Zinc.....	45,20
	Plomb.....	1,13
Calamine, morceaux très riches (klaubage).....	Zinc.....	38,60

5° *Minerais de plomb et zinc.* — Minerais provenant des recherches de Fontbonne, commune de Saint-Laurent-le-Minier.

Gîtes dans les dolomies de l'oolithe inférieure.

		p. 100
Galène avec blende et pyrite de fer...	Plomb..	14,60
	Zinc....	9,10
	Fer.....	13,40
	Soufre..	22,03
Blende et galène.....	Zinc....	20,10
	Plomb..	17,20
Galène avec pyrite de fer.....	Plomb..	23,95
	Fer.....	16,20
	Soufre..	21,80
Pyrite de fer.....	Fer.....	34,20
	Soufre..	38,70
Terres plumbeuses.....	Plomb..	20,60
	Argent..	225 gr. à la tonne de plomb.
Galène à larges facettes avec blende..	Zinc....	25,80
	Plomb..	11,30
	Argent..	290 gr. à la tonne de plomb.

La teneur moyenne de douze échantillons essayés est de :

Zinc..... 34,95 p. 100

6° *Minerais de plomb et zinc.* — Recherches de Fontbonne, commune de Saint-Laurent-le-Minier.

Galerie du Pic d'Angean (faille).

Blende avec galène à larges facettes.

Zinc.....	23,90 p. 100.
Plomb.....	11,05 —
Argent.....	280 gr. à la tonne de plomb.

7° *Minerais de plomb et zinc.* — Minerais provenant des recherches de Redonnel, commune de la Rouvière, canton de Valrangue (Gard).

		p. 100
Galène avec blende.....	Zinc....	23,80
	Plomb..	24,90
	Argent..	1 ^{re} ,580 à la tonne de plomb.
Blende et galène.....	Zinc....	30,50
	Plomb..	3,30
	Argent..	140 gr. à la tonne de plomb.

8° *Minerais de plomb argentifère.* — Galène à larges facettes des mines de Meyrueis et Gatuzières (Lozère), provenant du filon Heure 7, recoupé par la galerie du ravin de l'Escourgeade.

Plomb.....	57,40 p. 100.
Argent.....	880 grammes à la tonne de plomb.

9° *Pyrite.* — Pyrite de fer provenant du sondage n° 1 exécuté par la Société des Recherches du Midi à Saint-Martin-de-Valgalgues (Gard).

La zone pyriteuse commence à 87^m,50 et finit à 108 mètres.

Soufre.....	51,23 p. 100.
-------------	---------------

10° *Minerais aurifères.* — Sables aurifères de la rivière le Gardon à Sainte-Anastasia (Gard).

Échantillon n° 1. — Moyenne de différentes prises d'essais faites en profondeur, depuis 3 mètres jusqu'à 12 mètres.

Or..... 1^{er},690 à la tonne de sable.

Échantillon n° 2. — Prise d'essai à 12 mètres de profondeur.

Or..... 1^{er},330 à la tonne de sable.

Échantillon n° 3. — Quartz ferrugineux pris dans le lit du Gardon.

Or..... zéro.

§ 3. — TERRES, PHOSPHATES ET ENGRAIS.

1° *Terre arable.* — Terre argilo-calcaire provenant de Graveson (Bouches-du-Rhône).

	p. 100
Eaux et matières organiques.....	4,50
Silice.....	35,80
Alumine.....	11,15
Peroxyde de fer.....	2,85
Carbonate de chaux.....	43,40
Acide phosphorique.....	0,13
Potasse.....	0,40
Chlorure de sodium.....	0,10
Azote.....	0,14
Magnésie.....	non dosée.

4° *Eaux minérales.* — Eaux d'Antraigues (Ardèche) (4 sources).

	Source n° 1	Source n° 2	Source n° 3	Source n° 4
	par litre gr.	par litre gr.	par litre gr.	par litre gr.
Bicarbonate de soude.....	0,085	0,338	0,087	0,803
id. de potasse.....	traces	0,002	traces	0,077
id. de chaux.....	0,792	0,936	0,545	0,489
id. de magnésie.....	0,109	0,323	0,106	0,294
Chlorure de sodium.....	0,008	0,016	0,003	0,025
Sulfate de soude.....	0,009	0,005	0,009	0,011
Fer et alumine.....	0,021	0,034	0,011	0,019
Acide silicique.....	0,048	0,052	0,046	0,051
Acide borique libre.....	0,541	0,644	0,284	0,505

II. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES
DE SAINT-ÉTIENNE.Travaux effectués sous la direction de M. BABU,
Ingénieur des Mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

1° *Houille.* — Houilles de Perrecy.

	a	b
	p. 100	p. 100
Humidité (à 105°).....	1,56	0,93
Matières volatiles (humidité déduite).....	15,09	11,57
Cendres.....	29,11	23,60
Carbone fixe (cendres et soufre déduits).....	53,62	62,30
Soufre.....	2,17	2,53
Carbone total.....	56,90	65,40
Hydrogène (en plus de celui contenu dans l'humidité).....	3,17	2,89
Azote + Oxygène (en plus de l'oxygène de l'humidité).....	7,08	4,65

2° *Cokes.* — Cokes de Graissessac.

Teneur en soufre p. 100 : 1,91 — 1,59 — 0,91 — 0,84.

3° *Lignite.* — Lignite de Serbie appartenant à l'Oligocène traversé par des épanchements de trachyte.

Humidité à 105°.....	p. 100
Matières volatiles (humidité déduite).....	15,89
Cendres.....	37,29
Carbone fixe (cendres et soufre déduits).....	3,76
Rendement en coke.....	43,06
	46,81

§ 2. — GAZ.

1° *Gaz des mines.* — Huit échantillons provenant du puits n° 1 de la Société des Mines de la Bouble, bassin de Saint-Eloy (Puy-de-Dôme) et recueillis le 24 mars 1897, à la suite d'un accident survenu le 26 février.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Grisou.....	2,6	2,9	2,6	3,0	2,7	2,7	2,6	2,7
CO ²	néant							
O.....	19,8	19,7	19,7	19,7	19,5	19,5	19,6	19,5
CO.....	néant							
H ² S.....	néant							
Az.....	77,6	77,4	77,7	77,3	77,8	77,8	77,8	77,8

§ 3. — ARGILES, SABLES ET TERRES.

1° *Sable.* — Sable de verrerie de Vals-Labégude (Ardèche).

	a	b
	p. 100	p. 100
Humidité (à 105°).....	0,98	4,19
Perte à la calcination au rouge.....	2,15	2,14
eau combinée et matières organiques.....	0	13,00
acide carbonique.....		
Silice.....	64,40	48,50
Acide titanique.....	0,43	0,80
Anhydride phosphorique.....	0,30	0,13
Alumine.....	14,16	5,41
Peroxyde de fer.....	4,85	2,03
Chaux.....	0,24	17,27
Magnésie.....	1,37	0,62
Potasse.....	5,64	3,24
Soude.....	4,81	3,12

2° *Bauxite*. — Quatre échantillons, dont deux provenant de Berzème (Ardèche) (*a, b*), les deux autres de Malinges (Jura) (*c, d*).

	<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>		<i>d</i>	
	p. 100	»	p. 100	»	p. 100	»	p. 100	»
Silice.....	»	»	»	»	23,18	32,00		
Alumine.....	19,55	16,71	63,57	32,30				
Peroxyde de fer.....	17,45	14,04	1,76	23,73				

3° *Argiles*. — Argiles réfractaires de Saint-Marcellin (Isère).

	<i>a</i>		<i>b</i>	
	p. 100	»	p. 100	»
Humidité (à 105°).....	0,24	275		
Perte à la calcination au rouge				
eau combinée et matières organiques..	0,45	3,48		
acide carbonique.....	0,41	3,01		
Silice.....	90,70	75,12		
Anhydride sulfurique.....	0,49	0,58		
Alumine.....	3,36	7,30		
Peroxyde de fer.....	1,16	2,76		
Chaux.....	1,55	3,55		
Magnésie.....	traces	traces		
Potasse.....				
Soude.....	0,46	0,85		

4° *Terres siliceuses*. — Terres siliceuses de Sancerre (Cher).

	<i>a</i>		<i>b</i>	
	p. 100	»	p. 100	»
Humidité (à 105°).....	1,22	11,64		
Perte à la calcination au rouge				
eau combinée et matières organiques..	4,40	4,13		
acide carbonique.....	néant	14,86		
Silice.....	83,54	45,33		
Anhydride sulfurique.....	traces	traces		
Alumine.....	11,31	42,71		
Peroxyde de fer.....	0,36	1,74		
Chaux.....	néant	18,24		
Magnésie.....	néant	0,85		
Potasse.....	0,05	0,99		
Soude.....	0,33	1,12		

Ces terres proviennent du remaniement des terrains crétacés

à silex et sont principalement composées de silice anhydre provenant de la dissolution de la partie hydratée des silex. Elles appartiennent à l'étage éocène et sont utilisées pour la faïencerie.

5° *Terres arables*. — Sept échantillons, dont deux provenant de Souternan (Loire):

a. Terre schisteuse;

b. Terre argileuse;

trois provenant des environs de Roanne (*c, d, e*); et deux provenant du département du Rhône:

f. Terre de la commune de Blacé;

g. Terre de la commune de Saint-Julien.

	<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>		<i>d</i>		<i>e</i>		<i>f</i>		<i>g</i>	
	p. 100	»												

Analyse mécanique.

Cailloux (ne passant pas au tamis de 5 ^{mm}).....	34,5	23,1	21,4	38,2	21,5	13,7	8,6
Gravier (ne passant pas au tamis de 1 ^{mm}).....	15,7	19,6	26,3	19,9	19,6	23,4	23,8
Terre fine (par différence).....	49,8	57,3	52,3	42,9	58,9	62,9	65,6

100 parties de terre pure séchée à l'air renferment :

Humidité (à 105°).....	3,98	3,86	3,36	3,45	2,88	2,70	3,86
Perte au rouge (acide carbonique, eau combinée et matières organiques).....	4,53	3,92	8,48	7,91	7,55	3,98	3,79
Partie insoluble dans les acides.....	76,46	74,01	74,91	75,08	78,77	84,70	81,77
Silice.....	0,06	0,23	traces	traces	traces	traces	traces
Fer et alumine.....	12,80	15,13	11,59	12,31	9,45	7,06	9,17
Chaux.....	0,46	0,39	0,14	0,10	0,16	0,31	0,33
Magnésie.....	0,65	1,18	0,33	0,40	0,17	0,23	0,17
Potasse.....	0,50	0,71	0,70	0,56	0,57	0,72	0,52
Soude.....	0,26	0,27	0,57	0,42	0,44	0,35	0,49
Anhydride phosphorique.....	0,18	0,10	0,09	0,06	0,065	0,03	0,01
Anhydride sulfurique.....	néant	néant	néant	néant	néant	néant	néant
Azote.....	0,28	0,18	0,19	0,24	0,21	0,12	0,06

§ 4. — EAUX MINÉRALES.

1° *Eaux minérales de Saint-Galmier (Loire).*

	SOURCE		SOURCE		SOURCE		SOURCE	
	Romain n° 2	Romain n° 1	sources du puits Forissier		SOURCES RADOIT			
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.	3,113	»	»	»	2,194	»	»	»
— total.	4,764	3,955	3,197	3,458	4,119	2,837	»	»
Résidu sec à 180°.....	2,318	2,197	1,761	2,085	1,332	1,606	»	»
Chlore.....	0,116	0,135	0,081	»	0,052	0,114	»	»
Silice.....	0,042	0,046	0,042	0,041	0,037	0,035	»	»
Anhydride sulfurique.....	0,042	0,053	0,026	»	0,031	0,049	»	»
Protoxyde de fer.....	0,043	0,006	0,019	0,023	0,007	0,010	»	»
Chaux.....	0,358	0,544	0,433	0,622	0,239	0,320	»	»
Magnésie.....	0,196	0,207	0,196	0,112	0,115	0,174	»	»
Potasse.....	0,032	0,026	0,018	»	0,024	0,022	»	»
Soude.....	0,279	0,276	0,238	»	0,212	0,256	»	»

2° à 4° *Eaux minérales.* — Sept échantillons, dont trois provenant de Vichy-Saint-Yorre :

- a. Source Nationale ;
- b. Source Richelieu ;
- c. Source des Romains ;

un du Puy-de-Dôme :

- d. Source Roussel à Saint-Priest-Bramfant ;

et trois d'Aix-les-Bains (e, f, g).

	a	b	c	d	e	f	g
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique libre.....	3,742	3,685	3,928	3,607	»	»	»
id. total.....	6,970	6,726	5,485	5,196	0,313	0,266	0,251
Résidu sec à 180°.....	4,892	4,859	4,821	4,905	0,323	0,292	0,261
Chlore.....	0,336	0,349	0,344	0,349	»	»	»
Silice.....	0,011	0,004	0,009	0,012	0,006	0,006	0,006
Anhydride sulfurique.....	0,149	0,157	0,153	0,158	0,018	0,010	0,009
Protoxyde de fer.....	0,005	0,012	0,006	0,006	0,0001	0,0002	0,0002
Chaux.....	0,190	0,132	0,128	0,116	0,145	0,135	0,117
Magnésie.....	0,008	0,007	0,012	0,021	0,015	0,013	0,015
Potasse.....	0,106	0,097	0,118	0,136	0,0024	0,0023	0,023
Soude.....	2,097	1,933	2,253	2,518	0,016	0,019	0,021

5° *Eaux minérales de Pougues :*

- a. Source Alice au-dessous de 23 mètres ;
- b. Source Alice au-dessous de 24 mètres ;
- c. Source Alice au-dessus de 24 mètres ;
- d. Source Alice, venue d'eau complète ;
- e, f. Source Élisabeth ;
- g. Source Saint-Léger ;
- h. Source Saint-Léon.

	a	b	c	d	e	f	g	h
	gr.							
Résidu sec à 180°.....	2,0932	2,1358	1,9270	1,5996	0,9431	1,3879	1,7880	2,5629
Chaux.....	0,6102	0,6159	0,5831	0,5486	0,4141	0,5001	0,4911	0,7078
Magnésie.....	»	»	»	0,0813	»	»	»	»
Sulfates alcalins.....	0,7711	0,7499	0,6051	0,3711	0,1383	0,3384	0,7577	1,1062

III. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. SIMON, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — MINÉRAIS.

1° *Minérai de cuivre.* — Analyse de deux échantillons de minerais de cuivre provenant du Bou-Zigza, commune de Saint-Pierre-Saint-Paul, et remis par M. Pape.

Les deux échantillons ont sensiblement les mêmes caractères physiques, mais le second paraît plus compact. Ils renferment dans leur masse des veines de malachite et d'azurite.

L'analyse a donné, p. 100 :

Cuivre métallique.....	34,70	38,41
Sesquioxyde de fer et Alumine.....	2,00	1,28
Zinc.....	traces notables	traces légères.
Perte au feu.....	23,28	15,80

2° *Galène.* — Essai pour plomb et argent d'une galène à grain très fin provenant du filon de Harizen à 4 kilomètres de Tizi-Reniff, remis par M. Pape.

Trouvé :

Plomb.....	70,26 p. 100
Argent (à la tonne de minérai).....	2,025 grammes
Or.....	néant

§ 2. — PHOSPHATES ET ENGRAIS.

1° *Phosphates*. — Deux échantillons de roches phosphatées provenant de la région de Bordj-bou-Arréridj, et remis par M. Jaumont.

a. Roche grise contenant dans la pâte de nombreux grains sableux et quelques rares nodules.

b. Roche moins sableuse que la précédente.

Trouvé p. 100 :

	a	b
Silice et silicates.....	7,09	7,10
Acide phosphorique.....	10,87	11,40
Phosphate tribasique de chaux.....	23,73	24,89

2° *Nitrates*. — Deux échantillons de nitrates cristallisés remis par M. Flamand, professeur de géologie à l'École des Sciences d'Alger, comme provenant de Gourara.

Dans les prélèvements pour analyse, les échantillons ont été débarrassés mécaniquement de la plus grande partie d'un sable rouge qui souillait la surface des cristaux. Les analyses ont été effectuées sur les échantillons pulvérisés et desséchés à l'étuve :

<i>Éléments dosés :</i>	a	b
	p. 100	p. 100
Sable et résidu insoluble retenu sur le filtre après dissolution dans l'eau des cristaux...	0,65	1,05
Acide azotique.....	54,31	55,60
Acide sulfurique.....	0,27	traces
Acide phosphorique.....	néant	néant
Acide carbonique.....	id.	id.
Chlore.....	1,48	0,20
Brome.....	néant	néant
Iode.....	id.	id.
Chaux.....	0,11	0,16
Magnésie.....	0,13	0,14
Potasse.....	30,46	31,92
Soude.....	12,31	10,69
D'où, pour la composition probable :		
Chlorure de sodium.....	2,43	0,32
Sulfate de potasse.....	0,58	traces
Azotate de chaux.....	0,32	0,47
Azotate de magnésie.....	0,48	0,52
Azotate de potasse.....	64,69	68,50
Azotate de soude.....	30,22	28,86
Sable et matières insolubles dans l'eau.....	0,65	1,05
Totaux.....	99,37	99,72

§ 3. — EAUX.

1° à 3° *Eaux*. — L'échantillon n° 1, remis par M. l'Ingénieur en Chef des Mines Jacob, provient du sondage d'Orléansville.

Eau de teinte légèrement jaunâtre et contenant une très faible quantité de matières en suspension.

Les échantillons nos 2 et 3, remis au laboratoire par M. Godard, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, doivent servir à l'alimentation du centre du Pont-du-Caïd (route d'Affreville à Teniet).

<i>Éléments dosés par litre :</i>	1	2	3
	gr.	gr.	gr.
Acide chlorhydrique.....	0,3040	0,7250	0,5653
— sulfurique.....	0,1483	0,8923	0,1500
— carbonique.....	0,1708	0,3044	0,2411
— azotique.....	néant	traces	traces
— silicique.....	0,0180	0,0190	0,0150
— sulhydrique.....	néant	»	»
Chaux.....	0,1465	0,5730	0,3870
Magnésie.....	0,0782	0,3405	0,1315
Soude.....	0,3030	0,5740	0,3038
Potasse.....	0,0417	»	»
Sesquioxyde de fer et alumine.....	0,0028	traces	traces
Matières organiques (exprimées en poids d'oxygène emprunté au permanganate de potasse).....	0,00257	0,0025	0,0019
Résidu à 180°.....	1,154	3,2800	1,6740

Composition probable des sels par litre :

	gr.	gr.	gr.
Chlorure de potassium.....	0,0660	»	»
— de sodium.....	0,4355	1,0832	0,5733
— de magnésium.....	»	0,0640	0,2701
Azotate de soude.....	»	traces	traces
Sulfate de soude.....	0,1654	»	»
— de magnésie.....	0,0413	0,9407	0,0533
— de chaux.....	0,0468	0,4508	0,1946
Carbonate de chaux.....	0,2271	0,6917	0,5479
Carbonate de magnésie.....	0,1353	»	»
Silice.....	0,0180	0,0190	0,0150
Sesquioxyde de fer et alumine.....	0,0025	»	»
Totaux.....	1,1379	3,2494	1,6542

Ces eaux sont mauvaises pour la consommation.

4° *Eaux*. — Analyse de trois échantillons d'eau en vue de l'amélioration de l'alimentation du village de Fréha (arrondisse-

ment de Tizi-Ouzou), remis par M. Varnier, faisant fonctions d'Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

N° 1. — Fréha, chambre de captage n° 1. — Limpide, inodore, insipide.

N° 2. — Fréha, chambre de captage n° 2. — Limpide, inodore, insipide.

N° 3. — Fréha, chambre de captage Ravin. — Limpide, inodore, insipide.

<i>Éléments dosés par litre :</i>			
	N° 1	N° 2	N° 3
Résidu à 180°.....	gr. 0,4390	gr. 0,4500	gr. 0,3920
Acide chlorhydrique.....	0,0319	0,0254	0,0202
— sulfurique.....	0,0425	0,0412	0,0226
— azotique.....	traces légères	traces légères	traces légères
— carbonique.....	0,1360	0,1442	0,1373
— silicique.....	0,0190	0,0170	0,0155
Chaux.....	0,1640	0,1650	0,1430
Magnésie.....	0,0347	0,0320	0,0288
Soude.....	0,0167	0,0245	0,0251
Sesquioxyde de fer et Alumine.....	traces	traces	traces
Matières organiques (exprimées en poids d'oxygène emprunté au permanganate de potasse).....	0,00036	0,00080	0,00048

A tous les points de vue, ces eaux sont bonnes pour l'alimentation.

5° *Eaux.* — Analyse de huit échantillons d'eau devant servir à l'alimentation de divers centres et remis par M. Jullidière, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

N° 1. — Aïn-ben-Amar. — Fontaine A. — Léger dépôt. Limpide, inodore.

N° 2. — Aïn-ben-Omar. — Fontaine B. — Léger dépôt. Limpide, inodore.

N° 3. — Aïn-ben-Amar. — Sources des figuiers. — Sans dépôt. Limpide, inodore.

N° 4. — Village de Sous-Djouab. — Source d'Aïn-Kerma : très légèrement colorée, limpide, inodore.

N° 5. — Village de Sous-Djouab. — Source d'Aïn El-Youd : incolore, limpide, inodore.

N° 6. — Village de Sous-Djouab. — Source Mechta-El-Poul : odeur prononcée, mais fugace d'hydrogène sulfuré, provenant de la décomposition des sulfates en présence des matières organiques. Limpide, mais légèrement colorée.

N° 7. — Village projeté d'Hamadia. — Source d'Aïn-Mektel : limpide, incolore, inodore.

N° 8. — Village projeté d'Hamadia. — Source de l'Oued-Hamadia : limpide, incolore, inodore.

<i>Éléments dosés par litre :</i>	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Résidu à 180°.....	0,2440	0,1600	0,2120	0,4460	0,5420	0,5420	0,5180	0,5460
Chlore.....	0,0225	0,0223	0,0272	0,0371	0,0334	0,0420	0,0215	0,0216
Acide sulfurique.....	0,0137	0,0230	0,0130	0,0171	0,0738	0,1024	0,0566	0,0618
Acide azotique.....	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Chaux.....	0,0520	0,0340	0,0560	0,1600	0,2070	0,2080	0,1880	0,2060
Magnésie.....	0,0197	0,0278	0,0208	0,0259	0,0288	0,0358	0,0432	0,0232
Soude.....		proportions notables pour tous les échantillons						
Potasse.....	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Matières organiques (exprimées en poids d'oxygène emprunté au permanganate de potasse).....	0,00197	0,00175	0,00182	0,00160	0,00058	0,00379	0,00167	0,00153

Au point de vue minéral, les eaux 1, 2, 3, 4, 7 et 8 sont bonnes pour l'alimentation, 5 est passable et 6 médiocre.

Au point de vue organique, elles laissent peu à désirer, sauf pour le n° 6, qui renferme des quantités assez notables de matières organiques.

6° *Eaux.* — Analyse de deux échantillons d'eau, pour l'alimentation de chaudières locomotives, remis par M. Guerlet, Directeur de la Compagnie des chemins de fer sur routes d'Algérie.

N° 1. — Eau de puits. — Deux moulins. — Saint-Eugène.

N° 2. — Eau de Mustapha. — Emplacement de la gare.

<i>Éléments dosés par litre :</i>	N° 1	N° 2
		gr.
Résidu à 180°.....	1,8500	3,0580
Acide chlorhydrique.....	0,5650	0,6298
— sulfurique.....	0,1764	0,1611
— azotique.....	traces	traces
— carbonique.....	0,2976	»
— silicique.....	0,0180	»
Chaux.....	0,1860	0,3794
Magnésie.....	0,1706	0,1323
Soude.....	0,5656	»
Sesquioxyde de fer et alumine.....	trac. notab.	trac. notab.
Matières organiques.....	traces	traces

7° à 31° *Eaux*. — Analyses de 25 échantillons d'eau remis à différentes époques par M. Picard, Ingénieur des Ponts et Chaussées à Alger.

N° 1. — Eau de l'Oued-Ferme. — Puits de M. Humbert.

N° 2. — Eau salée provenant d'Aïn-Oussera. — Échantillon prélevé en juillet 1897.

N° 3. — Eau salée provenant d'Aïn-Oussera. — Échantillon prélevé fin novembre 1897.

N° 4. — Eau dite mélangée d'Aïn-Oussera. — Échantillon prélevé en juillet 1897.

N° 5. — Eau dite mélangée d'Aïn-Oussera. — Échantillon prélevé fin novembre 1897.

N° 6. — Eau dite douce d'Aïn-Oussera (Volume de l'échantillon, 3/4 de litre).

N° 7. — Eau d'un puits creusé à Douéra.

N° 8. — Eau sans désignation.

N° 9. — Ben-Chicao. — Aïn-Ras-el-Oued.

Éléments dosés par litre.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9
Résidu à 180°...	0,4810	14,3899	13,6300	4,7190	4,4260	1,1120	1,5280	1,9980	0,2680
Chlore	0,0316	5,7681	5,1460	1,6243	1,4780	0,2563	0,1893	0,4668	0,0070
Ac. sulfurique..	0,0473	3,0596	2,8573	1,0455	0,9830	0,2720	0,0858	0,4600	0,0144
Acide azotique..	traces	traces	»	t. not.	»	»	forte pr.	traces	»
Ac. carbonique.	0,1490	0,0990	»	»	»	»	n'a pu	0,1980	»
							ét. dosé		
Acide silicique..	0,0195	0,0198	»	»	»	»	»	0,0180	»
Chaux.....	0,1576	0,7532	»	0,3144	»	»	0,2220	0,4780	0,1090
Magnésie.....	0,0355	1,3157	»	0,4002	»	»	0,0584	0,1210	0,0072
Soude.....	0,0446	4,6745	»	»	»	»	»	0,3264	»
Potasse.....	»	tr. not.	»	»	»	»	»	»	»
Sesquioxyde de fer et Alumine.	0,0030	tr. not.	»	»	»	»	»	t. not.	»
Matières organiques (en oxygène absorbé).	tr. lég.	»	»	»	»	»	0,0970	0,0008	0,0002

N° 10. — Aïn-Djerab. Aïn-ben-Yacoub ;

N° 11. — Aïn-R'mel n° 1. Ouled-Brahim ;

N° 12. — Aïn-R'mel n° 2. Ouled-Brahim ;

N° 13. — Aïn-Kebira n° 2. Ouled-Brahim ;

N° 14. — Aïn-Arais n° 2. Ouled-Brahim ;

N° 15. — Aïn-Sbah. 1^{er} abreuvoir. Ouled-Brahim ;

N° 16. — Aïn-Dema. Abreuvoir place. Ouled-Brahim ;

N° 17. — Rira. Eau d'Aïn-Tsarès inférieur.

Éléments dosés par litre.

	N° 10	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17
Résidu à 180°.....	gr. 0,2808	gr. 0,2720	gr. 0,2796	gr. 0,3152	gr. 0,2528	gr. 0,4840	gr. 0,3768	gr. 0,2868
Chlore.....	0,0119	0,0087	0,0116	0,0116	0,0087	0,0217	0,0193	0,0084
Acide sulfurique.....	néant	néant	0,0390	traces	néant	0,0179	t. not.	traces
Chaux.....	»	»	0,1140	»	»	»	»	»
Magnésie.....	»	»	0,0041	»	»	»	»	»
Matières organiques (en oxygène absorbé).	traces	traces	traces	0,00064	0,00096	traces	traces	0,0003

N° 18. — Rira. Eau d'Aïn-Tsarès supérieur ;

N° 19. — Rira. Eau d'Aïn-Tekmouine ;

N° 20. — Oued. Regard de captage ;

N° 21. — Aïn-Cheriff ;

N° 22. — Berrouaghia. Aïn-Saf-Saf ;

N° 23. — Galerie du kil. 122,800 ;

N° 24. — Onamri. Eau d'Aïn-Sidi-Ali ;

N° 25. — Aïn-Arbia. Ouled-Mellal.

Éléments dosés par litre.

	N° 18	N° 19	N° 20	N° 21	N° 22	N° 23	N° 24	N° 25
Résidu à 180°.....	gr. 0,2988	gr. 0,2180	gr. 0,4708	gr. 0,4820	gr. 0,5832	gr. 0,4616	gr. 0,3168	gr. 0,2408
Chlore.....	0,0173	0,0065	0,0510	0,0320	0,0255	0,0150	0,0302	0,0031
Acide sulfurique.....	0,0058	néant	0,0587	0,0374	0,0550	0,0580	0,0210	0,0094
Matières organiques (en oxygène absorbé)....	traces	0,0004						

32° *Eaux*. — Analyse sommaire de dix échantillons d'eaux de puits remis par M. le Maire de la ville d'Alger.

Éléments dosés par litre.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Rés. à 180°..	0,5016	0,5480	0,2320	1,2420	2,8400	2,1990	1,9040	1,1340	1,1870	0,7400
Chlore.....	0,0542	0,0845	0,0371	0,2020	0,2535	0,6389	0,5716	forte pr.	0,4400	0,1000
Acide sulfu- rique.....	0,0319	0,0315	0,0165	0,0810	1,119	0,1830	0,1960	id.	0,1040	0,0500
Chaux.....	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,1800
Matières or- gan. ex- primées en poids d'oxy- gène em- prunté au permanga- nate de po- tasse.....	0,00188	0,00175	0,00056	0,0014	»	0,0017	0,0016	0,0011	0,0010	traces

IV. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. SERGÈRE, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

1 à 4° *Lignites*. — 1) Lignite déposé par M. Politano, provenant de Sedrata.

2) Lignite déposé par M. Espérandieu, contrôleur des Mines; même provenance que le précédent.

3) Lignite déposé par M. Barboutie, provenance du Douar Maïda, commune mixte de Sedrata.

4) Lignite, déposé par M. Foulquier, contrôleur des Mines, provenance de Fedj M'Zala.

Les analyses donnent :

	1	2	3	4
Cendres.....	10,28	9,5	25,60	14,00
Matières volatiles.....	68,12	67,4	34,12	41,60 (Eau 3,25)
Carbone fixe.....	21,60	23,1	40,28	44,40
Pouvoir calorifique.....	4.728 calories		4.128	4.542

Dans l'évaluation du pouvoir calorifique de ces combustibles on a pris le chiffre 7.815, comme représentant la quantité de calories dégagées par la combustion du carbone pur.

§ 2. — MINÉRAIS.

1° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine, au nombre de 18, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant du Djebel-Youcef, région de Sétif.

	Teneur p. 100.
N° 1. — Calamine tendre en petits feuillets, d'aspect crayeux	Zn = 44,02
N° 2. — Calamine dure veinée	48,60
N° 3. — Débris pulvérulents jaune rougeâtre. — Inspection minéralogique négative	43,60
N° 4. — Calamine poreuse parsemée de nombreuses cavités	36,41
N° 5. — Calamine rouge compacte	27,72
N° 6. — Comme le n° 2.....	48,91
N° 7. — Calamine rouge très poreuse.....	44,02
N° 8. — Divers { calamine grise en zones } moyenne... { calamine rouge en zones }	47,83
N° 9. — Comme le n° 1.....	46,75
N° 10. — En poussière.....	48,80
N° 11. — Calamine mamelonnée vert bleuâtre	50,00
N° 12. — Aspect calcaire, dense. — Inspection minéralogique négative.....	48,91
N° 13. — Calamine cristallisée.....	50,55
N° 14. — Calamine grise en zones.....	44,56
N° 15. — Comme le n° 3.....	47,83
N° 16. — Calamine massive rose.....	44,02
N° 17. — Calamine plombreuse avec traces de cuivre.....	6,52
N° 18. — Comme le n° 14.....	47,83

2° *Minerai de zinc*. — Calamine déposée par M. Barroz, provenance du Djebel-Chelia près Khenchela: calamine rouge ferrugineuse.

Teneur en zinc : 42,80 p. 100.

3° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine plombreuse, au nombre de 3, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant du Djebel-Chelia, près Khenchela.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

37,50 — 45,00 — 38,40.

4° *Minerai de zinc*. — Calamine rouge, cariée, déposée par M. Dargent; provenance, Djebel Ouasta et Boutiba, région de Souk-Ahras.

Teneur en zinc : 44,40 p. 100.

5° *Minerais de zinc*. — Échantillons avec mouches de galène, déposés par M. Betch et provenant du Douar Ouled-Soukiès, commune mixte de Souk-Ahras.

L'analyse a donné :

18,5 p. 100 de zinc.

6° *Minerais de zinc*. — Huit échantillons de zinc silicaté, déposés par M. Grand, Contrôleur des Mines, provenant de Beccaria, région de Tébessa.

Ces minerais donnent aux acides minéraux un abondant résidu de silice en gelée. L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

44,80 — 48,40 — 52,00 — 47,20 — 34,30 — 51,20 — 51,85 — 48,46

7° *Minerais de zinc*. — Échantillon de zinc silicaté, déposé par M. Achille Gustave et provenant du lieu dit « Les Trois-Chênes », région de Tébessa.

L'analyse a donné :

42,80 p. 100 de zinc.

8° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine et roches calaminaires, au nombre de 36, déposés par M. Gouvernaire, provenant du Djebel-Guergour.

	Teneur en zinc, p. 100.
N° 1. — Calamine pseudo-cristalline blanche en petits mamelons dans des géodes.....	Zn = 50,75
N° 2. — Calamine en petites zones avec fer hydroxydé..	46,64
N° 3. — Inspection minéralogique négative. — Échantillon dense.....	7,26
N° 4. — Calamine et fer hydroxydé, avec galène.....	43,80
N° 5. — Calamine rouge brun, manganésée.....	42,24
N° 6. — Roche ferrugineuse compacte dense.....	41,78
N° 7. — Même aspect que le n° 6, mais plus friable....	34,24
N° 8. — Calamine en petites zones et fer hydroxydé....	47,26
N° 9. — Calamine comme le n° 1, oxyde de fer, strates épaisses bien dessinées.....	47,94
N° 10. — Calamine en petites zones mal dessinées.....	39,72
N° 11. — Calamine en petites zones, criblée de petites cavités.....	41,78
N° 12. — Calamine non zonée, criblée de petites cavités..	45,21
N° 13. — Roche parsemée de géodes, ces dernières avec enduit mince de calamine cristalline.....	31,50

N° 14. — Fer hydroxydé parsemé de petites cavités.....	Zn = 28,09
N° 15. — id. id.	26,03
N° 15 bis. id. id.	26,71
N° 16. — id. id.	28,09
N° 17. — Inspection minéralogique négative.....	34,50
N° 18. — Fer hydroxydé. — Nombreuses petites cavités..	26,37
N° 19. — Inspection minéralogique négative.....	43,84
N° 20. — Calamine rouge en zones minces.....	46,64
N° 21. — Calamine blanc grisâtre en zones bien dessinées.	47,26
N° 22. — Calamine en concrétions sur roche; fer oxydé..	45,21
N° 23. — Comme le n° 21.....	46,64
N° 24. — Calamine cristallisée, fer oxydé.....	45,89
N° 25. — Calamine rouge; zones bien dessinées.....	45,21
N° 26. — Inspection minéralogique négative.....	42,83
N° 27. — Zinc silicaté avec traces de carbonate.....	47,94
N° 28. — Zinc carbonaté cristallisé avec oxyde de fer....	49,34
N° 29. — Comme les n° 14, 15, 16; cristaux blancs plus abondants.....	38,61
N° 30. — Calamine. — Plomb sulfuré. — Fer oxydé.....	36,97
N° 31. — Inspection minéralogique négative.....	41,08
N° 32. — Calamine rouge zonée.....	41,78
N° 33. — Inspection minéralogique négative.....	41,78
N° 34. — Calamine zonée; nombreuses parties cristallines.	43,85
N° 35. — Calamine cristallisée, comme au n° 34.....	46,64

Toutes ces calamines ont, comme gangue, du calcaire faiblement argileux; à part le n° 27, qui donne, après attaque aux acides minéraux, de la silice en gelée, tous ces échantillons sont presque entièrement solubles.

9° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine gris rougeâtre, à gangue calcaire et argileuse, au nombre de 25, déposés par M. Sogno, Ingénieur de la Compagnie Royale Asturienne et provenant de la station de l'Oued Mougras.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

41,38 — 41,56 — 37,70 — 38,48 — 37,20 — 39,45 — 20,28 — 23,25 — 33,33 — 12,26 — 39,45 — 18,45 — 28,40 — 30,25 — 29,00 — 15,25 — 31,25 — 23,50 — 21,22 — 14,28 — 28,50 — 33,20 — 32,28 — 36,55 — 41,29.

10° *Minerais de zinc*. — Échantillons, au nombre de 5, déposés par M. Guillier, provenant du Douar Anini, commune mixte d'Aïn-Abessa. Deux échantillons sont constitués par du zinc silicaté, les trois autres par du zinc carbonaté :

	Silicaté	Carbonaté
Teneurs en Zn, p. 100....	28,2 — 47,60	48,45 — 30,75 — 31,25.

11° *Calcaires zincifères*. — Échantillons au nombre de trois, déposés par MM. Haim Boubli et Durand, et provenant du Douar-Aouaïds : calcaire ferrugineux ayant l'apparence de calamine.

Teneur en zinc, p. 100 :

10,25 — 11,45 — 18,26.

12° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté à gangue calcaire, au nombre de 4, déposés par M. Sogno, Ingénieur de la Compagnie Royale Asturienne; provenance, Coudiat Tabet et Beroug, Oued-Ras-Daro.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

42,26 — 48,20 — 42,26 — 24,30.

13° *Minerais de zinc*. — Échantillons au nombre de six, déposés par M. Henriot et provenant de Bou-Taleb. Ces échantillons sont constitués par de la blende, du silicate de zinc, ce dernier paraissant être un produit d'altération du premier minéral; enfin par du plomb carbonaté.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

42,26 — 43,40 — 46,25 — 40,30 — 39,80 — 48,85.

14° *Minerais de zinc*. — Échantillons de blende et zinc carbonaté, au nombre de 8, déposés par M. Gouvernaire et provenant d'Ouled-Abdallah, Douar Aïn-Turk, commune mixte des Maadids.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

33,7 — 43,1 — 48,4 — 47,8 — 40,40 — 38,7 — 46,9 — 46,25.

15° *Minerais de zinc*. — Échantillon de blende et zinc carbonaté déposé par M. Hagelstein et provenant du Djebel-Bou-Zitoun (Héliopolis).

Teneur en zinc, p. 100..... 39,9.

16° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté à gangue calcaire, au nombre de 8, déposés par la Compagnie de la Vieille-Montagne et provenant du Djebel-Forer.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

33,5 — 49,8 — 8,30 — 7,40 — 47,30 — 9,45 — 8,25 — 8,70.

17° *Minerai de zinc et de cuivre*. — Échantillon de zinc carbonaté et cuivre carbonaté à gangue calcaire, déposé par M. Espitallier

et provenant du Djebel-Mezouzia, Douar Belkiff, commune mixte de Morsott.

L'analyse a donné :

29,9 p. 100 de zinc et 10,50 p. 100 de cuivre.

18° *Minerais de zinc*. — Échantillon de zinc carbonaté calcaire ferrugineux déposé par M. Botti Michel, provenant du Djebel-Bou-Romane, commune mixte de Morsott.

Teneur en zinc, p. 100..... 30,40.

19° *Minerai de zinc*. — Échantillon de zinc carbonaté à gangue calcaire ferrugineuse, déposé par M. Barroz et provenant d'El-Amara, commune mixte des Bibans.

L'analyse a donné :

28,40 p. 100 de zinc.

20° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté à gangue calcaire et avec fer oxydé, au nombre de 2, déposés par M. Durand et provenant d'Ouled-Messaoud, Ouled-Driss, douar Bou-Hadjar.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

39,00 — 42,20.

21° *Minerais de zinc*. — Échantillons déposés par M. Lantenois, Ingénieur des Mines.

a. Zinc carbonaté calcaire ferrugineux, provenant de Chabet M'Sala;

b. Calcaire zincifère provenant de Kef-Chelala;

c. Zinc carbonaté à gangue calcaire avec oxyde de fer provenant de l'Oued-Mougras (2 échantillons);

d. Zinc carbonaté à gangue calcaire avec oxyde de fer provenant de Sidi-Youcef (2 échantillons);

e. Blende, zinc carbonaté, zinc silicaté provenant de Bou-Taleb (3 échantillons).

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

a	b	c	d	e
48,75	13,80	48,75 — 49,50	39,45 — 43,40	51,40 — 49,80 — 47,50

22° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine, au nombre de six, déposés par M. Guillier.

a. Calamine blanche pseudo-cristalline avec calcaire provenant de Ghar-el-Ma, Douars Ouled-Teer, Ouled-Abdallah, Ouled-Ayad.
 b, c, d, e, f. Zinc carbonaté à gangue calcaire provenant de Beni-Yalla, Douar-Arbib, commune mixte de Guergour.
 L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

a	b	c	d	e	f
38,7	traces	traces	traces	45,50	traces

23° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté argilo-ferrugineux, au nombre de 2, déposés par M. Tysseire et provenant de Zarza, Douar Mougla, commune mixte de Fedj M'Zala.
 L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

36,24 — 28,40.

24° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté calcaire ferrugineux, au nombre de 14, déposés par la Société des Mines de Rouached et provenant des Douars Bainan et Chigharra, commune mixte de Fedj M'Zala, commune de plein exercice de Sidi-Merouan.
 L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

24,30 — néant — 24,20 — 11,00 — 31,30 — 16,90 — 12,00 — 29,90
 — 15,00 — 22,00 — 10,00.

25° *Minerais de zinc*. — Échantillons, au nombre de 2, avec blende cristallisée, remis par MM. Politano et Teissier, et provenant du Douar Tinalguet, commune mixte de Sedrata.
 L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

33,50 — 30,30.

26° *Minerai de zinc*. — Échantillon de zinc silicaté déposé par M. Vidal, et provenant du communal de Tiguelaligue, commune mixte de Sedrata.

Teneur en zinc, p. 100..... 42,26

27° *Minerais de zinc*. — Échantillon de zinc silicaté, à gangue argilo-ferrugineuse, déposé par MM. Plancard et Cast, et provenant du Kanguet-el-Mouhed.
 L'analyse a donné :

43,80 p. 100 de zinc.

28° *Minerais de zinc*. — Échantillons, au nombre de 9, déposés par M. Verdier, Ingénieur de la C^e de la Vieille-Montagne et provenant du Djebel-Tarerbit.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zinc.....	39,5	34,05	40,96	38,80	20,24	22,80	39,50	30,55	41,70
Cuivre.....	»	tr. notables	»	0,50	7,90	»	0,33	»	»

29° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine à gangue calcaire ferrugineuse, au nombre de 17, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant des gisements de Rouached.
 L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

4,88 — zéro — traces — traces — 43,06 — 38,8 — 40,90 — 36,1 — 29,80
 45,8 — 45,40 — 34,7 — 46,8 — 48,7 — 40,70 — 50,00.

30° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté avec blende, au nombre de 7, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant d'Ouled-Abdallah, Douar Aïn-Turk, commune mixte des Maadids.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

47,60 — 48,40 — 49,50 — 47,10 — 49,70 — 16,60 — 45,40.

31° *Minerais de zinc*. — Échantillons de zinc carbonaté avec oxyde de fer, au nombre de 2, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant d'El-Amra, près Mansourah, commune mixte des Bibans.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

32,28 — 34,30.

32° *Minerais de zinc*. — Échantillons, au nombre de trois, déposés par M. Grand, Contrôleur des Mines.

a. Mélange de zinc carbonaté et zinc silicaté, ce dernier prédominant, provenant de Fedj-Kroum ;
 b. Calamine plombeuse, très pauvre, provenant de Fedj-Guema ;
 c. Zinc carbonaté avec gangue argileuse, provenant du 18^e kil. de la route de Souk-Ahras à Bou-Hadjar.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

a	b	c
37,40	Plomb 4,80 — Zinc 8,58	33,20.

33° *Minerais de zinc*. — Échantillon de zinc carbonaté, calcaire, déposé par M. Livon et provenant du Coudiat-el-R'sass.

L'analyse a donné :

46,1 p. 100 de zinc.

34° *Minerais de zinc*. — Échantillons de calamine rouge ferrugineuse déposés par M. Tisseyre et provenant du Djebel-bou-Cherf, commune mixte de Fedj-M'Zala.

L'analyse a donné :

33,80 p. 100 de zinc.

35° *Minerais de plomb*. — Échantillons de galène et plomb carbonaté, déposés par M. Henriot et provenant de Bou-Taleb.

L'analyse a donné :

32,30 p. 100 de plomb.

et 400 grammes d'argent par tonne de minerai.

36° *Minerais de plomb*. — Échantillons de galène à grains fins, déposés par M. Grand, Contrôleur des Mines, et provenant de Fedj-Guema.

L'analyse a donné :

42,26 p. 100 de plomb,

et 500 grammes d'argent par tonne de minerai.

37° *Minerais de plomb*. — Échantillons de galène à facettes moyennes avec gangue calcaire, déposés par M. Émile Lemoine, et provenant des Douars Ouled-Tanza et Boudarem.

L'analyse a donné :

39,26 p. 100 de plomb,

et 250 grammes d'argent par tonne de minerai.

38° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de cuivre gris avec pyrite de fer et fer oxydé, déposés par M. Puivarge et provenant des Douars Roussia et Zouagha, commune mixte de Fedj M'Zala.

L'analyse a donné :

Douar Roussia	{	Cuivre . . .	32,28 p. 100.
		Argent . . .	300 grammes par tonne de minerai.
Douar Zouagha	{	Cuivre . . .	18,75 p. 100.
		Argent . . .	800 grammes par tonne de minerai.

39° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de cuivre gris avec calcaire, déposés par M. Foulquier, et provenant de Beni-Felkai, commune mixte de Takitount.

L'analyse a donné :

21,5 p. 100 de cuivre,
et 200 grammes d'argent par tonne de minerai.

40° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de cuivre gris disséminé dans une gangue calcaire, déposés par MM. Bacrie et Jaïs et provenant de Djil-Oum-Djin, région de Khenchela.

L'analyse a donné :

15,30 p. 100 de cuivre,
et 350 grammes d'argent par tonne de minerai.

41° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de pyrite cuivreuse (chalkopyrite) avec gangue argileuse et calcaire dolomitique, déposés par M. Dampeine et provenant des Douars des Beni Foughal et des Beni-Zoundai.

L'analyse a donné les teneurs de cuivre suivantes, p. 100 :

22,20 — 25,20 — 26,40 — 25,30 — 23,30 — 6,25.

Un essai pour argent sur chacun de ces échantillons a donné un résultat négatif.

42° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de cuivre carbonaté bleu, associé avec de la calamine, déposés par M. Espitallier et provenant du Djebel Mezouzia, Douar Belkif, commune mixte de Morsott.

L'analyse a donné :

10,50 p. 100 de cuivre.

43° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de pyrite cuivreuse, au nombre de trois, déposés par MM. Tisseyre et Dampeine et provenant du Djebel el Dardara.

L'analyse a donné les teneurs de cuivre suivantes, p. 100 :

24,10 — 27,00 — 26,00.

44° *Minerais de cuivre*. — Échantillons avec mouches de cuivre carbonaté bleu dans une gangue argilo-calcaire, déposés par M. Bigonnet et provenant d'Ouled-Sidi-Amasser, près Mansourah.

L'analyse a donné :

10,52 p. 100 de cuivre.

45° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de cuivre gris, presque exempt de gangue, en petites plaquettes, déposés par M. Émile Lemoine et provenant des Douars Ouled Tamza et Boudarem.

L'analyse a donné :

19,24 p. 100 de cuivre,
et 750 grammes d'argent par tonne de minerai.

46° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de pyrite cuivreuse déposés par M. Dumas Félix et provenant du centre de la Réunion, commune mixte de la Souman.

L'analyse a donné :

12,25 p. 100 de cuivre.

47° *Minerais de cuivre*. — Échantillons de chalkopyrite à gangue argilo-calcaire, déposés par M. Guignot et provenant de la région de Djidjelli.

L'analyse a donné :

18,40 p. 100 de cuivre,
argent : néant.

48° *Minerais de mercure*. — Échantillons de cinabre avec gangue calcaire dolomitique, déposés par MM. Camillieri et Pérez, M. Martin Jean, et M. Lantenois, Ingénieur des Mines, et provenant du Djebel-Souabah, commune mixte de Sedrata.

L'analyse a donné les teneurs de mercure suivantes, p. 100 :

38,24 — 32,23 — 45,50.

49° *Minerais de mercure*. — Échantillons de cinabre, avec gangue de marne ou de baryte sulfatée, déposés par M. Lagache, provenant de la concession de Taghit, et pris soit sur le carreau de la mine, soit dans les galeries :

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100 :

2,10 — 12,50 — 2,70 — 0,50 — 2,40 — 1,80 — 1,00 — 2,05 — 5,05
— 1,50 — 1,40 — 3,55 — 1,75.

§ 3. — PYRITE ET SOUFRE.

- 1° à 3° *Pyrite jaune*. — Échantillons de pyrite exempte d'arsenic.
1. — Déposé par M. Marazzo et provenant de l'Oued Ramèche, Douar Arb-el-Goulli ;
 2. — Déposés par M. Foulquier, et provenant de Beni-Seghoual ;
 3. — Déposés par M. Benoit et M. de Casembroat et provenant de Ziama.

L'analyse a donné les teneurs de soufre suivantes, p. 100 :

1	2	3
49,20	50,84	51,04

4° *Minerais de soufre*. — Échantillons déposés par M. Fournier et provenant de Guelma.

Ils sont constitués par une roche bitumineuse avec filets de gypse et plaques de soufre natif.

Une analyse faite sur un échantillon choisi a donné :

Soufre : 32,2 p. 100.

Soufre du sulfate : 8,44 p. 100.

§ 4. — ROCHES PHOSPHATÉES ET ENGRAIS.

1° *Phosphates de chaux*. — Échantillons, au nombre de 16, de phosphate noir, dur, compact, bitumineux, parsemé de petits points blancs ou de petites surfaces blanches, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant de la région de Tocqueville.

L'analyse a donné les teneurs suivantes en phosphate tribasique :

52,86 — 53,02 — 50,09 — 62,78 — 58,60 — 55,93 — 58,60 — 57,74
32,92 — 63,61 — 41,70 — 50,23 — 62,78 — 42,14 — 44,52 — 55,81.

2° *Roche phosphatée*. — Échantillons, au nombre de 2, de roche phosphatée d'un gris sale, parsemée de points noirs, déposés par M. Ben Ganah et provenant d'Ouled-Rhamoun.

L'analyse a donné les teneurs suivantes en phosphate tribasique :

26,09 et 33,09 p. 100.

3° *Marnes phosphatées*. — Échantillons, au nombre de 3, couleur gris foncé, parsemés de points noirs, déposés par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant de Zerguet-Touila.

L'analyse a donné les teneurs suivantes, p. 100, en phosphate tribasique :

6,99 — 45,32 — 24,72.

4° *Roches phosphatées*. — Échantillons, au nombre de 8, déposés par M. Grand, Contrôleur des Mines, et provenant du territoire militaire de Khenchela.

Roche d'un gris sale, ponctuée de petits points noirs et de surfaces blanches avec dents de squales par endroits.

L'analyse a donné les teneurs suivantes en phosphore tribasique :

Djebel-Mhadjib, Grande Tranchée	41,85
Zoui-Djebel-Tadinart n° 1.....	50,22
Zoui-Djebel-Tadinart n° 1 bis	44,64
Djebel-Sfa-Kanga, 2° couche.....	42,94
Kanga, couche du mur	47,83
Djebel-Mekired	43,24
Djebel-Rhafès	44,64
Hamen.....	45,33

5° *Roche phosphatée*. — Échantillon de roche grise parsemée de petits points noirs, déposé par M. Dussourd et provenant d'El-Guerrah.

L'analyse a donné, comme teneur en phosphate tribasique :

25,11 p. 100.

6° *Roche phosphatée*. — Échantillon de roche grise, parsemée de petits points noirs, déposé par M. Lagarde et provenant de sa propriété à Sétif. Même aspect que l'échantillon précédent.

L'analyse a donné, comme teneur en phosphate tribasique :

35,14 p. 100.

7° *Guano*. — Deux échantillons :

a. Déposé par M. Foulquier, Contrôleur des Mines, et provenant d'Aïn-Abid ;

b. Déposé par MM. Gros et Fontana, et provenant de Djebel-Belkif.

	a	b
Humidité.....	11,20	8,01
Phosphate de chaux.....	12,64	7,08
Azoté total	6,25	7,46
Azote nitrique.....	néant	néant

V. — LABORATOIRE D'ORAN

Travaux de M. PONCELET, Contrôleur des Mines. (EXTRAIT.)

§ 1. — MINÉRAIS.

1° *Minerais de fer*. — Échantillons remis par M. Ravier, Ingénieur des Mines, et provenant de Bab-M'Teurba.

a. Hématite brune manganésifère ;

b. Hématite rouge siliceuse.

	a	b
Eau combinée et humidité.....	9,00	1,70
Silice.....	3,20	32,35
Chaux.....	fortes traces	traces
Alumine.....	néant	0,10
Peroxyde de fer.....	79,72 (Fe 55,87)	64,94 (Fe 45,51)
Peroxyde de manganèse.....	7,11 (Mn 4,50)	0,47 (Mn 0,30)
Acide carbonique.....	néant	traces
Acide phosphorique.....	<i>id.</i>	néant
	99,03	99,56

2° *Minerais de fer*. — Échantillons remis par M. Ravier, Ingénieur des Mines, et provenant de Dar-Rih.

a. Galerie en direction, inférieure ;

b. Minerai violet ; galerie en direction, supérieure ;

c. Galerie transversale.

	a	b	c
Densité.....	3,714	3,300	3,750
Silice.....	1,00	0,83	3,50
Peroxyde de fer.....	87,60	83,95	91,24
Fer métallique.....	(61,32)	(58,76)	(63,67)
Peroxyde de manganèse.....	2,66	2,85	2,76
Manganèse métallique.....	(1,65)	(1,80)	(1,75)
Alumine.....	0,48	0,20	0,18
Chaux, soufre, phosphore.....	traces	traces	néant
Eau combinée.....	7,50	9,50	2,40
	99,24	97,35	100,08

3° *Minerais de fer*. — Analyse de 2 échantillons remis par M. le capitaine Redier, comme provenant du Djebel-Hamman, environs de Méléilia (Maroc).

a. Fer oligiste compact ;

b. Fer oligiste micacé pulvérulent.

On a dosé :

	a	b
Peroxyde de fer.....	96,98 (Fe 67,89)	89,68 (Fe 62,78)
Peroxyde de manganèse.....	faibles traces	faibles traces
Gangues.....	3,02	10,32
	100,00	100,00

4° *Minerai de zinc*. — Échantillon de blende amorphe, de couleur gris jaunâtre, provenant du massif des Anstras.

Soufre.....	31,78
Zinc.....	67,20
Acide carbonique.....	néant
	98,98

5° *Minerai de zinc*. — Échantillon composé d'un mélange de calamine, de blende amorphe et de galène, provenant du massif des Anstras, recherches de M. Fabriès.

Perte à 100°.....	0,15
Acide carbonique.....	5,46
Silice.....	4,50
Soufre.....	19,68
Peroxyde de fer.....	2,40
Chaux.....	0,30
Plomb.....	10,44
Zinc.....	55,24
Antimoine.....	traces
	98,17

6° *Minerais de zinc*. — Échantillon de minerai des Anstras remis par M. Eich, et prélevé de manière à représenter la composition moyenne du minerai.

Perte à 100°.....	néant
Acide carbonique.....	1,65
Silice.....	6,80
Soufre.....	21,78
Peroxyde de fer.....	8,68
Plomb.....	15,64
Zinc.....	42,42
Chaux.....	traces
	96,97

7° *Minerai de zinc*. — Échantillon de calamine, remis par M. Guillet, provenant du rocher dit Azerou, aux Portes-de-Fer, département de Constantine.

Humidité à 100°.....	0,70
Eau d'hydratation.....	6,20
Acide carbonique.....	19,70
Silice.....	7,60
Oxyde de zinc.....	57,45 (Zn = 45,96)
Peroxyde de fer et alumine.....	4,00
Chaux.....	3,36
	99,01

8° *Minerai de cuivre*. — Échantillon de cuivre sulfuré avec quelques mouches de cuivre carbonaté vert et gangue siliceuse, remis par M. Guillet et provenant d'Aïn-Sultan.

Résidu insoluble (silice et quartz).....	69,10
Peroxyde de fer et alumine.....	15,10
Cuivre.....	12,00
Soufre et non dosé (par différence).....	3,80
	100,00

§ 2. — PHOSPHATES ET ENGRAIS.

1° *Phosphate de chaux*. — Échantillon remis par M. Guillet, comme provenant de Tocqueville.

On a dosé :	p. 100
Acide phosphorique.....	30,24

correspondant à :

Phosphate tricalcique.....	66,53.
----------------------------	--------

2° *Guano*. — Échantillon remis par M. le capitaine d'artillerie Linglet, comme provenant des grottes à chauves-souris.

Humidité.....	31,82
Matière organique.....	35,95
Cendres (matière minérale).....	32,23
	100,00

Sur la matière desséchée à 110°, on a dosé :

Azote.....	p. 100
Acide phosphorique.....	5,95
	7,37

§ 3. — EAUX.

1° *Eaux minérales*. — Eau de la source du lac Mouélah, près Saint-Leu, remise par M. Ravier, Ingénieur des Mines.

	gr.
Résidu fixe à 180°.....	15,750
Acide carbonique total.....	1,660
Acide carbonique dissous.....	0,830
Acide carbonique des carbonates neutres..	0,830
Acide sulfurique.....	2,002
Chlore.....	5,830
Silice.....	0,052
Peroxyde de fer et alumine $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fe}^2\text{O}^3 = 0,020 \\ \text{Al}^2\text{O}^3 = 0,038 \end{array} \right\}$	0,058
Chaux.....	1,329
Magnésie.....	0,920
Sodium.....	4,729
	15,750

2° Eau. — Eau des sources de Aïn-Skouna et M'Kaneg, remise par le Syndicat des eaux de Chanzy.

	Aïn-Skouna	M. Kaneg
Degré hydrométrique.....	31°	33°
Résidu fixe à 180°, par litre.....	0 ^{sr} .564	0 ^{sr} .480
Acide carbonique total.....	0,180	0,191
Acide carbonique des carbonates neutres.....	0,0900	0,0955
Silice.....	0,0160	0,0140
Acide chlorhydrique.....	0,0764	0,0582
Acide sulfurique.....	0,0680	0,0510
Chaux.....	0,1264	0,1340
Magnésie.....	0,0720	0,0576
Sodium correspondant à l'acide chlorhydrique...	0,0464	0,0354
Matières organiques.....	fort. prop.	quant. not.
	0,4952	0,4457

3° Eau. — Eau de Tessela, kilomètre 33 de la route d'Aïn-Sefra à Géryville, remise par M. Ravier, Ingénieur des Mines.

Degré hydrométrique.....	42°
Résidu fixe à 180° par litre.....	1 ^{sr} .424
Chlore.....	0,241
Acide sulfurique.....	0,357
Acide carbonique des carbonates neutres..	0,099
Silice.....	0,044
Chaux.....	0,152
Magnésie.....	0,058
Sodium.....	0,316
Non dosé et pertes.....	0,187
	1,424

BULLETIN.

RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION MINÉRALE DU CANADA EN 1898 (*).

	QUANTITÉS	VALEURS
<i>1° Métaux (1).</i>		
	tonnes métr.	francs
Cuivre.....	8.143	11.186.500
Plomb.....	14.477	6.249.147
Nickel.....	2.503	9.431.941
Argent (en kilogrammes).....	137.900 kg.	13.381.484
Or.....	—	70.966.000 ⁽²⁾
Valeur totale des métaux.....		111.215.072
<i>2° Matières minérales.</i>		
	tonnes métr.	
Charbon.....	3.784.598	42.620.822
Coke.....	65.707	1.135.456
Pétrole.....	90.262	5.082.129
Gaz naturel.....	—	1.657.600
Minéral de fer.....	52.752	790.002
— de manganèse.....	45	8.288
Pyrites.....	29.222	667.557
Fer chromé.....	1.833	125.625
Graphite.....	—	57.488
Sel.....	51.828	1.287.950
Ocre.....	2.123	96.348
Baryte.....	970	27.236
Gypse.....	198.865	1.193.679
Phosphate de chaux (apatite).....	665	18.985
Feldspath.....	2.267	32.375
Castine.....	30.759	161.373
Sable de moulage.....	9.589	108.977
Argile réfractaire.....	197	25.900
Poteries.....	—	699.300
Terre de pipe.....	—	862.061
Tripoli.....	922	86.299
Terre cuite.....	—	869.732
Amiante.....	21.573	2.513.656
Mica.....	—	609.158

(1) Métaux contenus dans les minerais extraits.

(2) Dont 51.800.000 francs pour le district de Yukon (estimation).

(*) Renseignements provisoires.

	QUANTITÉS	VALEURS
	tonnes métr.	francs
Pierres à meules.....	—	204.429
Ardouises.....	—	211.297
Pierre à paver.....	—	22.015
Granite.....	—	381.108
Ciment naturel.....	11.222	380.274
— Portland.....	21.005	1.679.190
Matériaux de construction (comprenant les briques, tuiles, pierre à bâtir, sable, gravier).....	—	18.648.000
Eaux minérales.....	—	802.900
Substances non dénommées.....	—	1.295.000
 Valeur totale des matières minérales..		84.367.209
Récapitulation :		
Métaux.....	—	111.215.072
Matières minérales.....	—	84.367.209
Total général.....	—	195.582.281

(Extrait du Geological Survey of Canada.)

LE NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE

Par M. CHARLES LALLEMAND, Ingénieur en Chef des Mines,
Directeur du Service du Nivellement général,
Membre du Bureau des Longitudes.

CHAPITRE PREMIER.

PROGRAMME.

I. — AVANT-PROPOS.

La plupart des travaux qui ont le sol pour théâtre supposent une connaissance très exacte du relief du sol. Avant d'entreprendre la construction d'un chemin de fer, d'une voie navigable, d'une route ou d'un chemin, l'établissement d'une conduite d'eau, d'un canal de drainage ou d'irrigation, on commence par faire le levé topographique à grande échelle et le nivellement de tout le pays à traverser, de manière à pouvoir reconnaître le parcours le plus avantageux au point de vue des dénivellations à franchir, calculer la hauteur des remblais à élever ou la profondeur des tranchées à ouvrir, déterminer l'importance des ouvrages d'art à édifier, ou bien mesurer les pentes et les rampes que présentera la route ou le chemin de fer une fois établi. La solution de ces divers problèmes suppose des nivellements très exacts (*).

(*) Pour donner une idée de l'intérêt qui s'attache à une détermination précise des déclivités, il suffira, par exemple, de rappeler qu'une rampe de 3 millimètres par mètre diminue de moitié la puissance de traction d'une locomotive. Avec une rampe de 24 millimètres par

De même que la planimétrie d'un vaste territoire a pour base un réseau de grands triangles de premier ordre, dont les sommets fournissent des repères certains de rattachement pour les triangulations ultérieures de détail, de même l'hypsométrie générale doit reposer sur un réseau de nivellements de haute précision, avec repères fixes, sur lesquels viendront ensuite se greffer les nivellements secondaires.

Jusque vers le milieu de ce siècle, les *altitudes* inscrites sur les cartes — et c'est encore actuellement le cas pour notre carte dite de l'état-major — étaient exclusivement fournies par le *nivellement géodésique*, c'est-à-dire qu'elles étaient déduites de la triangulation, concurremment avec la *longitude* et la *latitude* des points trigonométriques.

Mais, en raison de la réfraction atmosphérique, qui dévie d'une manière importante les visées, longues de plusieurs kilomètres, de la triangulation, le nivellement géodésique ne saurait rivaliser, comme précision, avec le nivellement à très courtes portées horizontales.

II. — NIVELLEMENT DE BOURDALOUË.

C'est Bourdalouë, Conducteur des Ponts et Chaussées (*), qui, le premier, il y a un demi-siècle, eut le mérite de montrer qu'en raccourcissant à une centaine de mètres les visées on obtient des résultats cent fois plus précis.

Cet habile opérateur s'était distingué dans l'exécution

mètre, cette puissance est réduite au *dixième*. En d'autres termes, une machine qui pouvait remorquer 800 tonnes sur une voie horizontale n'en peut plus trainer que 80 sur la rampe en question.

(*) Bourdalouë (Paul-Adrien), né en 1792 et mort en 1868 à Bourges (Cher), a introduit de nombreux perfectionnements dans les méthodes et les instruments de nivellement; on lui doit notamment la substitution de la *mire parlante* à la *mire à coulisse* et l'emploi systématique d'opérations multiples se contrôlant l'une par l'autre.

de nivellements pour des travaux de chemins de fer. La notoriété qu'il s'était acquise lui valut, en 1847, l'honneur d'être choisi pour vérifier la différence de niveau entre la mer Rouge et la Méditerranée, en vue du percement de l'isthme de Suez.

D'après un nivellement exécuté au commencement du siècle, pendant l'expédition d'Égypte, il devait exister entre les deux mers une dénivellation de 10 mètres. Contrairement à cette assertion célèbre, sur laquelle on vivait depuis plus de cinquante ans, Bourdalouë établit que les deux mers ont rigoureusement le même niveau. L'absence de courant régulier dans le canal une fois ouvert a prouvé l'exactitude de ses opérations.

Dès ce moment sa réputation était consacrée, et, dix ans plus tard, le Ministre des Travaux publics n'hésitait pas à lui confier l'exécution du premier réseau de lignes de base, connu depuis sous le nom de *Nivellement Bourdalouë*.

Cette opération arrivait à son heure et se réclamait de besoins impérieux.

Les nivellements locaux étaient rapportés aux plans de comparaison les plus divers, passant, les uns sous le terrain à représenter, les autres à une grande hauteur au-dessus.

Chaque nivellement local ou régional avait ainsi son point de départ, choisi plus ou moins arbitrairement. Ces divers points, d'ailleurs, n'étaient pas toujours reliés entre eux, et, dans les cas fréquents où deux réseaux se pénétraient mutuellement sans que l'on connût la dénivellation de leurs zéros, il était impossible de connaître les hauteurs relatives des points de l'un des réseaux par rapport à ceux de l'autre. Parfois même, on trouvait côte à côte, sur un bâtiment, des repères appartenant à des nivellements distincts, rapportés à des origines différentes, ce qui donnait lieu à d'incessantes confusions.

Cette diversité des niveaux de comparaison avait de graves inconvénients et empêchait fréquemment de tirer tout le parti possible des repères. Souvent un nivellement effectué en vue d'un travail se trouvait inutilisable pour une autre opération.

Ces inconvénients devinrent surtout sensibles lorsque, vers 1855, la création des chemins de fer et l'extension des voies navigables eurent imprimé un puissant essor aux travaux publics. On reconnut alors la nécessité de rapporter à un même horizon tous les nivellements, et, dans ce but, l'Administration des Travaux publics, avons-nous dit, traita avec Bourdalouë, qui s'offrait à couvrir la France d'un réseau de 15.000 kilomètres de nivellements précis, destinés à mettre partout, à la disposition des ingénieurs, des repères avec altitudes partant d'une même origine.

Une décision ministérielle du 13 janvier 1860 fixa cette origine au niveau moyen de la Méditerranée, à Marseille.

Sous le nom de *zéro Bourdalouë*, ce niveau de comparaison a été employé dans tous les services de travaux publics et de topographie militaire(*). Ainsi se trouve réalisée, en France, depuis quarante ans, l'unification des altitudes.

Le nivellement général de Bourdalouë, terminé en 1863, fut le premier nivellement d'ensemble d'un grand territoire.

Imitant notre exemple, la Suisse d'abord, et, après elle, la plupart des autres pays d'Europe exécutèrent à leur tour des opérations analogues. Aujourd'hui, les nivellements géométriques ont pris dans le monde une telle extension que, si l'on mettait bout à bout les longueurs

(*) Depuis 1891, le zéro Bourdalouë est remplacé par le *zéro normal du nivellement général de la France*, qui se trouve à 0^m,07 plus bas et qui correspond à une plus exacte détermination du niveau moyen de la Méditerranée, à Marseille.

nivelées, la ligne obtenue ferait trois fois le tour de la terre.

La méthode de Bourdalouë se distinguait par sa simplicité. Les chances d'erreurs se trouvaient éliminées par l'organisation même des opérations, et l'on n'avait à effectuer aucun calcul de correction.

Au lieu de s'inspirer de cette simplicité pratique, qui convient à des opérations exécutées en plein air, où opérateurs et instruments sont exposés à toutes les intempéries, quelques savants étrangers crurent perfectionner les méthodes françaises en y introduisant les habitudes et les calculs des observatoires.

Par suite de cette évolution, d'après nous regrettable, le nivellement de Bourdalouë était tombé en discrédit.

III. — PROGRAMME DU NOUVEAU NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE.

Les choses en étaient là, lorsqu'en 1878 une Commission, composée de savants et de fonctionnaires de diverses Administrations, reçut de M. de Freycinet, alors Ministre des Travaux publics, la mission d'arrêter les bases d'un nouveau nivellement général de la France, qui servirait à rectifier celui de Bourdalouë et s'étendrait sur tout le territoire de manière à fournir, pour chaque commune, douze à quinze points de repère parfaitement définis et à permettre l'établissement de cartes à grande échelle où le relief du sol serait indiqué dans tous ses détails.

Le programme tracé par cette Commission comprend des opérations, réparties en plusieurs ordres, à exécuter successivement, avec une précision décroissante.

D'abord un nouveau réseau fondamental, ou de 1^{er} ordre (fig. 1 et 45), ayant un développement total de 12.400 kilomètres et suivant les lignes de chemins de fer, où la

faiblesse des déclivités permet d'arriver à des résultats très précis.

État actuel d'avancement du nivellement général de la France.



Fig. 1.

Signes conventionnels.

	Kilom.	
— Lignes de 1 ^{er} ordre. Longueur:	12.400	— Marégraphes et Médimarémètres.
— Lignes de 2 ^e ordre. Id.	16.300	— Rattachements avec les nivellements étrangers.
... Lignes de 3 ^e ordre. Id.	15.000	

Ce réseau sert à rattacher le nivellement français aux

opérations analogues des pays voisins et à relier entre eux les niveaux moyens de la Méditerranée, de la Manche et de l'Océan.

Il divise le territoire de la France en quarante-deux polygones désignés chacun par une lettre majuscule. Dix de ces polygones s'appuient à la frontière ou au littoral; les trente-deux autres, fermés, mesurent, en moyenne, 600 kilomètres de contour. Chacun des côtés communs à deux polygones forme une *section* du réseau fondamental; chaque section est désignée par les lettres indicatrices des deux polygones adjacents; ainsi, la ligne de Bourges à Nevers, appartenant à la fois aux deux polygones G' et Y (fig. 45), s'appelle G'Y.

Chaque maille du réseau fondamental est découpée en cinq ou six mailles, dites de *second ordre* (fig. 1), au moyen de traverses suivant aussi des chemins de fer ou, à leur défaut, des routes, dont le profil est relevé avec une précision déjà un peu moindre, chacune de ces traverses étant plus courte et s'appuyant à ses deux extrémités sur des repères très exacts.

Les mailles de second ordre sont à leur tour divisées en mailles de 3^e, puis de 4^e et de 5^e ordre (fig. 2), désignées chacune par une lettre minuscule, affectée d'un indice marquant l'ordre du nivellement. Les mailles du dernier ordre n'ayant que quelques kilomètres de tour, le nivellement de leurs côtés s'effectue par des procédés rapides et économiques.

Sur le réseau complexe ainsi constitué, et dont le développement total ne sera pas inférieur à 800.000 kilomètres, viendront s'appuyer des courbes de niveau directement filées sur le sol partout où la chose sera possible.

Ces courbes donneront l'expression géométrique rigoureuse du relief du terrain et permettront ainsi à l'ingénieur civil ou militaire, à l'agent voyer, à l'agriculteur, sans sortir de son cabinet, et par conséquent avec une

énorme économie et une grande rapidité, de fixer avec sûreté le tracé d'une route, d'un chemin de fer, d'un canal, d'un aqueduc, d'une rigole de drainage ou d'irrigation, etc.

Carte du nivellement général du département du Pas-de-Calais.

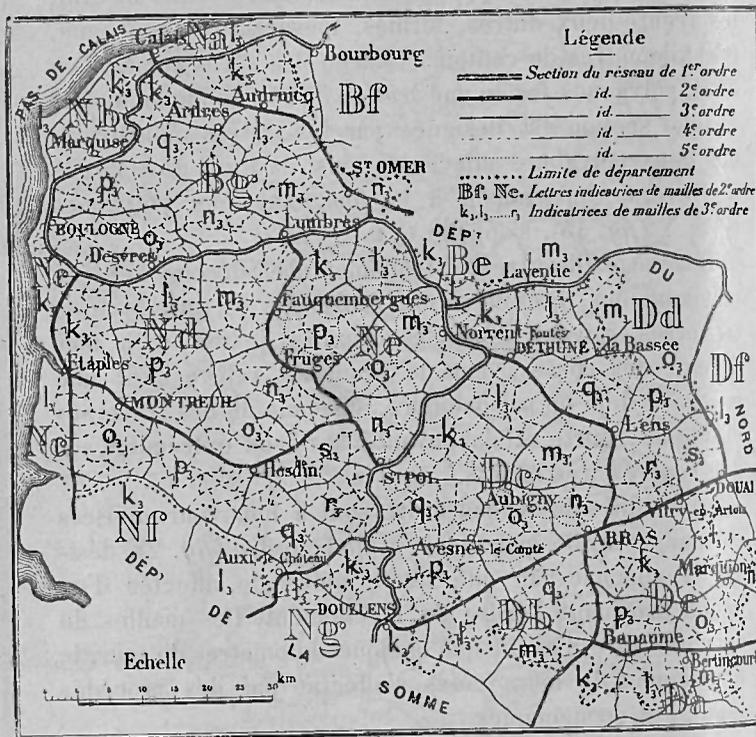


FIG. 2.

La dépense, pour l'ensemble du travail, ne doit pas dépasser une vingtaine de millions de francs.

Depuis 1884, un crédit, de 50.000 francs d'abord, puis de 75.000 francs, a été annuellement inscrit au budget des Travaux publics pour l'accomplissement de ce programme, dont l'exécution a été confiée à un service spé-

cial, primitivement placé sous la direction d'un Comité de six membres émanant de la Commission du Nivellement (*) et dirigé, depuis 1891, par un ingénieur en chef.

A cette heure, une importante partie du programme est déjà exécutée. Le réseau fondamental et le réseau de 2^e ordre sont entièrement terminés; une notable fraction du réseau de 3^e ordre est également achevée; les nivellements de 4^e et de 5^e ordres sont commencés (Voir chap. IV).

IV. — MARCHÉ GÉNÉRALE DES OPÉRATIONS.

A. Travaux sur le terrain. — Les opérations sur le terrain sont effectuées par des brigades composées chacune, en principe, d'un opérateur et de deux porte-mires.

Transport du matériel d'une brigade de nivellement sur route.

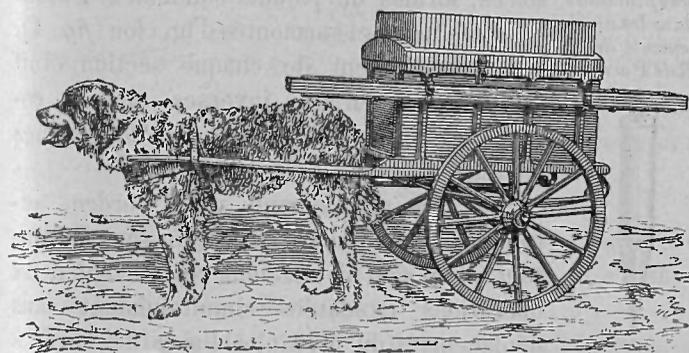


FIG. 3.
Échelle de 1/30.

Pour les nivellements de 1^{er} ordre, l'opérateur était,

(*) Ce Comité était composé de MM. Marx, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, *Président*; le colonel Goulier; Cheysson, Durand-Claye, Prompt, Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées; Lallemand, Ingénieur des Mines, *Secrétaire*.

en outre, accompagné d'un opérateur-adjoint, ou *lecteur*; pour les nivellements de 2^e ordre, le lecteur a été remplacé par un manœuvre chargé de porter le niveau.

Pour les nivellements de 3^e, 4^e et 5^e ordres, exécutés sur routes, le porte-niveau a lui-même été remplacé, avec profit, par un chien attelé à une voiture (*fig. 3*) portant le matériel et les instruments de la brigade.

Avant d'exécuter le nivellement d'une section, l'opérateur en fait la reconnaissance et marque l'emplacement des repères fixes, qui sont ensuite scellés par les portemires.

Ces repères servent de supports aux mires dans les opérations du nivellement. Ils sont éloignés de 500 à 1.000 mètres, en moyenne, les uns des autres.

Dans les opérations de 1^{er} et de 2^e ordres, on intercalait entre eux des supports provisoires, formés de piquets solidement enfoncés dans le sol et surmontés d'un clou (*fig. 4*).

Piquet en bois servant de repère provisoire dans les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres.



FIG. 4.
Echelle de 1/10.
c. Gros clou à tête hémisphérique.

Le nivellement de chaque section était fait deux fois en sens inverses (aller et retour) sur les mêmes repères et les mêmes piquets.

Pour les nivellements de 3^e ordre, actuellement en cours d'exécution, on se contente d'un seul nivellement comportant deux opérations exécutées simultanément sans déplacement du niveau, à l'aide de mires à double face (*fig. 27*). Pour les nivellements de 4^e et de 5^e ordres, on supprime même la seconde opération. Dans les deux cas, au lieu de piquets fixes pour asseoir, entre les repères, le talon de la mire, on emploie des supports mobiles en fer, fixés par trois griffes dans le sol et surmontés d'un teton arrondi (*fig. 5*).

Les opérations d'une journée sont limitées à deux

repères fixes. Chaque soir, le carnet contenant les résul-

Support mobile de mire pour les nivellements de 3^e, 4^e et 5^e ordres.

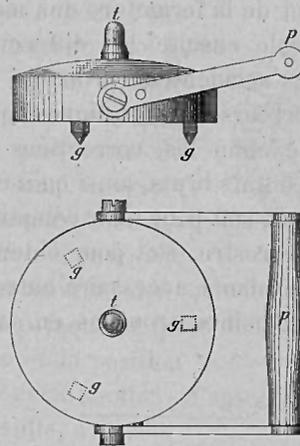


FIG. 5.

Echelle de 1/4.

t, teton hémisphérique; — g, g, g, griffes s'enfonçant dans le sol; — [p.] poignée pour le transport.

tats est envoyé par le chef de brigade au bureau central.

B. Travail de bureau. — Les carnets sont d'abord soumis, dans le bureau, à des calculs permettant de s'assurer de l'exactitude des opérations :

Pour les lignes de 1^{er} et de 2^e ordres, si, après correction des erreurs provenant de la division et des changements de longueur des mires (Voir chap. II, § III), les différences partielles de niveau trouvées à l'aller et au retour, entre deux repères consécutifs, ne concordaient pas suffisamment, ordre était envoyé à l'opérateur de recommencer le nivellement entre ces deux repères.

Pour le réseau de 3^e ordre, le contrôle est fourni par la comparaison mutuelle des différences de niveau pro-

venant des deux opérations simultanées et, en outre, par la fermeture des mailles.

Pour les réseaux de 4^e et de 5^e ordres, le contrôle résulte uniquement de la fermeture des mailles.

Le bureau calcule ensuite les différences de niveau, détermine l'erreur accidentelle probable des opérations, recherche les erreurs systématiques qu'elles peuvent renfermer, arrête enfin les corrections qu'il y a lieu d'apporter aux résultats bruts, ainsi qu'il est expliqué plus loin (chap. III, § II), soit pour tenir compte de l'aplatissement du globe terrestre, soit pour obtenir, par la compensation, la concordance nécessaire entre les différences de niveau de deux points, trouvées en suivant des itinéraires différents.

CHAPITRE II

INSTRUMENTS.

I. — REPÈRES.

Les repères de Bourdalouë ont la forme d'un médaillon cylindrique (*fig. 6*), faisant une légère saillie sur le plan des murs où ils sont scellés.

Les repères (*fig. 7*) adoptés pour le réseau fondamental se composent d'une console en fonte oxydée ou en bronze, dont la tige est scellée au ciment dans les parois verticales de constructions solides.

La console fait une forte saillie sur la paroi des murs, et porte une pastille, en forme de calotte sphérique, sur laquelle se pose la mire. La pastille est assez éloignée de

la paroi pour que la mire puisse être tenue verticalement, le milieu du talon reposant sur le sommet de la calotte.

Deux cavités ménagées. l'une sur la face antérieure de la console, l'autre sur la tablette verticale appuyée contre le mur, renferment des plaquettes en porcelaine où sont inscrits : d'une part, le *matricule* du repère, c'est-à-dire l'ensemble des lettres et des chiffres définissant la section à laquelle appartient le repère et la position qu'il occupe dans cette section ; d'autre part, l'*altitude* du sommet de la pastille.

Repère Bourdalouë
(en fonte peinte).



FIG. 6.

Échelle de 1/4.

127^m.571, altitude du sommet du médaillon.

Repère principal à console
(en bronze ou en fonte oxydée).

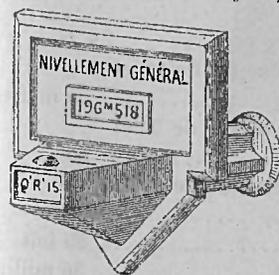


FIG. 7.

Échelle de 1/3.

Q'R'15, matricule du repère; 196^m.518, altitude du sommet de la pastille.

Repère principal cylindrique
(en fonte oxydée).



FIG. 8.

Échelle de 1/3.

Bg₁₃ a₁ b₁ 2, matricule du repère; 144^m.45, altitude du sommet de la pastille.

Pour les nivellements de 2^e et de 3^e ordres exécutés sur routes et dont, par suite, les repères sont beaucoup plus exposés à la malveillance des passants, comme aussi pour tous les nivellements de 4^e et de 5^e ordres, on a donné la préférence à des médaillons cylindriques (*fig. 8*), d'un

modèle plus petit que celui de Bourdalouë, surmontés d'une tablette portant une pastille et munis, en leur centre, d'une plaquette de porcelaine où sont inscrits le matricule et l'altitude du repère.

Repère secondaire
(rivet en bronze).



FIG. 9.
Echelle de 1/2.

Outre ces repères principaux, on a placé sur les seuils de certains bâtiments et sur des plinthes d'ouvrages d'art des repères secondaires formés d'un simple rivet (*fig. 9*) en fer galvanisé ou en bronze, dont la tige est scellée dans la pierre.

II. — NIVEAU.

Les niveaux employés aux opérations (*fig. 10*) sont du type dit à fiole indépendante (*). Ils sont disposés pour donner une grande précision, tout en restant dans les dimensions usuelles et en étant facilement transportables; cela résulte des données suivantes :

Rayon de courbure de la fiole	} Pour les nivellements de 1 ^{er} et de 2 ^e ordres.....	50 mètres	
		} Pour les nivellements de 3 ^e et de 4 ^e ordres.....	30 —
			} Pour les nivellements de 4 ^e et de 5 ^e ordres.....
Grossissement de la lunette.....		25 fois	
Ouverture efficace de l'objectif.....		36 millim.	
Distance focale de l'objectif.....		36 centim.	
Poids total de l'instrument (support compris).....	} Appareil en bronze pour les opérations de 1 ^{er} et de 2 ^e ordres.	11 ^{kg} ,6	
		} Appareil en aluminium pour les opérations de 3 ^e , de 4 ^e et de 5 ^e ordres.....	7 ^{kg} ,1

(*) Ces niveaux sont construits par la maison Berthelemy (Pontius et Therrode, successeurs), à Paris.

Ces niveaux présentent, sur les dispositions ordinairement employées, plusieurs perfectionnements ayant pour but, soit

Niveau à fiole indépendante et à prismes réflecteurs.

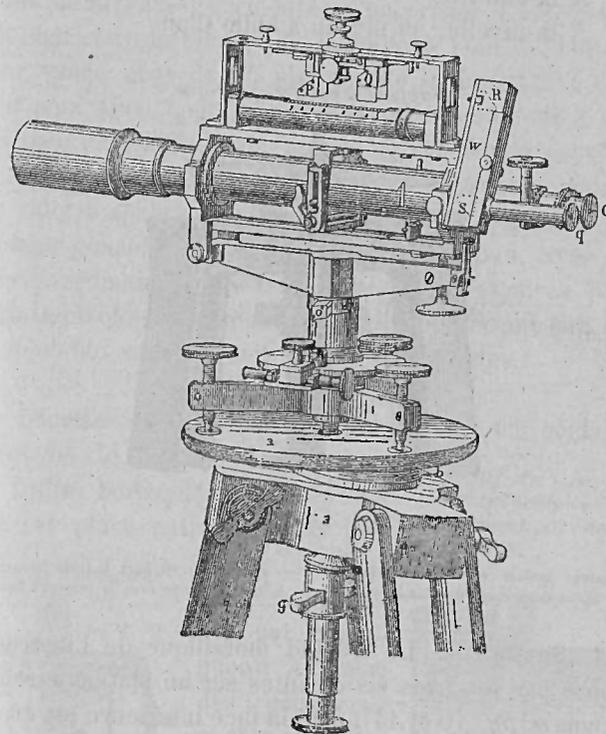


FIG. 10.
Echelle de 1/5.

a, plateau mobile sur la calotte sphérique b : — n, petite nivelle sphérique employée, concurremment avec le plateau mobile, à rendre à peu près vertical le pivot du niveau : — o, prisme réflecteur servant à observer la nivelle n : — P, Q, R, S, prismes réflecteurs renvoyant à l'œilleton g les images des extrémités de la bulle de la nivelle cylindrique : — c, oculaire de la lunette : — g, écrou de serrage du plateau à calotte sphérique.

d'accélérer les opérations sans nuire à leur exactitude, soit d'augmenter la précision en écartant les causes d'erreur.

Sans parler des modifications de détail, qui sont nom-

breuses, nous dirons en quelques mots les améliorations essentielles apportées :

- 1° Au support ou pied de l'instrument;
- 2° A la lunette;
- 3° A la nivelle, ou niveau à bulle d'air.

Support à calotte sphérique.

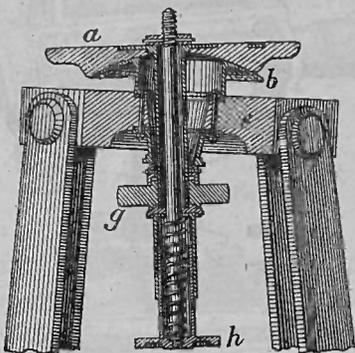


FIG. 11.

Echelle de 1/5.

a, plateau mobile sur le champignon b; — s, tête du support à trois branches; — g, écrou de serrage du plateau mobile; — h, tige à pompe avec le ressort à boudin.

A. Support. — Le trépied métallique de l'instrument repose par ses trois vis calantes sur un plateau circulaire en bois a (fig. 10 et 11), dont la face inférieure est creusée en forme de calotte sphérique et s'applique exactement sur un champignon b, en cuivre, de même rayon, qui est fixé à la tête s (fig. 10) du support à doubles branches. Le plateau en bois est fortement appuyé contre le champignon par un ressort à boudin disposé comme dans la plupart des supports en usage; mais, en glissant sur le champignon, le plateau peut être rendu horizontal, même lorsque la tête du support est inclinée. Une fois ce résultat obtenu, il suffit de faire tourner d'un quart de tour l'écrou g (fig. 10 et 11) pour serrer fortement le pla-

teau contre le champignon et assurer ainsi la stabilité du support (*).

Une petite nivelle sphérique, n (fig. 10), est adaptée à la colonne du niveau et surmontée d'un prisme o à réflexion totale, qui renvoie l'image de la bulle à l'œil de l'observateur placé près de l'oculaire c de la lunette. L'opérateur peut ainsi apprécier si le pivot a été amené à une verticalité suffisante; avec un peu d'exercice on parvient très rapidement à ce résultat. Grâce à cette combinaison de la calotte sphérique et de la nivelle, on évite la perte de temps considérable à laquelle donnent lieu, avec les supports ordinaires, les tâtonnements nécessaires pour rendre le pivot sensiblement vertical, en agissant soit sur les jambes du support, soit sur les vis calantes.

B. Lunette. — L'oculaire (fig. 12) est un oculaire négatif, où le réticule b, formé de trois traits horizontaux gravés sur verre, est placé entre les deux len-

Coupe de l'oculaire.

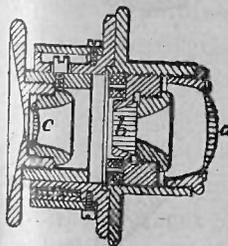


FIG. 12. — Grandeur naturelle.

a, verre de champ; — b, verre porte-réticule; — c, verre d'œil.

tilles a et c, dans un espace fermé, par conséquent à l'abri des poussières et des accidents. Grâce à une disposition spéciale (fig. 13), deux opérateurs ayant des vues de portées différentes peuvent viser alternativement, sans perdre chaque fois un temps con-

Dispositif de mise au point de l'oculaire successivement pour deux opérateurs.

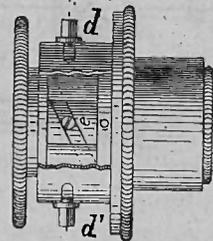


FIG. 13. — Grandeur naturelle.

e, goupille mobile dans une rainure hélicoïdale; — d, vis à carrés fixant les verrous mobiles qui limitent la course de la goupille e.

(*) Cette disposition est due au colonel Goulier.

sidérable à mettre l'oculaire au point qui convient à la vue de chacun d'eux. En tournant le moleté de l'oculaire C, on imprime à celui-ci un mouvement hélicoïdal qui le fait avancer ou reculer. Quand l'opérateur a mis l'oculaire exactement au point pour sa vue, il fixe un verrou d'arrêt qui limite la course de cet oculaire dans un sens; chaque fois qu'il veut faire usage de la lunette, il retrouve exactement son point en tournant le moleté dans le sens convenable jusqu'à ce que le mouvement soit arrêté par le verrou (*).

C. Nivelles. — Le perfectionnement de la *nivelles*, ou niveau à bulle d'air, consiste dans l'addition de prismes à

Croquis schématique montrant la marche des rayons lumineux à travers les prismes.

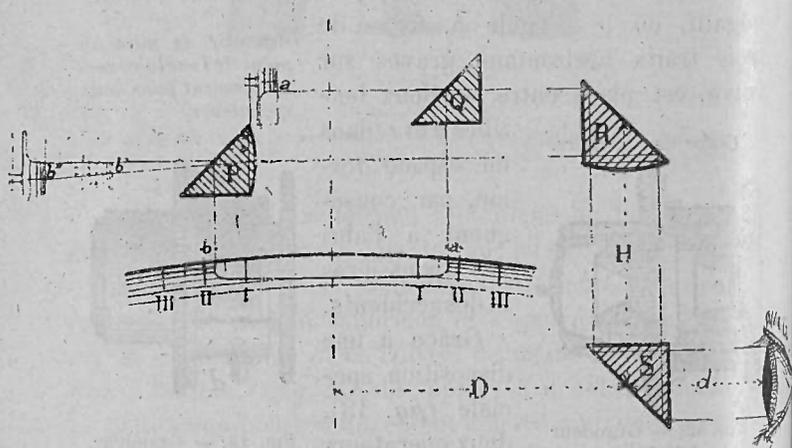


FIG. 14.

réflexion totale, servant de miroirs, qui renvoient à l'œil de l'observateur placé près de l'oculaire l'image de la bulle

(*) Les dispositions optiques et mécaniques de cet oculaire sont du colonel Goulier.

d'air, ou, pour mieux dire, l'image des parties utilisées de cette bulle, savoir : ses extrémités et les divisions correspondantes de la fiole. L'observateur vérifie ainsi lui-même et sans se déplacer l'exactitude du calage de la fiole. Ce dispositif écarte les erreurs provenant du tassement qui se produit dans le sol quand on circule autour du pied d'un instrument, et il dispense d'employer un auxiliaire pour surveiller la bulle pendant les lectures.

Ces résultats sont obtenus au moyen de deux prismes isocèles rectangles en crown-glass P, Q (fig. 14), qui sont placés au-dessus des extrémités de la bulle et qui en renvoient les images dans une direction parallèle à l'axe de la lunette. Deux autres prismes R, S, placés dans une boîte oblique *w* (fig. 10), ramènent ces images au niveau même de l'oculaire. On les regarde par un œilleton spécial *q*,

Image de la bulle entre ses repères, vue dans l'œilleton des prismes.

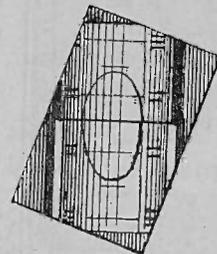


FIG. 15.
Grandeur naturelle.

où elles apparaissent comme le montre la fig. 15.

Les quatre prismes P, Q, R, S (fig. 14) ne sont pas exactement semblables. Tandis que le prisme antérieur Q et le prisme inférieur S sont des prismes à faces planes, le prisme postérieur P et le prisme supérieur R présentent une face légèrement sphérique, dont le bombement est calculé de façon que les images des deux extrémités de la bulle aient même grandeur apparente et soient vues comme des objets placés à 0^m,30 de l'œil, distance moyenne correspondant à la vision distincte. Sans ce bombement, les deux images représentant des objets placés à des distances inégales de l'œil, les divisions de la fiole vues dans le prisme antérieur paraîtraient plus larges que celles vues dans le prisme le plus éloigné; et, sauf le cas où les extrémités de la bulle touchent deux

traits correspondants de division, la bulle ne serait pas

Mire en station sur un piquet.

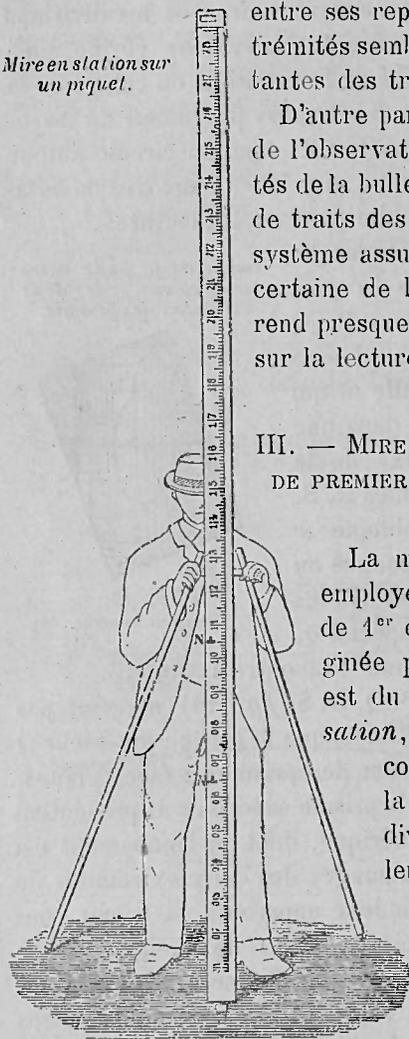


FIG. 16.

Echelle de 1/20.

j, j', arcs-boutants tenus à la main, en même temps que les poignées, pour assurer l'immobilité de la mire en station; *n, n'*, nivelles sphériques servant à contrôler la verticalité de la mire.

entre ses repères, alors que ses extrémités sembleraient également distantes des traits les plus voisins (*).

D'autre part, en limitant le champ de l'observation aux seules extrémités de la bulle et à un ou deux couples de traits des divisions de la fiole, ce système assure une appréciation plus certaine de la position de la bulle et rend presque impossibles les erreurs sur la lecture des traits.

III. — MIRE POUR LES NIVELLEMENTS DE PREMIER ET DE SECOND ORDRES.

La mire (*fig. 16, 17 et 18*) employée dans les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres et imaginée par le colonel Goulier, est du système dit à *compensation*, parce qu'il permet de connaître, à tout instant, la longueur réelle de la division et, par suite, la valeur rigoureusement exacte des lectures faites.

(* Les prismes mobiles ont été imaginés par M. Klein, chef du dépôt des instruments de l'École des Ponts et Chaussées, et disposés par M. Berthelemy, constructeur. — Les faces courbes et la boîte de prismes fixes ramenant les images au niveau de l'oculaire sont de M. Lallemand.

Mire à compensation pour les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres (face antérieure et coupes).

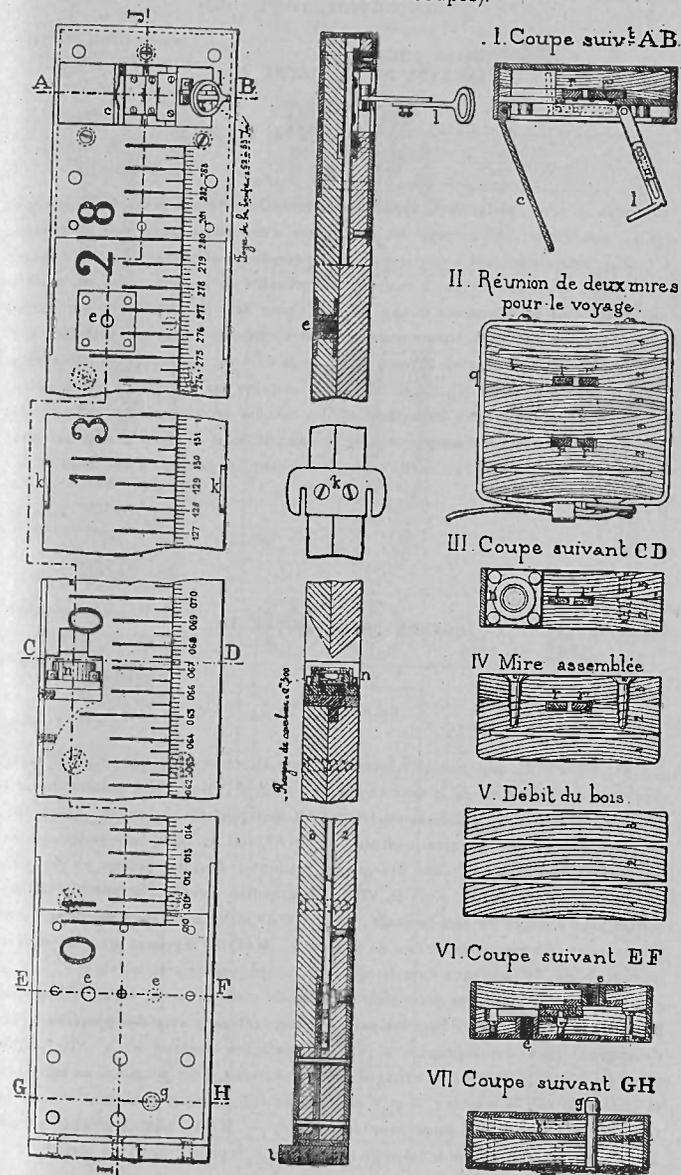


FIG. 17.

LÉGENDE DE LA FIGURE 17.

Échelle de 3/10.

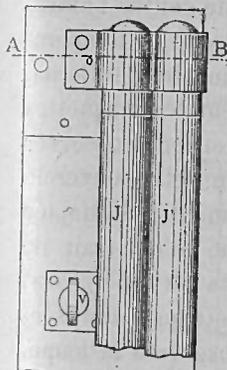
t, talon plan en acier, parfaitement ajusté d'équerre sur la direction moyenne de la règle;
g (VII), goupille servant à réunir les deux mires d'une même paire pour le voyage;
 — *q* (II), courroie servant à réunir les deux mires d'une même paire pour le voyage;
 — *n*, nivelle sphérique servant à contrôler la verticalité de la mire; — *k*, *k'*, crochets s'engageant dans les logements *k'* (fig. 17, VIII) pour fixer le couvercle; — *e*, écrous pour le logement des vis à olive *v* (fig. 17, IV et V) servant à fixer le couvercle; *r*, *r'* (I à IV), règles de compensation fixées au talon de la mire par la plaque *t'* et libres à leur extrémité supérieure; — *c* (I), trappe fermant la chambre des échelles de compensation;
 — *l* (I), loupe servant à faire les lectures sur les échelles de compensation. Elle se rabat dans la chambre, comme l'indique le trait en pointillé, sans changer la mise au point;
 — 1, 2, 3 (II à V), voliges, au nombre de trois, constituant le corps d'une mire et son couvercle.

LÉGENDE DE LA FIGURE 18.

Échelle de 3/10.

j, *j'* (I, II, VII et VIII), arcs-boutants tenus à la main en même temps que les poignées *pp'*, pour assurer l'immobilité de la mire en station; — *f*, *f'* (VII et VIII), pointes des arcs-boutants; — *o* (I et II), embrasse supérieure des arcs-boutants; — *o'* (III, VII et VIII), embrasse des pointes des arcs-boutants; — *w* (III, VII et VIII), lame-ressort portant une traverse qui s'engage dans des gorges pratiquées dans les pointes, et par là immobilise les arcs-boutants; — *d* (III, VII et VIII), bouton servant à presser sur la lame-ressort pour dégager les arcs-boutants; — *v*, *v* (I, IV et V), vis à olive destinées à fixer le couvercle sur le dos ou sur la face de la mire; — *k'* (VIII), logement pour les crochets latéraux *k* (fig. 18) servant à fixer le couvercle, conjointement avec les vis *v*, *v*; — *p*, *p'* (VI, VII et VIII), poignées pour tenir la mire en station; — *b*, *b'* (VI, VII et VIII), boutons moletés servant à fixer les poignées, conjointement avec des goupilles *a* (VI), s'engageant dans des logements *a'* (VI, VII) [poignée ouverte] ou *a''* (VII) [poignée rabattue]; — *n'* (VII), fenêtre ménagée dans le couvercle, pour permettre au porte-mire en station de voir la nivelle; — *q* (V et VII et fig. 17, II), courroie servant à réunir les deux mires d'une même paire pour le voyage; — M (IX), bouton-poignée à l'aide duquel le porte-mire dirige le talon de sa mire sur le support (repère ou piquet).

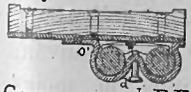
Mire à compensation pour les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres (couvercle et arcs-boutants).

I. Elevation postérieure.
(Sommet)

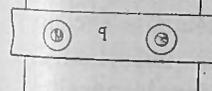
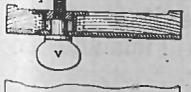
II Coupe suivant AB



III Coupe suivant CD

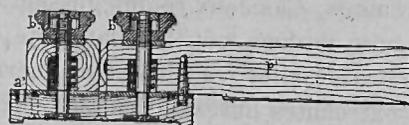


IV Coupe suivant EF

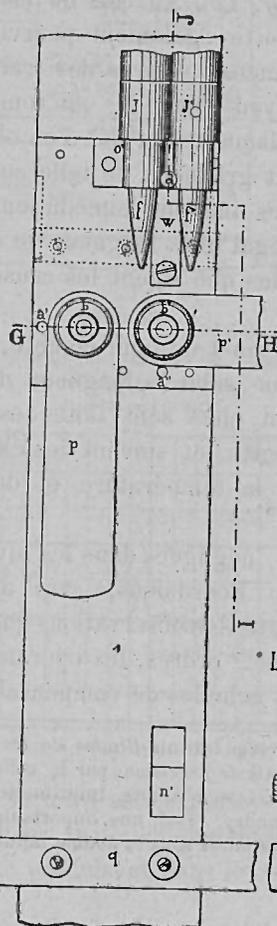


V. (Pied)

VI. Coupe suivant GH



VII. Elevation postérieure



VIII. Profil et Coupe suivant IJ.

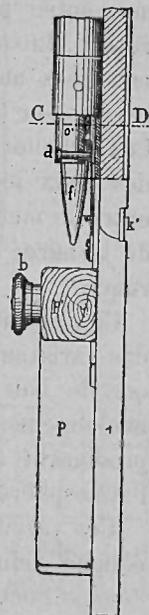
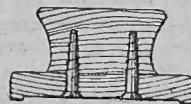
IX. Bouton-poignée
à 0°33 du pied.

FIG. 18.

A. Système compensateur. — Deux règles métalliques *r* (fig. 17), l'une en fer, l'autre en laiton, sont logées dans l'âme de la mire et fixées à son talon par une de leurs extrémités. Ces deux règles glissent l'une contre l'autre, par suite de leur inégale dilatabilité, lorsque la température varie; elles constituent un thermomètre de Borda. Les extrémités libres de ces règles portent des plaquettes (fig. 19) avec des traits de repère que l'on peut observer en soulevant, au sommet de la mire, un petit couvercle à charnière *c* (fig. 17). Au bois de la mire est adaptée une autre plaquette également pourvue d'un trait de repère. Les distances relatives des traits de repère sont mesurées au moyen d'échelles micrométriques qui sont tracées sur les plaquettes et que l'on observe à la loupe. Ces échelles sont graduées de telle sorte que la somme des deux lectures indique immédiatement la différence entre le mètre légal et la longueur de cent des divisions de la mire, quelles que soient les causes de cette différence.

Ce dispositif permet de tenir compte, à chaque instant, des variations que subit la longueur des mires, suivant que le bois dont elles sont faites est plus ou moins anciennement abattu, et suivant les changements qui se produisent dans la température et dans l'humidité de l'atmosphère (*).

Ces variations, négligées dans les nivellements anciens comme celui de Bourdalouë, sont assez importantes, comme l'ont montré les observations que, dans les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres, les opérateurs font trois fois par jour sur les échelles de compensation des mires. On

(*) Voir, dans l'ouvrage intitulé *Études sur les méthodes et les instruments des nivellements de précision*, par le colonel GOULIER, revues et annotées par CH. LALLEMAND (Paris, Imprimerie Nationale, Gauthier-Villars, Dunod et Baudry, 1898), une importante notice sur les *variations de longueur des mires* sous la double influence de la température et de l'humidité.

a pu constater ainsi qu'en général, dans une journée, la longueur de la mire subit une variation périodique de plusieurs centimillimètres par mètre, liée à la marche diurne de la température. Le maximum de longueur a lieu dans l'après-midi.

Disposition des plaquettes portant les échelles micrométriques de compensation.

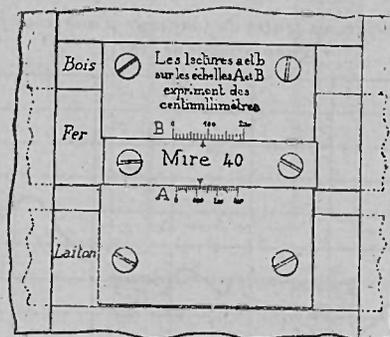


FIG. 19.
Echelle de 3/2.

Exemple des variations journalières de longueur d'une mire en cours d'opérations.
(Mois de juin 1887.)

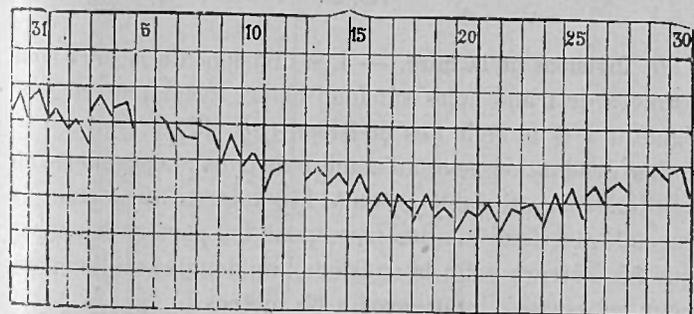


FIG. 20.

La longueur de la mire est soumise, en outre, à des variations lentes, liées aux changements de température et d'humidité qui se produisent dans le cours des saisons.

Les deux diagrammes ci-joints rendent compte de ces variations. Le premier (*fig. 20*) fait voir les variations journalières constatées pendant le mois de juin 1887 sur la longueur de l'une des mires en service. Le second (*fig. 21*) indique la variation, aux divers mois de l'année, de la longueur d'une des mires qui ont été employées pendant la campagne de 1887.

Exemple des variations lentes de longueur d'une mire dans le cours d'une campagne (1887).

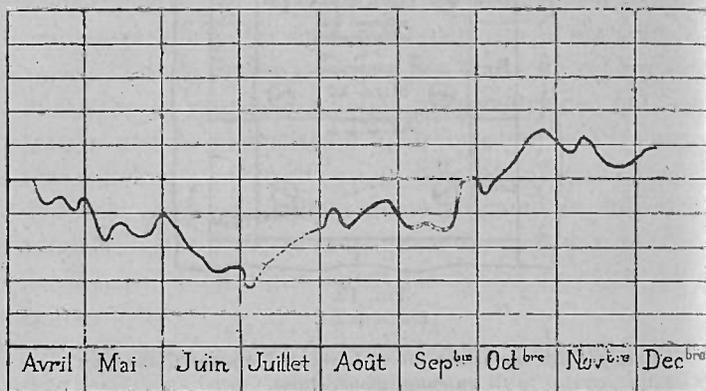


FIG. 21.

B. Divisions de la mire. — Les divisions de la mire sont formées de traits noirs sur fond blanc, ayant une largeur égale à 1/6 de celle des divisions (*fig. 17*).

Les graduations sont au nombre de trois : la première, en centimètres, utilisable jusqu'à 170 mètres de portée; la seconde, en demi-centimètres, pour les portées moindres que 85 mètres; enfin la troisième, en doubles millimètres, pour les portées inférieures à 35 mètres.

Dans la construction, on ne s'assujettit pas à obtenir des divisions rigoureusement égales; au contraire, on les préfère systématiquement erronées suivant des lois connues seulement du bureau des calculs. On évite ainsi

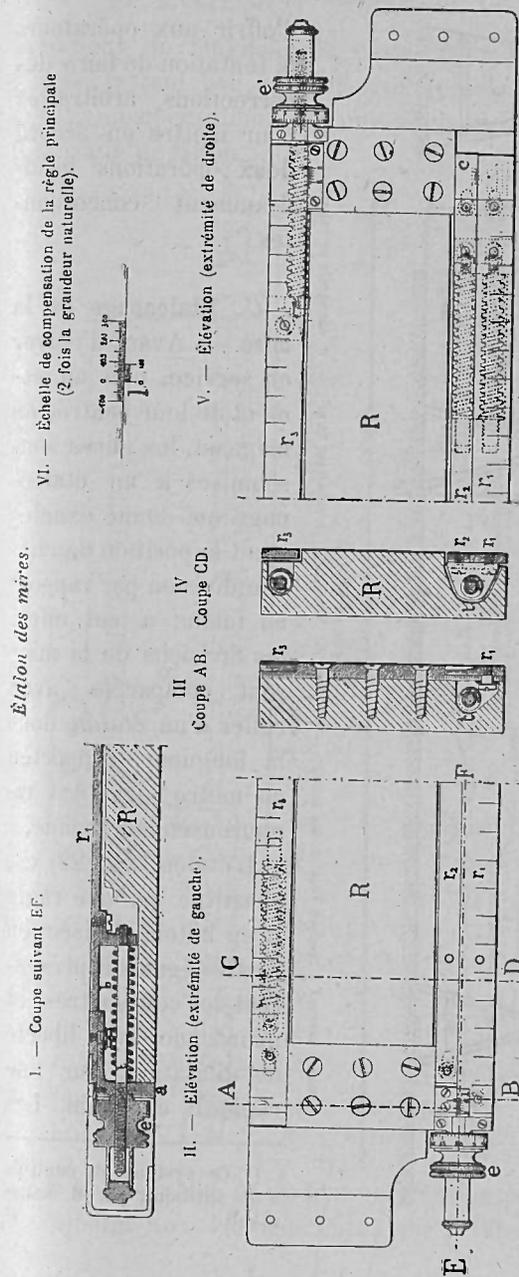
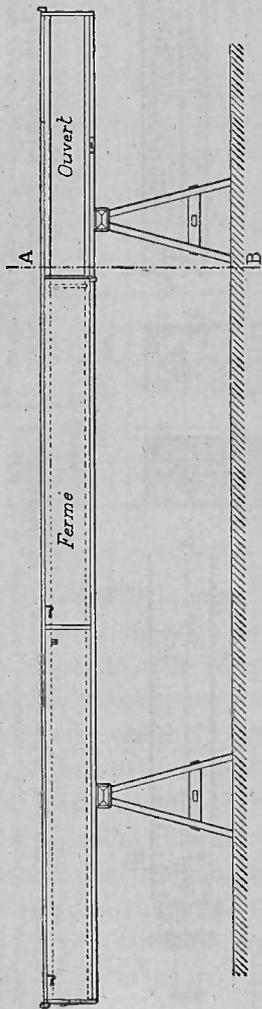


FIG. 22.

R, règle en sapin formant le support de l'étalon; — r_1 , règle principale en laiton constituant l'étalon pour les mires de précision; — r_2 , règle en fer formant, avec la précédente, un thermomètre bimétrique; — r_3 , règle secondaire en laiton servant d'étalon pour les mires ordinaires; — c (V et VI), Échelle de compensation de la règle principale (la lecture faite sur cette échelle exprime en centimètres l'excès sur le mètre légal de 100 divisions centimétriques de la règle principale r_1); — e, e' , tambours divisés agissant sur des vis micrométriques pour faire glisser les étalons correspondants le long de la règle de sapin.

Banc d'étalonnage.
I. — Vue de face.

II. — Coupe AB.

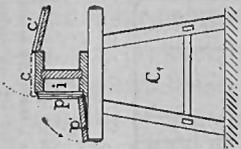


Fig. 23.

Échelle de 1/30.

i, armoire servant à remettre l'étalon des mires; — *p*, porte de l'armoire *i*, se rabattant en *p'*; — *c*, couvercle se rabattant en *c'*.

d'offrir aux opérateurs la tentation de faire des corrections arbitraires pour mettre en accord deux opérations insuffisamment concordantes (*).

C. Étalonnage de la mire. — Avant d'entrer en service, puis au moment de leur rentrée en magasin, les mires sont soumises à un étalonnage qui donne exactement la position de chaque division par rapport au talon; à cet effet, les divisions de la mire sont comparées avec celles d'un étalon dont la longueur, rapportée au mètre légal, est rigoureusement connue.

L'étalon (fig. 22) est constitué par une règle *r*₁ en laiton, divisée en parties égales représentant des centimètres, et maintenue, avec liberté de dilatation, sur une règle *R* en sapin. Les

(*) Ce système de contrôle a été introduit par M. Lallemand.

variations de longueur de cette règle sont données à chaque instant par un dispositif formé, comme dans la mire à compensation, par une règle *r*₂ en fer, associée à la règle de laiton.

Mire, étalon et microscope disposés pour l'étalonnage.

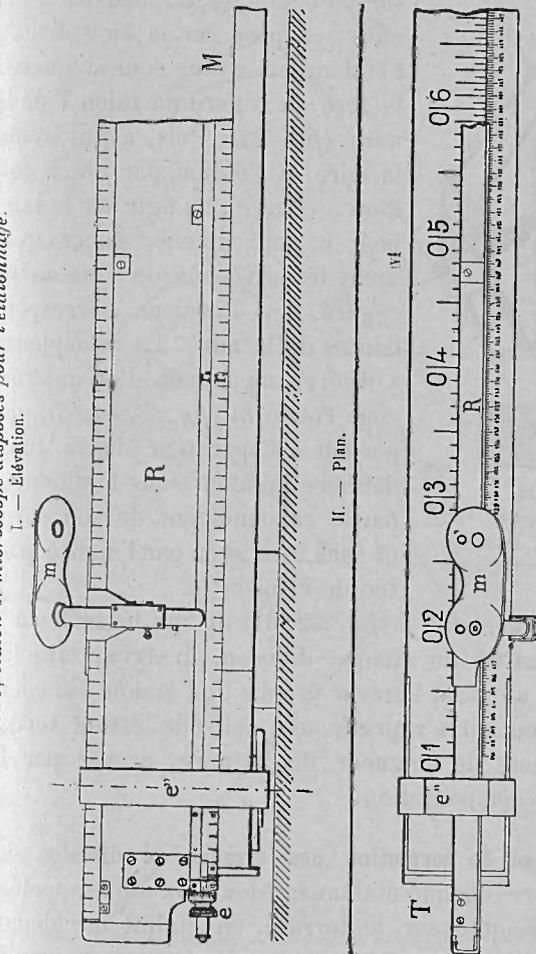


Fig. 24.

Échelle de 1/6.

M, mire à étalonner; — *R*, étalon; — *m*, microscope coudé.

Sur une échelle *c*, on lit la correction par mètre qu'il faut ajouter aux lectures faites sur l'étalon. Un écrou *e*

à tambour divisé, agissant sur une vis micrométrique *t*, permet de faire glisser l'ensemble des deux règles métalliques le long de la règle en sapin.

Pour effectuer l'étalonnage, on couche la mire à plat sur un banc (fig. 23) disposé à cet effet; on pose sur la face divisée l'étalon, en ayant soin d'amener le zéro en regard du talon T de la mire (fig. 24). Puis, ayant réuni la mire et l'étalon par deux colliers à coins *e''*, on agit sur le tambour *e* pour amener successivement les divisions de l'étalon en regard des divisions correspondantes de la mire. La coïncidence s'observe au moyen d'un microscope coudé *m* (fig. 24 et 25), qui permet à l'opérateur de se tenir derrière l'étalon, sans l'influencer par le rayonnement de son corps et sans être gêné par l'ombre portée de celui-ci (*).

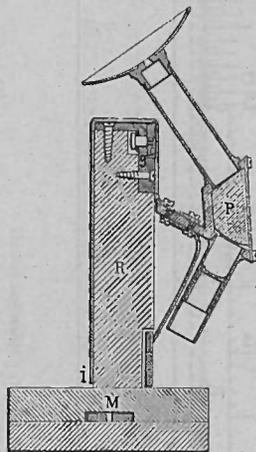


FIG. 25.
Échelle de 1/3.
M, mire; — R, étalon; —
P, microscope.

On lit sur l'échelle *i* (fig. 22, II) et sur le tambour *e* l'erreur relative de chaque division. L'erreur absolue s'obtient en ajoutant l'erreur propre de l'étalon. En cours de nivellement, il s'y greffe une nouvelle erreur tenant au changement de longueur de la mire, accusé par le dispositif de compensation.

D. Abaques de correction des erreurs de division des mires. — Après chaque étalonnage des deux mires appelées à servir ensemble sur le terrain, on établit un abaque dont la fig. 26 montre un spécimen, au moyen duquel,

(*) Les appareils d'étalonnage ci-dessus décrits sont dus au colonel Goulier et ont été exécutés d'après ses dessins.

Spécimen d'abaque donnant les corrections nécessitées par les erreurs de division et par les changements de longueur d'une paire de mires à compensation.

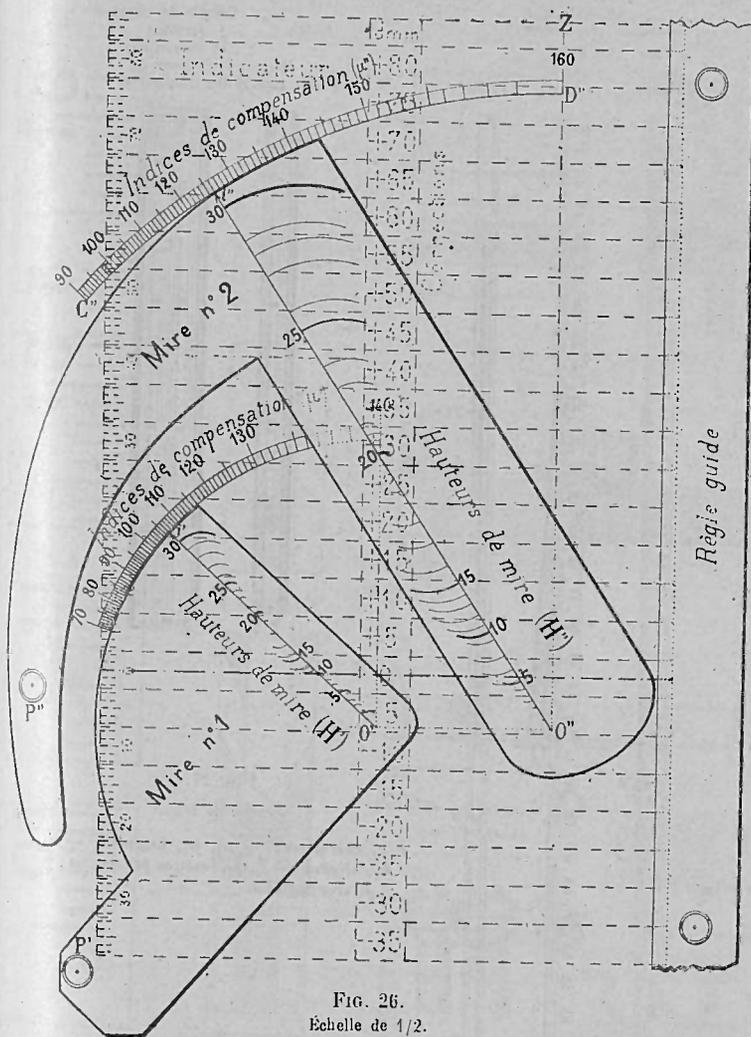


FIG. 26.
Échelle de 1/2.

Manière de se servir de l'abaque. — Les échelles mobiles 0'' et 0'' représentent les erreurs de division répondant à la plus grande dilatation possible de chacune des deux mires n° 1 et 2 employées ensemble. Les deux secteurs gradués servent à donner à ces échelles une inclinaison déterminée par les variations métriques de longueur (indices de compensation) des mires correspondantes. Pour obtenir la correction *e* afférente à une différence donnée de niveau, on place sur l'abaque un indicateur transparent (figuré ci-dessus en traits tiretés) divisé en bandes horizontales cotées; on amène l'axe de la bande zéro à toucher tangentiellement, sur la plus petite des deux échelles, l'arc qui répond à la lecture faite sur la mire n° 1. Dans cette position, le sommet de l'arc qui, sur l'autre échelle, répond à la lecture de la mire n° 2, tombe dans une bande de l'indicateur dont la cote exprime, en dixièmes de millimètre, la correction *e* cherchée.

Mires à deux faces et à charnières pour les nivellements de 3^e ordre (vues d'ensemble).

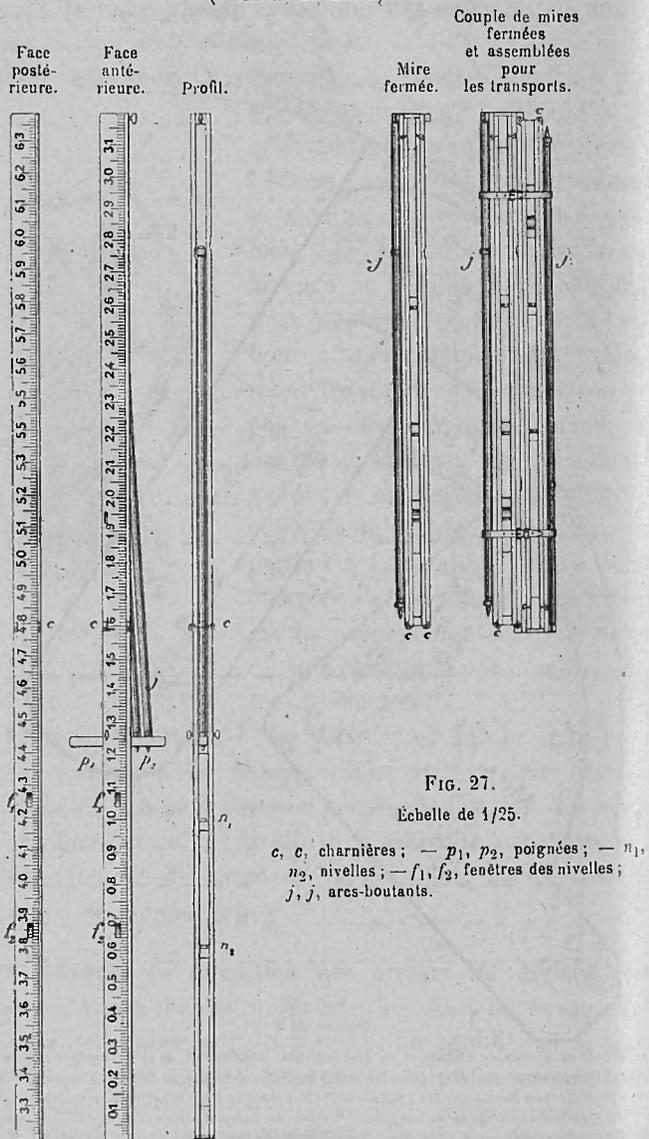


FIG. 27.
Échelle de 1/25.

c, c, charnières; — p₁, p₂, poignées; — n₁, n₂, nivelles; — f₁, f₂, fenêtres des nivelles; j, j, arcs-boutants.

Mire à deux faces et à charnières pour les nivellements de 3^e ordre (détails).

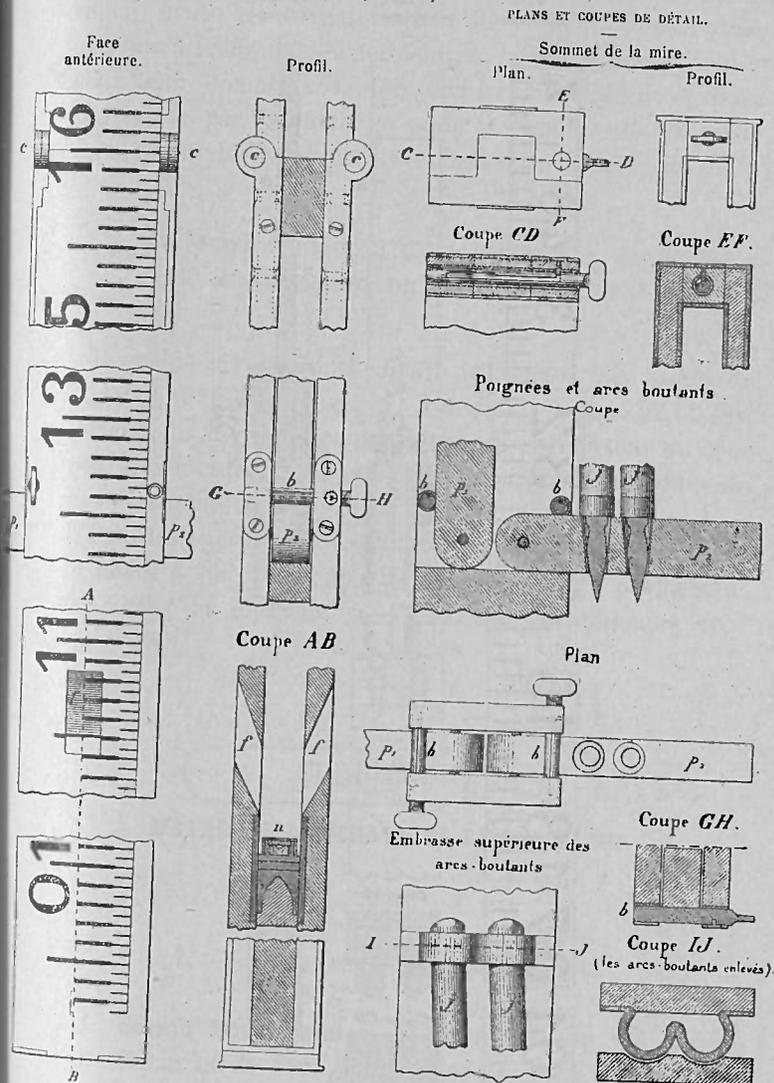


FIG. 23.
Échelle de 1/4.

c, c, c, charnières; — p₁, p₂, poignées; — b, b, broches servant à fixer les poignées; — n, nivelle; — f, f, fenêtres de la nivelle; — j, j, arcs-boutants.

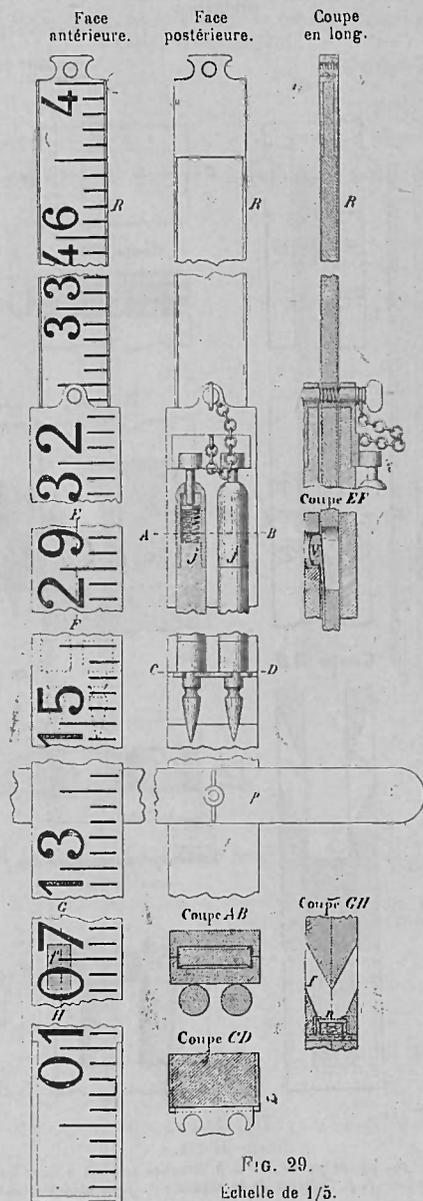
Mire à rallonge pour les nivellements de 4^e et de 5^e ordres.

Fig. 29.
Echelle de 1/5.
R, rallonge; — p, poignée; — j, j, arcs-boutants; — n, nivelle; — f, fenêtre de la nivelle; — V, verrou à ressort servant à fixer la rallonge dans l'une ou l'autre de ses deux positions extrêmes.

par une opération très rapide, on trouve, pour une différence brute de niveau entre deux points consécutifs, obtenue à l'aide de ces deux mires, la correction à ajouter pour tenir compte à la fois des irrégularités de division constatées par l'étalonnage et de la variation de longueur accusée par les lectures des échelles de compensation (*).

IV. — MIRES POUR LES NIVELLEMENTS DE TROISIÈME, DE QUATRIÈME ET DE CINQUIÈME ORDRES.

Pour les nivellements de 3^e ordre, on fait usage de mires de 3^m,20 de longueur, à deux faces (fig. 27 et 28), portant des divisions contrariées, qui permettent un contrôle des lectures sans obliger à une réitération complète du cheminement.

Pour les opérations de 4^e et de 5^e ordres, on se contente de mires à une face (fig. 29), avec rallonge permettant de porter la longueur à 4^m,20 sur les chemins très accidentés.

CHAPITRE III.

MÉTHODES D'OPÉRATIONS ET DE CALCUL.

I. — OPÉRATIONS SUR LE TERRAIN.

A. Réseau fondamental. — Chaque brigade est munie d'un niveau et de deux mires. Les agents reçoivent, en outre, des instructions imprimées qui leur indiquent avec

(*) Ces abaques ont été imaginés par M. Lallemand.

détails la manière de procéder dans toutes les circonstances de la pratique (*).

La longueur des nivelées ne dépasse pas 140 à 150 mètres. Elle est diminuée si la pente du terrain, le brouillard ou la mobilité des images l'exigent.

Pour chaque nivelée, le niveau est installé, à 1 mètre près, à égales distances des deux mires. Ces distances sont mesurées en comptant les rails de longueur connue, si l'on opère sur un chemin de fer; le nombre de doubles pas, quand on travaille sur une route. On vérifie l'égalité des portées d'avant et d'arrière en s'assurant que les nombres de centimètres interceptés sur les deux mires, entre les deux fils extrêmes du réticule, sont égaux à une unité près.

Dans chaque station, le niveau est placé de manière à satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Deux des pointes du support se trouvent sur une ligne parallèle à la direction du cheminement, et cela pour égaliser les effets du tassement du sol sous le poids de l'opérateur, dans les deux coups d'arrière et d'avant ;

2° On peut toujours faire sur chaque mire la lecture du fil extrême le plus rapproché du talon. Cette précaution a pour objet de tenir éloignée du sol, et de soustraire ainsi le plus possible à l'influence des réfractions et des ondulations atmosphériques, la visée correspondant au fil moyen, la seule qui serve pour le calcul de la différence de niveau.

On amène la bulle exactement entre ses repères avant de faire les lectures sur les deux mires d'arrière et d'avant. Ces lectures sont faites une première fois, par le lecteur, sur les trois fils du réticule, en commençant par la mire d'arrière; une seconde fois, en sens inverse,

(*) Voir les *Instructions préparées par le Comité du nivellement pour les opérations sur le terrain* (Paris, Baudry, éd., 1889).

par l'opérateur chef de brigade, sur le fil du milieu seulement. Ces lectures sont inscrites au fur et à mesure sur le carnet par l'opérateur, qui calcule aussitôt :

1° Les différences respectives entre les trois lectures faites sur chaque mire par le lecteur; l'égalité de ces quatre différences prouve, d'une part, l'égalité des portées et, d'autre part, l'absence de fautes dans ces lectures;

2° Les différences entre les lectures du fil moyen, respectivement faites par le lecteur et par l'opérateur sur chacune des deux mires; l'égalité de ces différences indique l'absence d'erreurs de calage et celle de fautes dans les lectures de l'opérateur.

L'ordre des mires est interverti d'une nivelée à la suivante : en d'autres termes, la mire d'avant, pour une nivelée, devient, sans changer de place, mire d'arrière pour la station suivante.

A titre de contrôle, une seconde opération est plus tard faite en sens inverse et sur les mêmes piquets, en intervertissant l'ordre des mires.

Quand on opère dans les tunnels, on éclaire les mires et la fiole du niveau à l'aide de lanternes à réflecteurs.

B. Nivellements secondaires. — Outre les modifications précédemment indiquées au sujet de la marche générale du travail (chap. I, § IV) et au sujet du niveau et des mires (chap. II), les nivellements secondaires comportent quelques simplifications dans la méthode d'opérations :

Ainsi, la longueur des nivelées peut exceptionnellement atteindre jusqu'à 170 mètres dans les nivellements de 2° ordre et 200 mètres dans ceux de 3°, de 4° et de 5° ordres.

Les deux portées d'arrière et d'avant peuvent différer de 2 mètres dans les nivellements de 2° ordre, de 3 mètres dans ceux de 3° ordre, et d'une quantité quelconque dans les nivellements de 4° et de 5° ordres.

Enfin les lectures stadimétriques sont supprimées dans l'opération de retour des nivellements de 2^e ordre.

II. — TRAVAIL DE BUREAU : CALCULS, VÉRIFICATIONS ET CORRECTIONS.

A. Réseau fondamental. — Les carnets de nivellement sont envoyés, chaque soir, par les chefs de brigade au bureau central; ils y sont soumis à un dépouillement et à des vérifications multiples destinées à contrôler l'exactitude des opérations et la sincérité des écritures.

On calcule sur un registre spécial (Registre D) :

1^o Les différences brutes de niveau entre les points consécutifs, déduites des cotes inscrites sur le carnet dans les deux opérations d'*aller* et de *retour* ;

2^o Les corrections à faire subir à ces différences brutes pour tenir compte de l'étalonnage et des changements de longueur des mires ;

3^o La discordance brute entre l'opération d'*aller* et celle de *retour* ;

4^o La discordance réelle, eu égard aux corrections.

Si cette discordance dépasse une certaine limite (3 à 3^{mm},5), ou si elle affecte une allure systématique, on fait recommencer aux opérateurs, jusqu'à satisfaction, la partie correspondante du nivellement.

Les opérations présentant le degré voulu de concordance, on fait, sur le registre D, la somme des différences partielles de niveau entre deux repères consécutifs, puis, sur les carnets eux-mêmes, à titre de contrôle, la somme algébrique des hauteurs correspondantes de mires.

Ces différences de repère à repère, transportées dans un deuxième registre (Registre A), sont cumulées à leur tour depuis l'origine de la section jusqu'à la fin, sur le registre A lui-même et, comme vérification, sur de petits tableaux récapitulatifs placés à la fin des carnets.

Les différences de niveau par sections, ainsi obtenues, sont enfin groupées par polygones dans un dernier registre (Registre F) pour le calcul des écarts de fermeture.

En même temps ces différences reçoivent une correction destinée à tenir compte du défaut de parallélisme qui existe, par suite de la forme ellipsoïdale de la terre, entre les surfaces de niveau situées à différentes altitudes.

Il résulte, en effet, de ce défaut, que la différence brute de niveau de deux points varie avec l'itinéraire suivi pour l'obtenir, et cette anomalie dépasse souvent les erreurs propres des opérations. Ainsi, de Dunkerque à Marseille par exemple, il y aurait un écart de 0^m,26, suivant que l'on aurait suivi les bords de la mer, ou traversé le territoire en franchissant, par Briançon, les contreforts des Alpes. L'erreur probable correspondante du nivellement, dans l'un ou l'autre cas, serait seulement de 0^m,06 en moyenne.

On fait disparaître ces anomalies en apportant aux résultats des opérations une correction convenable. Cette correction se calcule suivant deux méthodes :

Dans la première, on exprime l'altitude d'un point par sa distance, mesurée sur la verticale, à une surface de niveau choisie comme surface de comparaison, par exemple à celle des surfaces qui se rapproche le plus du niveau moyen des mers : c'est ce qu'on désigne sous le nom d'*altitude orthométrique*.

Dans la seconde méthode, on exprime la position d'un point sur la verticale par un nombre proportionnel au travail nécessaire pour y élever la masse de l'unité de poids depuis la surface de comparaison : c'est ce qu'on appelle la *cote dynamique*.

Les deux cotes diffèrent peu l'une de l'autre, sauf dans les régions de hautes montagnes (*).

(*) Pour la théorie complète de ces corrections, voir deux Notes de M. Ch. Lallemand dans les *Comptes Rendus des conférences de Ber-*

Une dernière correction reste à faire : celle résultant de la *compensation* des écarts corrigés de fermeture, c'est-à-dire de leur répartition rationnelle entre les différentes sections consécutives de chacun des polygones. Il est, en effet, nécessaire d'attribuer une valeur rigoureusement identique, dans tous les cas, à la différence de niveau entre deux points reliés par différents itinéraires de nivellements.

Cette double correction faite, on calcule, en partant du *repère fondamental*, les altitudes des différents nœuds du réseau.

Les petites corrections orthométriques et de compensation sont ensuite réparties méthodiquement, dans l'étendue de chaque section, sur les différences partielles de niveau; après, quoi l'on calcule, par voie de totalisation progressive, les *altitudes orthométriques* des repères consécutifs. On y ajoute l'appoint nécessaire, donné par un abaque, pour obtenir les *cotes dynamiques* correspondantes.

B. Nivellements secondaires. — Les calculs sont les mêmes que pour les opérations de 1^{er} ordre, avec les différences ci-après :

Pour les nivellements de 3^e, de 4^e et de 5^e ordres, comportant une seule opération, on n'a plus à déterminer la discordance par nivelée; les différences de niveau de repère à repère s'évaluent directement; on ne calcule plus les corrections orthométriques, elles se trouvent noyées dans les corrections de compensation.

Pour chaque ordre de nivellement, sauf le premier, au

lin (1886) et de Nice (1887) de l'Association géodésique internationale, ou bien le *Traité de nivellement de haute précision* de M. Ch. Lallemand (Paris, Baudry et C^o, 1889), ou encore l'étude du colonel Goulier sur les *Corrections nécessitées par les variations de la gravité* (Imprimerie Nationale, 1896).

lieu d'être étendue d'un seul coup au réseau tout entier, la compensation est localisée dans le périmètre de chacune des mailles de l'ordre immédiatement supérieur. Par exemple, la compensation du réseau de 2^e ordre s'effectue séparément par polygone de 1^{er} ordre; celle du réseau de 3^e ordre par maille de 2^e ordre et ainsi de suite.

III. — PROCÉDÉS DE CALCUL. — ABAQUES HEXAGONAUX.

Les vérifications et corrections donnent lieu à des calculs nombreux et compliqués, qui doivent être faits correctement et dans un temps très court. Pour les effectuer dans ces conditions, on a recours à des machines à calcul, notamment à l'arithmomètre Thomas, à des règles logarithmiques de différents modules, à des méthodes graphiques et surtout à des tables graphiques dites *abaques hexagonaux*. Chacun de ces abaques est étudié d'après la formule à laquelle il s'applique, de façon à donner, par une simple lecture et avec l'approximation nécessaire et suffisante, le résultat cherché, quelle que soit la complication de la formule.

La construction des abaques hexagonaux repose sur l'application de deux principes, dits de l'*addition graphique* et de la *multiplication graphique*(^{*}).

La nouvelle méthode s'applique à toutes les formules décomposables, directement ou par anamorphose, en une somme de produits de fonctions dépendant chacune de deux variables au plus. En d'autres termes, avec cette

(^{*}) Pour plus de détails à ce sujet, voir : 1^o une notice autographiée, ayant pour titre : *les Abaques hexagonaux, nouvelle méthode générale de calcul graphique*, par M. Ch. Lallemand (Paris, Impr. Marchadier, 1885); 2^o une courte Note, du même auteur, insérée dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* (Séance du 5 avril 1886); 3^o le chapitre consacré par M. d'Ocagne aux abaques hexagonaux dans son *Traité de Nomographie* (Paris, Gauthier-Villars, éd., 1899).

méthode, on peut traduire graphiquement toutes les équations de la forme :

$$F(x.y) \Phi(p.q) \Psi(u.v) \dots \pm f(r.t) (z.s) \dots = \gamma(\alpha.\beta) \psi(\gamma.\delta) \dots$$

Chacun des groupes de facteurs est représenté par une échelle dite linéaire, binaire, ternaire, etc., selon que le groupe renferme 1, 2, 3, ..., variables.

L'échelle linéaire est une simple droite, divisée d'après le principe de la graduation des coordonnées de Lalanne.

L'échelle binaire présente directement, ou après anamorphose, deux cours de lignes, le plus souvent droites, qui sont graduées suivant les valeurs des deux variables dont l'échelle dépend.

En combinant, par voie de multiplication graphique, une échelle linéaire avec une échelle binaire, on obtient une échelle ternaire. En associant ensemble deux échelles binaires, on a une échelle quaternaire, etc.

Toutes ces échelles sont disposées parallèlement aux diamètres d'un hexagone régulier, d'où le nom d'abaques hexagonaux; elles sont placées de manière à donner au dessin la forme la plus condensée et la plus commode en même temps.

Parfois on remplace une échelle binaire fixe par une échelle linéaire mobile, graduée suivant l'une des variables; on donne alors à cette échelle des positions différentes, d'après les valeurs de la seconde variable.

Pour consulter un de ces abaques, on se sert d'un *indicateur* hexagonal transparent portant gravés ses trois diamètres ou *index*, que l'on dispose perpendiculairement aux échelles de l'abaque. L'indicateur restant ainsi orienté, on le fait glisser sur l'abaque, de manière à amener successivement toutes les données du problème sous les index correspondants. On lit le résultat sur la dernière échelle, à sa rencontre avec l'index qui lui est perpendiculaire.

Abaque donnant l'erreur de réfraction dans le nivellement géométrique (niveau placé à égales distances des deux mires).

FORMULE.

$$\varepsilon = -0^{\text{mm}},00408 \cdot \frac{B}{76} \cdot \frac{l_3 - l_1}{(1 + \alpha\theta)^2} \cdot \frac{L^2}{D} \left\{ \mu - \frac{1}{2} \log(1 - \delta^2) - \frac{1}{2\delta} \log \frac{1 + \delta}{1 - \delta} \right\}$$

Modèle d'indicateur.

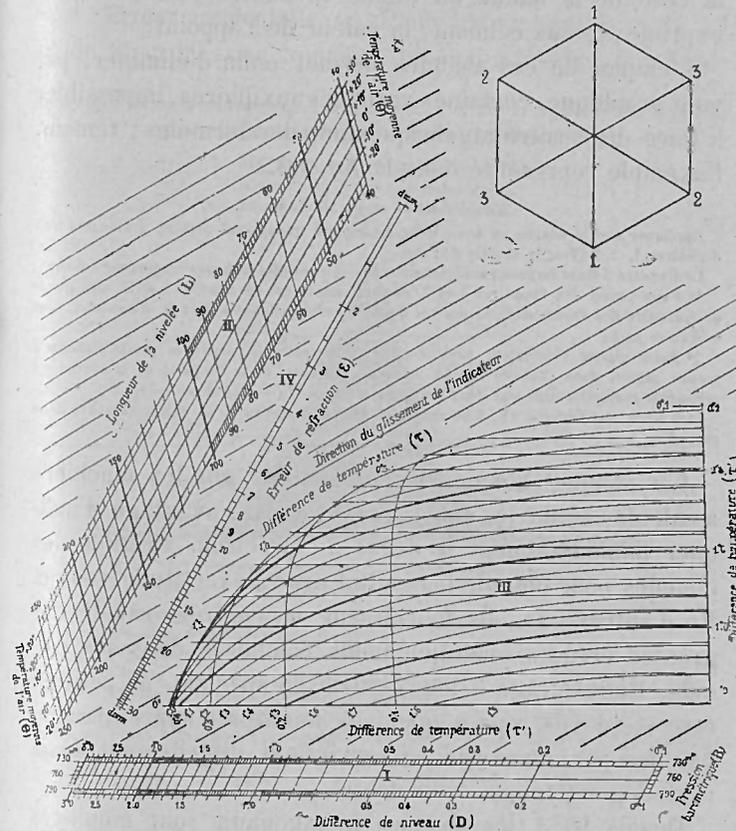


FIG. 33

B, pression barométrique en centimètres de mercure; — l_3, l_1 , températures de l'air aux points où la ligne de visée rencontre les deux mires d'arrière et d'avant; — l_2 , température de l'air à la hauteur de la lunette; — θ , température moyenne de l'air :

$$\theta = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3};$$

— $\alpha = 0,00365$, coefficient de dilatation de l'air; — L, longueur de la nivelée, en mètres; — D, différence brute de niveau, en mètres; — $\mu = \log e = 0,4343$, module des logarithmes népériens; — δ , correction de réfraction à ajouter à D; — δ , variable auxiliaire définie par la relation :

$$\frac{l_3 - l_2}{l_2 - l_1} = \frac{\log(1 + \delta)}{\log(1 - \delta)}$$

Certaines formules, comme celles, par exemple, du calcul des terrassements dans les projets de routes ou de chemins de fer, s'accroissent d'un terme supplémentaire dans certains cas. On représente ce terme par une échelle additionnelle centrale, composée de bandes courbes; la cote de la bande où tombe le centre de l'indicateur exprime, le cas échéant, la valeur de l'appoint.

L'emploi de ces abaques permet enfin d'éliminer, par voie graphique, certaines variables auxiliaires, impossibles à faire disparaître algébriquement des formules; témoin, l'exemple représenté dans la *fig. 30*.

Manière de se servir de l'abaque.

Appliquer sur le dessin un *indicateur* hexagonal transparent portant gravés ses trois diamètres 1, 2, 3 (Voir le modèle *fig. 30*).

Le diamètre 3 étant disposé parallèlement aux *lignes guides* obliques tracées sur l'abaque:
1° Faire passer les diamètres 1 et 2, respectivement sur les échelles I et II, aux points de rencontre des droites définies par les données correspondantes B et D, d'une part, L et O, d'autre part;

2° Faire glisser l'indicateur parallèlement au diamètre 3 jusqu'à ce que le diamètre 1 vienne passer, dans l'échelle III, au point de rencontre de la droite et de la courbe qui répondent respectivement aux deux dernières données ($t_3 - t_2$) et ($t_2 - t_1$).

Lire alors, sur l'échelle IV, à sa rencontre avec le diamètre 2, la valeur cherchée de la correction.

Les abaques hexagonaux présentent, sur les machines à calculer et sur les tables numériques, l'avantage d'indiquer immédiatement le degré de précision exigible des données pour obtenir le résultat avec l'exactitude voulue. En d'autres cas, ils fournissent un contrôle rapide des grosses erreurs éventuellement commises dans les calculs. Enfin, grâce à leur chiffraison spéciale, ils peuvent être employés, après quelques minutes d'apprentissage, par des personnes qui se serviraient difficilement de la règle logarithmique ordinaire.

Depuis 1883, les abaques hexagonaux sont employés couramment pour les calculs de corrections du nivellement général de la France.

Toutes les fois qu'il est possible, les résultats sont calculés deux fois, par deux méthodes distinctes, de manière à obtenir un contrôle de leur exactitude.

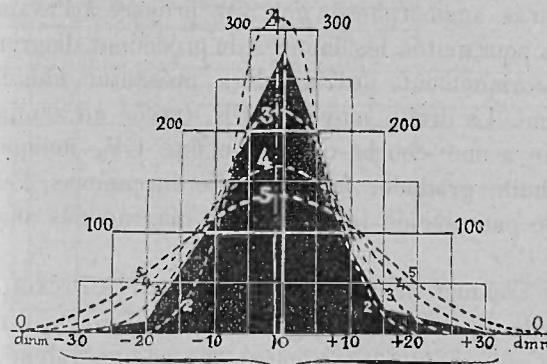
IV. — MESURE DE LA PRÉCISION DU NIVELLEMENT.

La précision du nivellement est caractérisée par son erreur accidentelle et son erreur systématique. On détermine ces erreurs de la manière suivante :

A. **Erreur accidentelle.** — Pour les nivellements de 1^{er} et de 2^e ordres, on compare, nivelée à nivelée, les résultats

Détermination graphique de l'erreur accidentelle probable d'une nivelée, pour la section J'Q' du réseau fondamental.

1^o MÉTHODE PAR DIAGRAMMES-TYPES
Nombre pour 1.000 des discordances.



Grandeurs des discordances.

Longueur de la section.....	86 ^m
Nombre de nivelées dans la section.....	558
Longueur moyenne d'une nivelée.....	144 ^m
Erreur accidentelle probable d'une nivelée.....	+ 2 ^{mm} , 7
Erreur accidentelle probable par kilomètre.....	+ 7 ^{mm} , 2

NOTA. — Les lignes figurées en *pointillé* (.....) sur ce modèle représentent les courbes tracées sur l'*indicateur* mobile transparent. Les cotes 2, 3, 4, 5, inscrites sur ces courbes, expriment en *décimillimètres*, les *erreurs probables* correspondantes par nivelée.

FIG. 31.

tats obtenus pour une section, à l'*aller* et au *retour*, et l'on classe les discordances d'après leur grandeur et d'après leur nombre pour chaque grandeur. Ce nombre étant ensuite ramené à ce qu'il serait pour un chiffre total de 1.000 nivelées, on traduit les résultats en un diagramme

campaniforme (*fig. 31*), qui est d'autant plus élargi que le nivellement est plus précis.

L'erreur accidentelle probable d'une nivelée — qui est à peu près les deux tiers de la racine carrée de la moyenne des carrés des discordances par nivelée — se lit ensuite directement en appliquant sur ce diagramme un *indicateur* mobile transparent, sur lequel sont figurées les *cloches* exprimant la répartition théorique des discordances quand l'erreur probable par nivelée atteint respectivement 2, 3, 4, ..., décimillimètres (méthode par diagrammes-types).

Un autre procédé plus simple consiste à transporter sur un canevas anamorphosé (*fig. 32*), préparé à l'avance et une fois pour toutes, les données du précédent diagramme, qui, théoriquement, devrait alors présenter une forme rectiligne. La droite moyenne DE, tracée au sentiment, tangente à une courbe-enveloppe fixe UV, indique sur une échelle graduée, faisant partie du canevas, l'erreur probable par nivelée (méthode par diagrammes anamorphosés) (*).

M. le Conducteur des Ponts et Chaussées Prévot, chef du bureau du Nivellement général de la France, a même réussi à obtenir plus simplement encore une valeur suffisamment approchée de cette erreur, en utilisant la relation théorique qui existe entre la somme arithmétique et la somme des carrés des discordances par nivelée entre les deux opérations d'aller et de retour.

Dans l'un ou l'autre cas, on multiplie le résultat par la racine carrée du nombre moyen de nivelées au kilomètre, pour avoir l'erreur accidentelle probable kilométrique du nivellement.

Pour les nivellements de 3^e, de 4^e et de 5^e ordres, com-

(*) Ces deux procédés de calcul graphique ont été imaginés par M. Lallemand (Voir, pour plus de détails, l'ouvrage déjà cité, *Nivellement de haute précision*, chap. IV, § 2).

Détermination de l'erreur accidentelle probable d'une nivelée pour la section J'Q' du réseau fondamental.

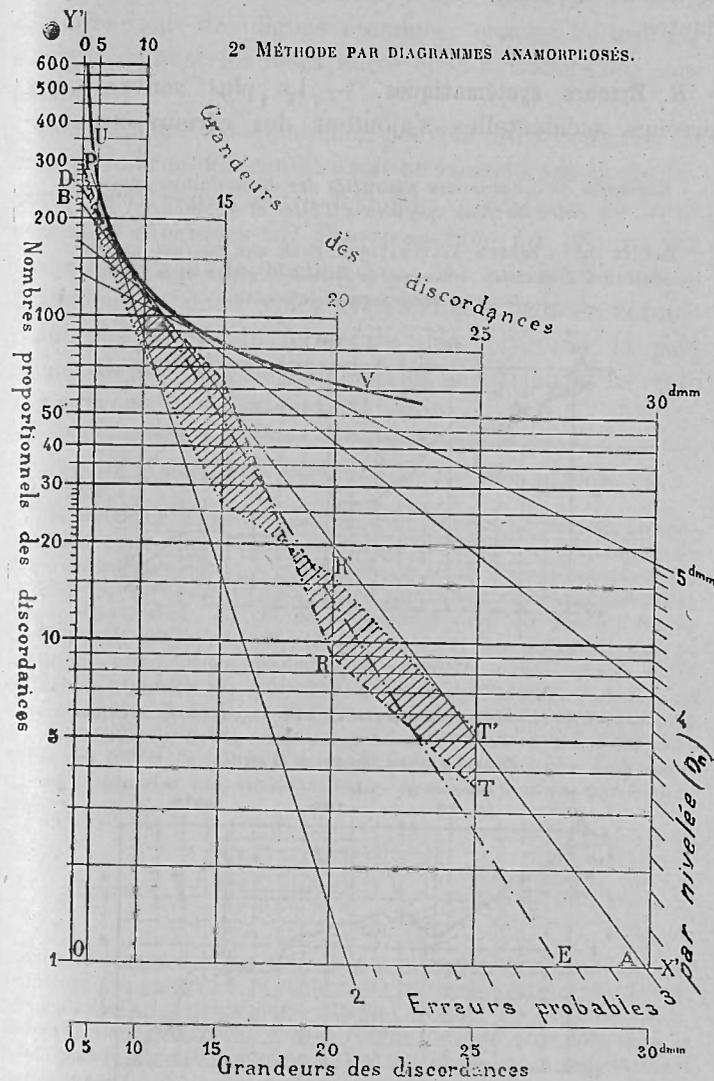


FIG. 32.

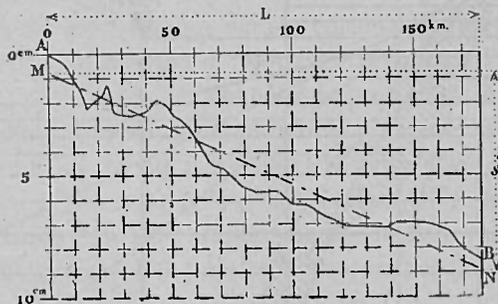
TRP (— · — · —), anamorphose de la partie gauche de la « cloche » (*fig. 31*) ; — T'R'P (· · · · ·), anamorphose de la partie droite.

portant une seule opération, l'erreur probable kilométrique se déduit des écarts de fermeture des mailles correspondantes.

B. Erreurs systématiques. — Le plus souvent, aux erreurs accidentelles s'ajoutent des erreurs systéma-

Exemples de diagrammes figuratifs des discordances cumulées entre les deux opérations d'aller et de retour.

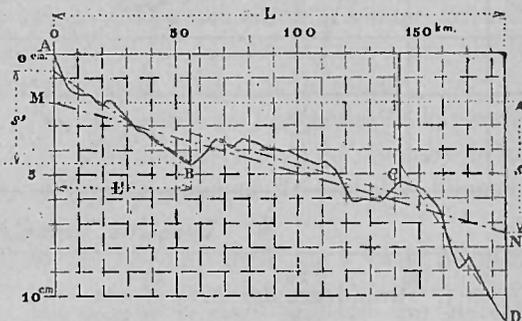
CALCUL DE L'ERREUR SYSTÉMATIQUE POUR UNE SECTION ENTIÈRE.
(Section K'T' du réseau fondamental du Nivellement général de la France.)
Distances depuis l'origine de la section.



Discordances
cumulées.

FIG. 33.

CALCUL DE L'ERREUR SYSTÉMATIQUE PAR TRONÇONS DE SECTION.
(Section F'K' du réseau fondamental du Nivellement général de la France.)
Distances depuis l'origine de la section.



Discordances
cumulées.

FIG. 34.

tiques(*) dont l'influence, inappréciable sur de petits parcours, dépasse de beaucoup celle des erreurs accidentelles sur des lignes étendues, comme celles, par exemple, reliant les mers entre elles à travers les continents.

Les erreurs systématiques peuvent être évaluées de deux manières différentes : soit en considérant la discordance progressive entre les deux opérations de sens inverses, effectuées sur chaque section (fig. 33), ou sur chaque tronçon de section (fig. 34) présentant même coefficient de discordance systématique ; soit en retranchant des écarts de fermeture des polygones la part connue des erreurs accidentelles et en attribuant le reste aux erreurs systématiques (**).

(*) Voir, à ce sujet, *Nivellement de haute précision*, n° 90, op. cit.

(**) Soient :

L , la longueur d'une section (ou d'un tronçon de section présentant, sur toute son étendue, le même coefficient systématique de discordances cumulées) ; s , la discordance totale correspondante entre les deux opérations ; Δ , la discordance entre deux repères consécutifs ; r , leur écartement ; ΣL , le développement total du réseau ; N_r , le nombre total des repères ; N_p , le nombre total des polygones ; η_r , le coefficient kilométrique probable de l'erreur accidentelle ; σ_r , le coefficient kilométrique probable d'erreur systématique, déduit de la comparaison de l'aller et du retour ; σ'_r , le même coefficient déduit des écarts de fermeture des polygones ; ΣF^2 , la somme des carrés de ces écarts, y compris celui du polygone-enveloppe du réseau.

Dans le premier cas, les quantités η_r et σ_r sont données par les formules ci-après :

$$\eta_r = \pm \frac{9}{3} \sqrt{\frac{\sum \frac{\Delta^2}{r} - \sum \frac{s^2}{L}}{N_r + N_p - 4}} ; \quad \sigma_r = \pm \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\sum \frac{s^2}{L}}{\Sigma L}}$$

Dans le second cas, on égale à la somme des carrés des écarts de fermeture des polygones la somme des carrés des erreurs moyennes, accidentelles et systématiques, affectant chacune des sections constitutives de ces polygones ; chaque section figurant deux fois dans le total, puisqu'elle est commune à deux polygones, on a sensiblement la relation :

$$\Sigma F^2 = \frac{9}{2} (\eta_r^2 \Sigma L + \sigma_r'^2 \Sigma L^2),$$

CHAPITRE IV.

RÉSULTATS.

I. — LONGUEUR DES NIVELLEMENTS EXÉCUTÉS.

En 1884, au début des opérations du nouveau nivellement général, la France ne possédait, comme nivellements de précision, que les 15.000 kilomètres du réseau de Bourdalouë et 5.000 kilomètres de nivellements divers.

A la fin de 1899, soit seize ans plus tard, la longueur totale des itinéraires nivelés a presque triplé; elle est d'environ 58.000 kilomètres, se décomposant ainsi :

d'où l'on tire :

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\frac{2}{9}\Sigma F^2 - r_r^2 \Sigma L}{\Sigma L^2}}$$

Si les erreurs accidentelles, ou bien les erreurs systématiques, pouvaient être entièrement éliminées des résultats, l'écart moyen φ de fermeture d'un polygone se réduirait, dans la première hypothèse, à :

$$\varphi_0 = \varphi \times 3\sigma_r \sqrt{\frac{\Sigma L}{2\Sigma F^2}}$$

et dans la seconde hypothèse à :

$$\varphi_1 = \varphi \times 3r_r \sqrt{\frac{\Sigma L}{2\Sigma F^2}}$$

Une démonstration complète de ces formules a été donnée par nous, dans les *Comptes Rendus de la onzième Conférence générale tenue en 1893, à Berlin, par l'Association géodésique internationale*, p. 205 et suivantes (Berlin, G. Reimer, éditeur, 1896), et dans la *Rivista di Topografia e Catasto*, vol. X, 1897, Turin. Il y a lieu, toutefois, de rectifier une erreur, sans importance pratique d'ailleurs, qui s'est glissée dans cette démonstration : au dénominateur des formules donnant r_r , le facteur N_r doit être remplacé par $N_r + N_p - 1$, comme il est indiqué ci-dessus.

Réseau fondamental (complètement terminé) :

Lignes Bourdalouë nivelées à nouveau....	1.540 ^{km}	} 11.700 ^{km}
Lignes entièrement nouvelles.....	10.160	

Réseau de 2^e ordre (entièrement achevé) :

Lignes Bourdalouë	} nivelées à nouveau..	1.220 ^{km}	} 17.500 ^{km}
Lignes nouvelles nivelées avec la	} méthode de 1 ^{er} ordre(*)..	700	}

Réseau de 3^e ordre (en cours d'exécution) :

Lignes Bourdalouë incorporées après rectification de leurs erreurs.....	2.700 ^{km}	} 11.500 ^{km}
Lignes nouvelles actuellement nivelées....	8.800	

Réseaux de 4^e et de 5^e ordres (partiellement attaqués) :

Lignes Bourdalouë incorporées.....	6.300 ^{km}	} 17.100 ^{km}
Lignes anciennes diverses.....	5.500	
Lignes nouvelles déjà nivelées.....	5.300	
TOTAL.....		57.800 ^{km}

Ces lignes sont munies d'environ 74.000 repères, appartenant à l'un des types reproduits au paragraphe 4 du chapitre II, savoir :

22.000 repères à console (*fig. 7*), scellés presque tous sur des lignes de chemins de fer ;

32.000 repères cylindriques (*fig. 6 et 8*), scellés indifféremment sur des chemins de fer ou sur des routes ;

20.000 rivets (*fig. 9*), fixés sur des seuils de bâtiments, ou sur des plinthes d'ouvrages d'art.

(*) Lignes du réseau de second ordre aboutissant soit à des marégraphes ou médimarémètres établis sur le littoral, soit aux repères-frontières de jonction du Réseau français avec les nivellements des pays voisins.

II. — PRÉCISION OBTENUE.

Au point de vue de la précision obtenue, les nouvelles opérations ne le cèdent en rien aux meilleurs nivellements exécutés à l'Étranger.

A. Erreurs accidentelles. — L'erreur accidentelle ne dépasse pas en moyenne :

0 ^{mm} ,8 par kilomètre, pour les nivellements de 1 ^{er} ordre,		
1 ^{mm}	—	2 ^e
4 ^{mm}	—	3 ^e
5 ^{mm}	—	4 ^e et de 5 ^e ordres.

Diagrammes montrant la répartition des erreurs accidentelles probables kilométriques, classées par sections, d'après leur grandeur et la longueur totale des sections correspondantes.

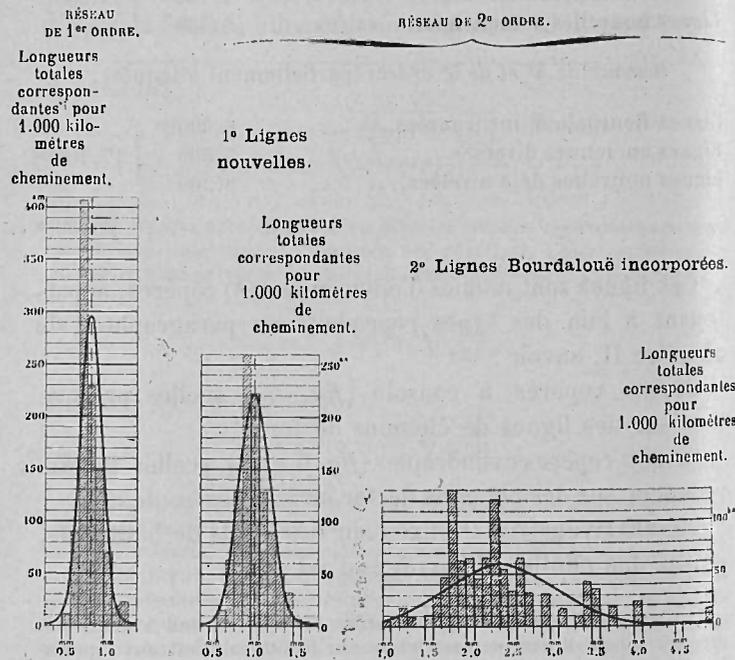


FIG. 35.
Grandeurs des erreurs.

La fig. 35 donne respectivement, pour les réseaux de 1^{er} et de 2^e ordres, la répartition des erreurs accidentelles probables kilométriques, classées par sections, d'après la grandeur de ces erreurs et la longueur totale des sections correspondantes.

L'erreur accidentelle probable par kilomètre varie :

- Entre 0^{mm},3 et 1^{mm},3 pour le réseau de 1^{er} ordre;
- 0^{mm},4 et 1^{mm},7 pour les lignes nouvelles du réseau de 2^e ordre;
- 1^{mm} et 5^{mm} pour les lignes Bourdaloué incorporées dans ce dernier réseau.

Le nouveau réseau fondamental est donc, en moyenne, trois fois plus exact que le nivellement de Bourdaloué.

B. Erreurs systématiques. — Les diagrammes (fig. 36 à 41) et le tableau ci-après donnent les résultats de l'application des méthodes indiquées ci-dessus (chap. III, § IV) aux opérations du Nivellement général de la France et, comme comparaison, à quelques réseaux étrangers.

On peut de là, semble-t-il, tirer les conclusions suivantes :

1^o Les nivellements de précision sont tous affectés d'erreurs systématiques, dont le coefficient probable, dans la moyenne des deux opérations, peut atteindre jusqu'à 0^{mm},3 par kilomètre ;

2^o Par suite de la compensation partielle des erreurs systématiques dans la moyenne des résultats, le coefficient kilométrique de ces erreurs, déduit des écarts de fermeture des polygones, est toujours inférieur de beaucoup à celui tiré des discordances constatées entre les deux opérations faites sur chaque section ;

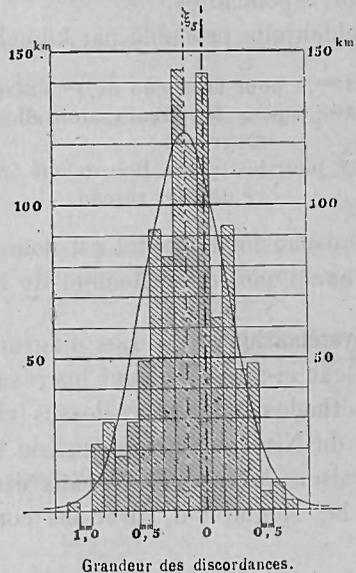
3^o Le calcul par sections entières donne des coefficients plus faibles et un peu moins discordants que le calcul par tronçons de sections, plus rationnel en apparence, mais aussi plus arbitraire ;

Diagrammes des discordances systématiques entre l'aller et le retour, classées d'après leur valeur kilométrique et d'après la longueur totale des cheminements de même erreur.

RÉSEAU FRANÇAIS.

1° Calcul par sections entières.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.

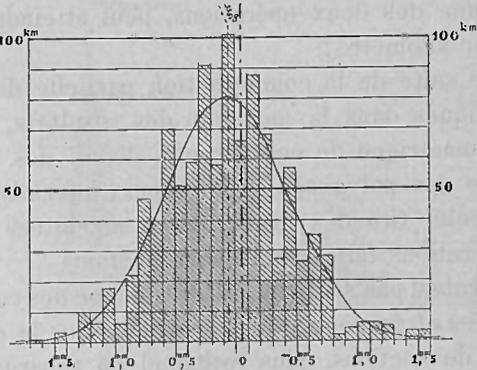


Grandeur des discordances.

FIG. 36.

2° Calcul par tronçons de sections.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.



Grandeur des discordances.

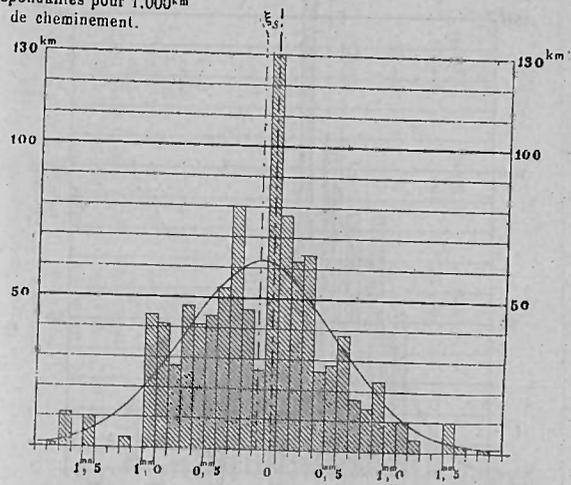
FIG. 37.

Diagrammes des discordances systématiques entre l'aller et le retour, classées d'après leur valeur kilométrique et d'après la longueur totale des cheminements de même erreur.

RÉSEAU PRUSSIEN.

1° Calcul par sections entières.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.

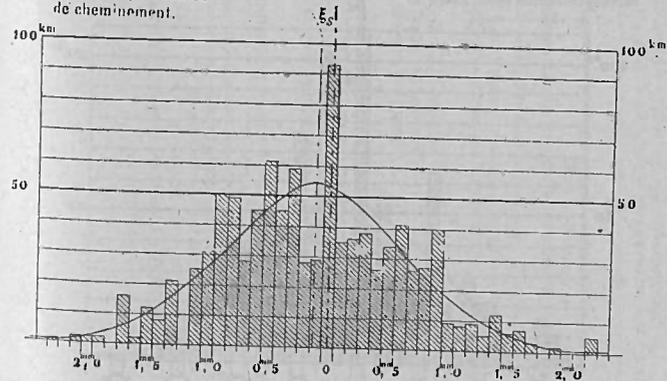


Grandeur des discordances.

FIG. 38.

2° Calcul par tronçons de sections.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.



Grandeur des discordances.

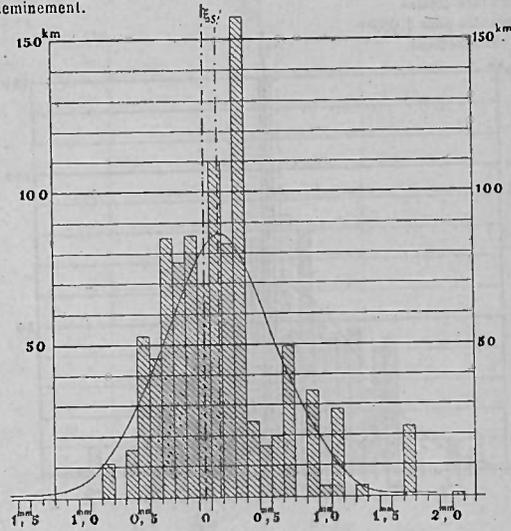
FIG. 39.

Diagrammes des discordances systématiques entre l'aller et le retour, classées d'après leur valeur kilométrique et d'après la longueur totale des cheminements de même erreur.

RÉSEAU ESPAGNOL.

1° Calcul par sections entières.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.

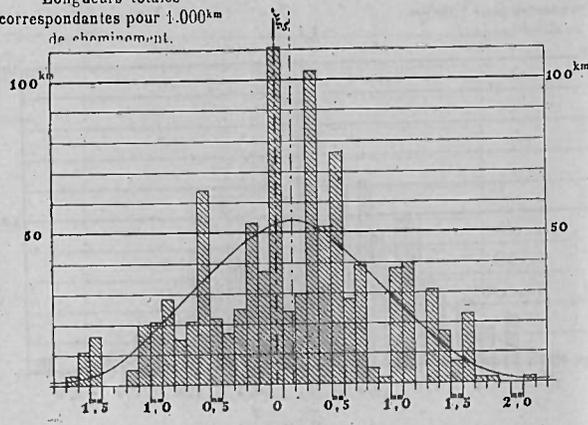


Grandeurs des discordances.

FIG. 40.

2° Calcul par tronçons de sections.

Longueurs totales correspondantes pour 1.000 km de cheminement.



Grandeurs des discordances.

FIG. 41.

Erreurs accidentelles et systématiques probables du réseau fondamental du Nivellement général de la France et de quelques grands réseaux étrangers de nivellements de précision.

	Réseau austro-hongrois	Réseau espagnol (**)	Réseau prussien (***)	Réseau français
Partie occidentale (*)	Réseau entier (**)	6.730 ^m 1871 à 1887	15.400 ^m 1867 à 1888	10.800 ^m 1884 à 1894
	6.124 ^m 1872 à 1895	6.900 ^m 1871 à 1887	15.400 ^m 1867 à 1888	10.800 ^m 1884 à 1894
	3.249 ^m 1872 à 1895	4.436 ^m 1871 à 1887	5.641 ^m 1867 à 1888	3.900 ^m 1884 à 1894
	93 ^m 1872 à 1895	297 ^m 1871 à 1887	98 ^m 1867 à 1888	51 ^m 1884 à 1894
	65 ^m 1872 à 1895	135 ^m 1871 à 1887	73 ^m 1867 à 1888	408 ^m 1884 à 1894
	42 ^m 1872 à 1895	62 ^m 1871 à 1887	47 ^m 1867 à 1888	56 ^m 1884 à 1894
	0 ^{mm} , 19	0 ^{mm} , 17	0 ^{mm} , 22	0 ^{mm} , 12
	0 ^{mm} , 16	0 ^{mm} , 14	0 ^{mm} , 08	0 ^{mm} , 11
	0 ^{mm} , 29	0 ^{mm} , 26	0 ^{mm} , 27	0 ^{mm} , 18
	0 ^{mm} , 20	0 ^{mm} , 20	0 ^{mm} , 10	0 ^{mm} , 15
	0 ^{mm} , 91	1 ^{mm} , 30	0 ^{mm} , 80	0 ^{mm} , 79
	±50 ^{mm}	±110 ^{mm}	±34 ^{mm}	±60 ^{mm}
	15	19	30	16
	49	45	25	50

Longueur totale des lignes polygonales considérées (ΣL).....
 Époque d'exécution des opérations.....
 Développement d'un polygone.....
 Développement du polygone-enveloppe du réseau.....
 Écart de fermeture du polygone-enveloppe du réseau.....
 Longueur moyenne d'une section.....
 Longueur moyenne des tronçons de même discordance systématique par kilomètre.....
 D'après la comparaison des deux opérations d'aller et de retour (σ_r).....
 D'après les écarts de fermeture des polygones (σ_r).....
 D'après la comparaison des deux opérations d'aller et de retour (σ_r).....
 D'après les écarts de fermeture des polygones (σ_r).....
 Erreur systématique probable par kilomètre, déduite de la comparaison des résultats des deux opérations faites sur chaque ligne (σ_r).....
 Écart moyen de fermeture d'un polygone (ε).....
 Réduction maxima pour 100 les erreurs accidentelles : (1 - ε/100)..... 0/0
 de l'écart moyen de fermeture, en supposant nulles les erreurs systématiques : (1 - ε/100)..... 0/0

(*) Die astronomisch-geodätischen Anstalten in Wien, K. u. K. militär-geographischen Institut, Das Präzisionsnivellement, t. VIII, Vienne, 1896.
 (**) Mittheilungen des K. und K. militär-geographischen Institut, t. XI, 1891, et t. XIV, 1894, Vienne. On a supprimé la ligne de Franzensfeste à Innsbruck (79^{mm}), et celle d'Abos à Poprad (95^{mm}), qui séparent des polygones ayant des écarts de fermeture relativement considérables et de signes contraires : + 194^{mm} et - 274^{mm} d'une part, + 138^{mm} et - 270^{mm} d'autre part, vraisemblablement dus à la présence d'une ou de plusieurs fautes dans la section commune.
 (***) Memorias del Instituto geográfico y estadístico, t. I à VIII; Madrid, 1871 à 1887.
 (****) Nivellements der trigonometrischen Abtheilung der Landesaufnahme, t. VII; Berlin, 1894.

4° L'influence des erreurs systématiques est surtout à craindre sur les sections de grande longueur, dans les réseaux à larges mailles.

En attribuant, comme on le fait d'habitude, aux seules erreurs accidentelles les écarts de fermeture des cheminement, on obtient des chiffres beaucoup trop forts pour le coefficient kilométrique de ces erreurs. Ainsi, pour les réseaux français et prussien, ce coefficient serait à peu près doublé ($1^{\text{mm}},7$ et $1^{\text{mm}},5$ au lieu de $0^{\text{mm}},8$). Toutes choses égales d'ailleurs, les réseaux à larges mailles paraissent ainsi relativement moins précis que les réseaux à mailles étroites;

5° Généralement la part des erreurs systématiques, dans les écarts de fermeture des polygones, est bien supérieure à celle des erreurs accidentelles. Si ces dernières s'annulaient, les écarts de fermeture, pour trois sur quatre des réseaux visés dans le précédent tableau, ne diminueraient, en moyenne, que de 13 à 19 p. 100, tandis que la suppression des erreurs systématiques les réduirait à peu près de moitié.

Pour augmenter la précision des grandes lignes de nivellements, une diminution des erreurs systématiques serait donc infiniment plus utile qu'une réduction des erreurs accidentelles, acquise au prix de nouvelles complications dans les méthodes et les instruments.

Malheureusement la constance, tout à fait remarquable et imprévue, des coefficients obtenus pour les erreurs systématiques de réseaux, comme ceux faisant l'objet du tableau ci-dessus, nivelés avec des méthodes et des instruments dissemblables, sous des climats, à des époques et par des opérateurs différents, semble bien montrer que les erreurs en question ne sont liées ni aux instruments, aux méthodes ou aux opérateurs, ni à la nature du sol, aux circonstances atmosphériques ou à l'orientation des cheminements.

Actuellement le meilleur, sinon le seul moyen d'atténuer l'influence des erreurs systématiques dans un nivellement de précision, est donc encore de réduire les dimensions des mailles du réseau, comme on l'a fait en Hollande, par exemple.

En tenant compte des erreurs systématiques, l'erreur probable de la différence de niveau trouvée entre Marseille et Dunkerque ne dépasse pas 6 centimètres.

Pour le réseau de 2° ordre, les *fig. 42, 43 et 44* donnent de même la répartition des erreurs systématiques, classées

RÉSEAU DE 2° ORDRE.

Diagrammes des discordances systématiques entre l'aller et le retour, classées d'après leur valeur kilométrique et d'après la longueur totale des cheminements de même erreur :

1° LIGNES NOUVELLES.

A. — Discordances systématiques groupées par décimillimètres.

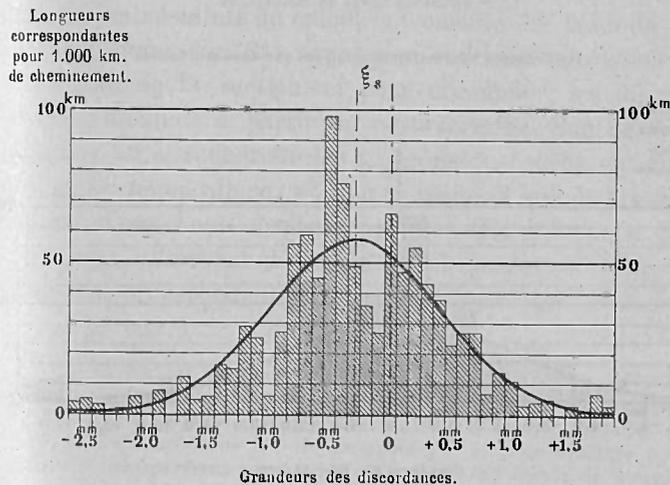


FIG. 42.

B. — Discordances systématiques groupées par demi-millimètres.

Longueurs
correspondantes
pour 1.000 km.
de cheminement.

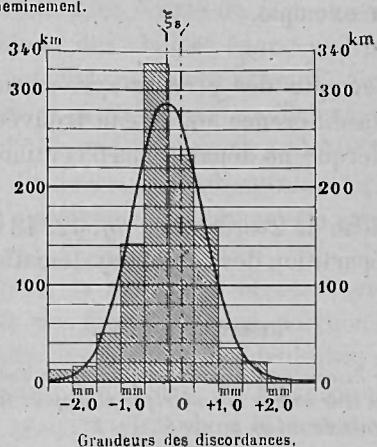


FIG. 43.

2° ANCIENNES LIGNES DE BOURDALOUE.

Discordances systématiques groupées par demi-millimètres.

Longueurs totales
correspondantes
pour 1.000 km.
de cheminement.

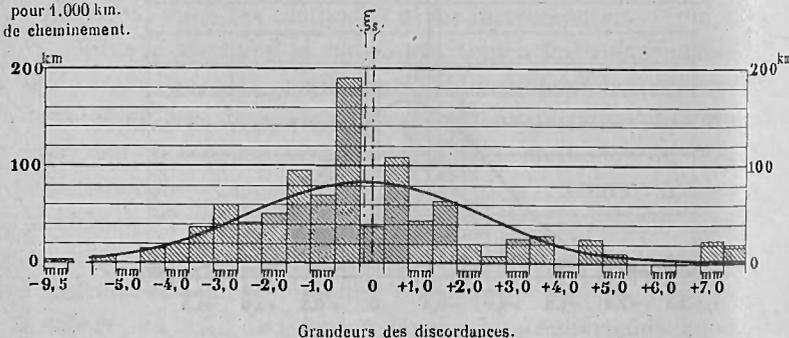


FIG. 44.

d'après leur valeur kilométrique et la longueur totale des cheminements de même erreur (*).

C. Erreurs des sections du réseau fondamental. — Le tableau ci-après donne, pour chaque section, désignée par les lettres indicatrices des deux polygones ou zones dont elle forme le côté commun (fig. 45) :

1° Sa longueur totale; la moyenne, pour l'ensemble du réseau, est de 106 kilomètres;

2° Le nombre total et la longueur moyenne des nivelées; celles-ci, pour le réseau entier, est de 129 mètres;

3° L'erreur accidentelle probable, par nivelée et par kilomètre, déduite de la comparaison des résultats des deux opérations faites sur chaque ligne. Cette erreur, on l'a déjà dit, est de $0^{\text{mm}},8$ par kilomètre pour la totalité du réseau fondamental;

4° L'écart systématique total pour la section entière. Pour obtenir cet écart, on a cumulé algébriquement, depuis l'origine de chaque section, les discordances de repère à repère entre les deux opérations d'aller et de retour; les résultats du calcul ont ensuite été traduits en un diagramme (fig. 34), ayant pour abscisses les distances à l'origine de la section, et pour ordonnées, les discordances cumulées à partir de cette origine. Sur ce diagramme, on a recherché les tronçons de courbe ayant à peu près même allure, et l'on a mené à vue, à travers chacun d'eux, une droite moyenne). La différence des ordonnées extrêmes de cette droite mesurait, pour le tronçon correspondant, l'écart systématique cherché.

(*) Sur la fig. 42, les discordances ont été groupées par décimillimètres pour faciliter la comparaison avec les diagrammes analogues (fig. 36 et 37) relatifs au réseau fondamental. Par contre, sur la fig. 43, ces mêmes discordances ont été groupées par demi-millimètres pour faciliter la comparaison avec la fig. 44 relative au réseau de Bourdaloue.

Tableau récapitulatif des Erreurs des Sections du Réseau fondamental.

LETTRES INDICATRICES de la Section	LONGUEUR	NOMBRE TOTAL des nivelées	LONGUEUR MOYENNE d'une nivelée	ERREUR accidentelle probable		ÉCART SYSTÉMATIQUE entre l'ailler et le retour pour la Section entière	DIFFÉRENCE moyenne brute de niveau entre les deux extrémités de la Section (*)	CORRECTION ORTHOMÉTRIQUE totale	ERREUR TOTALE probable	COMPENSATION totale
				par nivelée	par kilomètre					
<i>Campagne 1884.</i>										
LP	29,5	278	106	3,0	9,2	16	+ 12,8763	- 10	8	+ 47
PW	9,6	77	126	3,7	10,5	2	+ 8,4014	+ 5	2	
GP	8,6	66	130	1,7	4,6		+ 15,8262		1	
KP	72,8	643	113	2,8	8,3	32	+ 11,4226	+ 25	13	+ 80
GK	37,9	372	155	4,7	11,9	46	+ 24,0731	+ 20	18	+ 20
GL	96,1	574	167	2,3	5,6	23	+ 5,9235	+ 35	10	+ 112
GH	35,6	223	159	2,2	5,4	7	+ 28,2808	+ 15	6	+ 40
GN	93,8	680	138	3,3	8,8	38	+ 30,1553	- 50	16	+ 50
DG	109,5	692	158	3,5	8,7	46	+ 56,1089	- 20	18	+ 220
<i>Campagne 1885.</i>										
HL	94,7	748	127	3,2	9,1	63	+ 66,8542	- 25	23	- 30
JL	107,4	813	132	3,8	10,6	57	+ 14,6424	- 80	22	+ 190
LW	98,2	585	167	4,8	11,7	37	+ 32,2738	- 30	17	+ 180
JZ	141,4	1021	138	3,4	9,2	68	+ 165,7114	- 180	26	- 30
LZ	68,8	481	138	3,7	10,0	44	+ 38,8197	+ 10	18	+ 110
YZ	185,6	1402	132	3,6	9,8	56	+ 128,3876	+ 175	24	+ 243
G'Z	49,0	342	163	3,9	9,7	20	+ 4,0304	+ 20	10	+ 70
G'J	126,5	761	166	3,9	9,5	130	+ 77,9314	+ 180	46	+ 355
J'Q'	79,4	610	143	2,7	7,2	31	+ 111,3807	- 80	13	- 5
CZ	79,0	518	143	3,6	9,4	46	+ 58,5164	- 135	18	- 160
JZ	145,9	796	146	4,5	11,8	40	+ 13,5999	- 15	18	+ 295
C'J'	93,5	572	163	4,0	10,0	67	+ 25,7967	- 135	24	+ 295
J'R'	59,6	356	167	3,1	7,6	45	+ 72,8414	+ 100	16	+ 100
<i>Campagne 1886.</i>										
Q'R'	109,3	695	157	3,5	8,8	35	+ 39,5608	+ 105	15	+ 84
Q'V'	108,5	670	162	4,0	9,9	60	+ 93,5833	+ 60	23	+ 485
Q'U'	57,0	518	104	2,3	7,1	19	+ 101,0978	+ 10	10	+ 50
P'Q'	195,1	1446	135	3,3	9,0	68	+ 289,9702	+ 690	27	+ 430
L'Q'	100,4	751	145	2,7	7,2	46	+ 88,4310	- 245	18	- 190
G'Q'	92,6	614	151	3,6	9,2	50	+ 58,1771	- 25	20	- 70

(*) Le signe de la différence totale de niveau pour chaque section a été fixé en considérant celle-ci dans le polygone désigné par la première des deux lettres indicatrices et en supposant ce polygone parcouru dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

LETTRES INDICATRICES de la Section	LONGUEUR	NOMBRE TOTAL des nivelées	LONGUEUR MOYENNE d'une nivelée	ERREUR accidentelle probable		ÉCART SYSTÉMATIQUE entre l'ailler et le retour pour la Section entière	DIFFÉRENCE moyenne brute de niveau entre les deux extrémités de la Section (*)	CORRECTION ORTHOMÉTRIQUE totale	ERREUR TOTALE probable	COMPENSATION totale
				par nivelée	par kilomètre					
<i>Campagne 1887.</i>										
ET'	270,2	1845	147	3,3	8,5	101	+ 105,0057	- 30	37	+ 287
K'P'	5,3	37	143	2,9	7,6	3	+ 35,8224	+ 5	2	
P'Z'	232,2	1892	123	3,3	9,3	121	+ 32,9738	- 440	41	+ 100
DN	56,5	411	138	2,5	6,9	10	+ 108,0139	+ 35	10	- 180
DN	118,0	898	131	2,3	6,4	50	+ 6,1442	- 60	18	- 160
MP'	93,5	716	130	3,0	8,2	70	+ 176,8000	- 10	25	+ 56
M'Z'	55,3	376	146	3,2	8,3	20	+ 199,6707	- 20	11	+ 20
E'Z'	149,7	970	154	3,3	8,3	102	+ 134,5825	+ 65	36	+ 245
K'Z'	153,5	1141	135	3,0	8,2	60	+ 32,1319	+ 185	23	- 40
BD	190,2	1449	131	2,4	6,5	94	+ 170,3714	- 65	32	+ 504
<i>Campagne 1888.</i>										
K'T'	177,6	1332	132	2,7	7,4	60	+ 114,2050	- 65	23	- 20
FK	185,4	1512	123	2,5	7,1	75	+ 86,6781	+ 30	27	- 36
F'T'	37,2	315	118	2,5	7,4	40	+ 9,2726		15	- 20
F'O	153,5	1266	121	2,7	7,7	45	+ 13,3201	- 30	18	- 101
O'X	185,9	1452	128	2,5	6,9	25	+ 61,6260	+ 15	13	+ 44
EO	84,2	625	134	2,9	7,8	60	+ 34,7933		22	
EM	103,8	836	124	2,9	8,3	50	+ 236,3575	+ 20	20	- 20
F'X	181,0	1352	134	2,6	7,1	70	+ 223,8357	- 5	25	- 20
F'L'	122,1	1045	117	2,8	8,4	57	+ 114,5567	+ 190	21	- 90
K'L'	61,6	480	128	3,0	8,5	36	+ 65,4691	+ 80	14	- 30
F'M	241,0	1866	128	2,8	7,7	63	+ 130,4487	- 25	25	
<i>Campagne 1889.</i>										
OU	157,1	1064	147	2,8	7,2	51	+ 62,0249	+ 40	19	+ 117
NO	20,4	139	146	2,7	7,0	5	+ 25,8663		3	
NO	218,3	1497	145	2,6	6,8	45	+ 0,0829		19	+ 140
OR	112,5	801	140	2,4	6,5	65	+ 11,9381	+ 30	23	- 30
L'X	41,2	304	136	2,0	5,4	2	+ 163,3854	- 80	6	
D'X	186,7	1313	142	2,5	6,6	63	+ 319,0760	- 130	24	+ 650
V'X	17,0	118	143	2,2	5,8	5	+ 9,7871		3	+ 10
RV	32,1	221	145	1,9	5,1	5	+ 35,4484	+ 10	7	- 40
OQ	257,7	1863	138	2,6	6,9	70	+ 9,3560	+ 45	26	+ 269
QU	14,0	98	142	1,9	5,1	5	+ 2,7101		3	

(*) Le signe de la différence totale de niveau pour chaque section a été fixé en considérant celle-ci dans le polygone désigné par la première des deux lettres indicatrices et en supposant ce polygone parcouru dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

LETTRES INDICATRICES de la Section	LONGUEUR	NOMBRE TOTAL des nivelées		LONGUEUR MOYENNE d'une nivelée		ERREUR accidentelle probable		ÉCART SYSTÉMATIQUE entre l'aller et le retour pour la Section entière	DIFFÉRENCE moyenne brute de niveau entre les deux extrémités de la Section (*)	CORRECTION ORTHOMÉTRIQUE totale	ERREUR TOTALE probable		COMPENSATION totale
		km.	m.	par nivelée	par kilomètre	mm.	mm.				mm.	mm.	
RU	87,3	640	136	2,7	7,4	15	—	20,3995	—	40	10	—	370
UV	119,2	917	130	2,3	6,5	58	+	57,7391	—	40	21	+	40
UX	116,4	908	128	2,4	6,7	27	—	13,3576	+	40	12	—	40
Campagne 1890.													
RT	117,4	895	131	2,6	7,2	43	—	133,6549	+	100	17	+	20
CR	78,3	622	125	3,1	8,8	55	—	183,1732	—	45	20	+	90
NR	115,9	1005	115	2,3	6,9	51	+	5,5980	+	30	19	+	120
CT	158,7	1351	116	2,1	6,1	170	+	93,8277	+	5	38	+	451
KT	42,6	365	116	2,9	8,6	5	—	37,5588	—	40	7	+	30
KW	82,5	702	117	2,2	6,5	31	—	97,2197	+	20	12	—	72
IX'	128,3	1431	89	2,2	7,5	25	+	104,4263	—	377	17	—	19
CN	235,7	2176	108	2,2	6,7	36	—	5,3856	—	20	17	—	27
KN	54,8	433	126	2,8	8,0	5	+	47,6651	—	195	16	+	19
IX'	93,6	900	104	2,6	8,0	34	—	1010,2042	—	450	18	—	144
VX'	105,6	970	108	2,3	6,9	35	+	559,4184	+	330	20	+	179
IV'	128,4	983	130	2,4	6,6	43	—	561,2276	—	330	20	+	179
IS	2,3	20	116	0,9	2,5	2	+	5,9766	—	330	20	+	179
Campagne 1891.													
OT'	179,3	1490	121	2,6	7,4	39	+	18,4451	+	55	17	+	61
C/S	180,7	1832	101	2,4	7,7	59	+	195,6637	+	510	23	+	503
CH'	94,1	823	114	2,5	7,3	30	—	10,2047	+	30	12	+	100
AS	45,8	343	134	3,1	8,4	35	—	48,2308	+	25	14	—	36
H/S	84,1	653	129	2,6	7,3	28	—	8,3257	+	90	12	+	130
AH'	219,0	1777	123	2,6	7,4	57	—	97,0693	—	310	23	—	50
CK	87,2	708	124	2,4	6,9	29	+	94,6867	+	40	12	—	512
BH	145,8	1182	123	2,3	6,6	52	—	26,6901	—	75	20	—	6
AB	20,8	175	119	2,6	7,5	5	+	43,1097	—	20	6	—	154
AH	41,2	331	124	2,2	6,2	28	—	28,1802	—	60	11	—	408
AJ	62,1	507	122	2,6	7,6	59	—	4,4412	—	75	21	—	5
BN	177,6	1416	125	2,4	6,8	15	—	20,4560	—	5	12	—	5
Campagne 1892.													
D'G'	100,8	736	136	2,5	6,7	30	+	82,3795	+	105	13	+	100
D'V	166,6	1256	131	2,4	6,7	50	—	20,2923	—	20	19	+	119
D'L	122,0	958	127	2,7	7,6	43	+	190,4659	+	120	18	+	300
G'L	68,0	571	119	2,3	6,8	5	—	131,4284	—	90	8	+	20
D'Y	50,2	409	122	2,3	6,5	10	+	25,8139	+	20	6	—	20
TV	173,8	1351	129	2,1	5,9	25	—	99,8536	—	5	—	—	160
VW	74,0	545	136	2,2	5,9	15	—	50,7492	+	20	9	—	20
TW	50,2	401	125	2,2	6,3	5	+	22,0397	+	50	6	—	40
HJ	130,0	1044	123	3,1	8,8	34	—	68,0530	—	20	16	+	90
HJ'	199,0	1700	116	2,6	7,7	71	—	78,5055	—	340	29	—	469
G'Y	80,9	694	116	2,3	6,7	8	+	73,7340	+	15	8	—	70
VY	101,3	854	120	2,4	6,9	18	—	15,8476	+	55	11	—	100
WY	136,5	1147	118	2,2	6,4	45	+	44,7351	+	40	17	—	200

(*) Le signe de la différence totale de niveau pour chaque section a été fixé en considérant celle-ci dans le polygone désigné par la première des deux lettres indicatrices et en supposant ce polygone parcouru dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

L'écart total pour la section a été pris égal à la racine carrée de la somme des carrés des écarts partiels (*);

5° La différence moyenne brute de niveau pour la section entière, c'est-à-dire la moyenne des différences de niveau entre les deux repères extrêmes, respectivement obtenues à l'aller et au retour;

6° La correction orthométrique totale pour la section;

7° L'erreur probable totale résultant des erreurs accidentelles et systématiques et de l'incertitude métrique de l'étalonnage des mires (**);

8° Les corrections de compensation calculées par la classique méthode des moindres carrés.

D. Écarts de fermeture des polygones du réseau fondamental. — La carte (fig. 45) et le tableau ci-après font connaître, pour chaque polygone :

1° Le développement du périmètre : la moyenne, pour le réseau entier, est de 550 kilomètres;

2° L'écart brut de fermeture, c'est-à-dire la somme algébrique des différences moyennes brutes de niveau des diverses sections formant le polygone, supposé parcouru dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

(*) Ce mode de calcul repose sur une hypothèse très rarement et très imparfaitement réalisée : celle de l'indépendance des effets des erreurs systématiques sur les tronçons d'une même section caractérisés par un changement d'allure dans la courbe des discordances cumulées.

(**) Dans *Nivellement de haute précision, op. cit.*, n° 96, A, nous avons montré que, si l'on désigne par :

η_r , l'erreur accidentelle probable kilométrique;

L, la longueur de la section;

S, l'écart systématique total;

λ , l'incertitude métrique probable d'étalonnage des mires = $\pm 2^{\text{mm}}$;

D, la différence totale de niveau pour la section;

θ , l'erreur probable totale cherchée;

on a :

$$\theta = \pm \sqrt{\eta_r^2 L + \frac{S^2}{9} + \lambda^2 D^2.}$$

Réseau fondamental du nivellement général de la France.
(Ecart de fermetures et développements des polygones.)

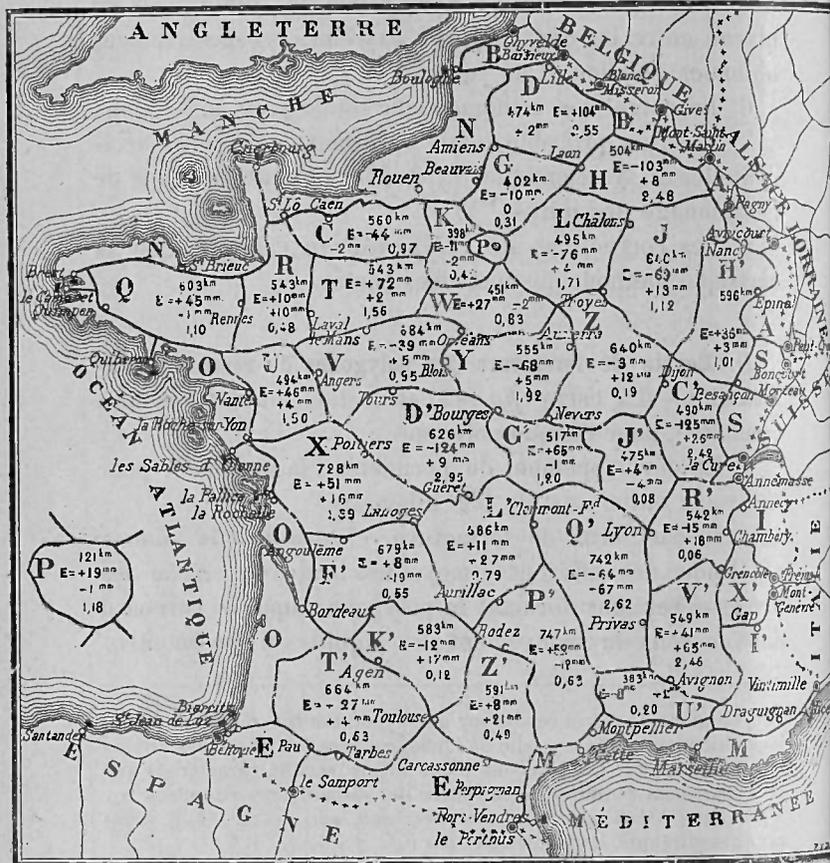


FIG. 45.

—	Lignes du réseau fondamental.	626 km	Développement du périmètre du polygone D.
—	Lignes appartenant à des nivellements étrangers.	E = -124 mm	Ecart brut de fermeture du même polygone.
—	Marégraphes et Médimarémètres.	+ 9 mm	Correction orthométrique de fermeture.
—●—	Raccordements avec les pays étrangers.	2,95	Rapport de l'écart corrigé à l'écart probable de fermeture.
D...II'	Lettres indicatrices de polygones ou de zones périphériques.		

L'écart maximum est de 125 millimètres, et l'écart moyen de ± 60 millimètres;

3° La correction orthométrique totale, c'est-à-dire la somme des corrections orthométriques afférentes aux sections constitutives du polygone. Cette correction atteint jusqu'à 67 millimètres, pour le polygone Q';

4° L'écart corrigé de fermeture, somme algébrique de l'écart brut et de la correction orthométrique totale.

On remarquera que, dans l'ensemble, l'application des corrections orthométriques n'a pas sensiblement atténué les écarts bruts de fermeture des polygones; ceci semblerait indiquer que les variations effectives de la pesanteur sur les itinéraires considérés s'écartent notablement de leur variation normale donnée par la loi de Clairaut;

5° L'écart probable de fermeture f_p , égal à la racine carrée de la somme des carrés des erreurs totales probables Θ des sections du polygone :

$$f_p = \pm \sqrt{\sum \Theta^2};$$

6° Le rapport ρ de l'écart réel corrigé f_r de fermeture à l'écart probable f_p :

$$\rho = \frac{f_r}{f_p}.$$

Ce rapport est partout inférieur à 3.
D'autre part, la valeur probable ρ_p des 32 rapports ρ ainsi obtenus,

$$\rho_p = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{32}} = 0,9$$

est très voisine de 1; cela prouve qu'en général les erreurs accidentelles et systématiques ont été judicieusement évaluées.

Tableau récapitulatif des Écarts de fermeture des Polygones du réseau fondamental.

Lettres indicatrices des polygones	DÉVELOPPEMENTS	ÉCARTS DE FERMETURE								Rapport de l'écart corrigé à l'écart probable (*)	
		Ecart brut		Correction orthométrique		Ecart corrigé		Ecart probable	+		-
		+	-	+	-	+	-				
	km.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.		
C	560		44		2		46	48	0,97		
C'	490		125		26		99	41	2,41		
D	474	104			2		106	42	2,54		
D'	626		124		9		115	39	2,95		
F	679	8			19		27	49	0,55		
F'	402		10				10	32	0,31		
G	517	65				1	61	54	1,20		
G'	504		103		8		39	38	2,48		
H	596	36			3		39	39	1,01		
H'	640		69		13		50	50	1,12		
J	475	4				4		59	1,01		
J'	398		11		2		13	30	0,42		
K	583				17		5	46	0,12		
K'	495		76		4			42	1,71		
L	686	11					38	48	0,79		
L'	191	19				1	18	15	1,18		
P	747				12		40	63	0,63		
P'	603					1	44	40	1,10		
Q	742		64			67		50	2,62		
Q'	543	10			10		20	42	0,48		
R	543		15		18		3	46	0,06		
R'	543					2	70	45	1,56		
T	664	72			4		31	49	0,63		
T'	494		46		4		50	33	1,50		
U	383				2			32	0,20		
U'	684		8		5			36	0,95		
V	649	41			65		106	43	2,46		
V'	451		27			2	25	30	0,83		
W	728	51			16		67	40	1,69		
X	555				5			33	1,92		
Y	640		68		12		9	48	0,19		
Z	591	8			3		29	60	0,49		
Z'					21						
Polygone-Enveloppe.	3.900		- 141 ^{mm}		+ 196 ^{mm}		+ 51 ^{mm}	112	0,45		

(*) Les rapports consignés dans cette colonne ont été calculés avec les écarts corrigés de fermeture exprimés en décimillimètres et non avec les écarts arrondis au millimètre qui figurent au présent tableau.

Si, au lieu des écarts systématiques déterminés par tronçons de sections, comme il a été dit ci-dessus (§ C), on fait intervenir, dans le calcul des erreurs probables totales, les écarts déterminés par sections entières, la

valeur trouvée pour ρ_p s'élève à 1,2, s'écartant ainsi, plus que dans le premier cas, de sa valeur théorique. C'est l'un des motifs qui ont fait adopter le calcul par tronçons de section pour la détermination des erreurs probables en vue de la compensation, et cela, malgré le caractère nécessairement arbitraire de ce mode de calcul.

E. Erreurs du réseau de 2° ordre. — Le petit tableau ci-après donne, pour chacune des deux catégories de lignes constituant le réseau de second ordre, les valeurs moyennes générales des erreurs probables, accidentelles et systématiques, par kilomètre.

	1° Lignes nouvelles.	2° Lignes Bourdaloué incorporées.
Erreur accidentelle probable par kilomètre.....	$\eta_r = \pm 1,0$ mm	$\pm 2,3$ mm
Discordance systématique moyenne par kilomètre entre l'aller et le retour (fig. 42 à 44).....	$\xi_r = -0,32 \pm 0,27$ mm mm	$-0,14 \pm 2,31$ mm mm
Erreurs systématique probable kilométrique de la moyenne des deux opérations.....	$\sigma_r = \pm 0,26$ mm	$\pm 0,77$ mm

III. — RÉPERTOIRE GRAPHIQUE DES REPÈRES.

Les altitudes de tous les repères principaux et secondaires sont consignées sur un répertoire graphique.

Ce répertoire comporte, pour le réseau fondamental, un plan itinéraire du nivellement, où chaque repère est figuré, à sa place, par un point accompagné du matricule du repère. Des croquis représentent l'élévation des bâtiments portant les repères et la position qu'y occupent ces derniers. Quatre colonnes de texte, accolées à ce plan, donnent respectivement : la position kilométrique des repères, la désignation des ouvrages d'art qui les portent, l'altitude orthométrique et l'appoint dynamique, c'est-à-

dire une quantité qui, ajoutée à l'altitude, donne la cote dynamique correspondante.

Pour les nivellements secondaires, et par mesure d'économie, la carte est séparée du texte.

IV. — COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DU NIVELLEMENT DE BOURDALOUË.

Les sections de 1^{er} et de 2^e ordres du nouveau nivellement général croisent les lignes de l'ancien nivellement de Bourdalouë en un grand nombre de points.

La comparaison des altitudes anciennes et nouvelles des repères communs aux deux nivellements a mis en relief une discordance (*fig. 46*) qui, avec quelques alternatives, va en croissant du sud au nord, depuis Marseille, où la correction à ajouter aux altitudes Bourdalouë est simplement égale à la différence (+ 0^m,07) des deux niveaux de comparaison, jusqu'à Brest, d'une part, où cette correction atteint — 1^m,07, et à Lille, d'autre part, où elle est de — 0^m,91.

L'importance de ces écarts dépasse très notablement celle des corrections orthométriques (maximum, 0^m,10), dont on n'avait pas tenu compte dans le calcul des altitudes anciennes; elle dépasse aussi de beaucoup les résultantes de ces corrections combinées avec les erreurs accidentelles des deux nivellements et avec les erreurs systématiques du nouveau réseau, lesquelles ont pu être évaluées avec une suffisante approximation. Les discordances en question doivent donc être attribuées surtout à des erreurs systématiques affectant les opérations de Bourdalouë.

Pour permettre une comparaison plus correcte des altitudes résultant des deux nivellements, feu le colonel Goulier avait revu et discuté à nouveau les opérations originales de Bourdalouë. Il avait pu compenser certaines erreurs systématiques que cet habile opérateur n'avait pas

soupçonnées; il avait également corrigé les erreurs dues

*Corrections des altitudes Bourdalouë
d'après le nouveau nivellement général.*

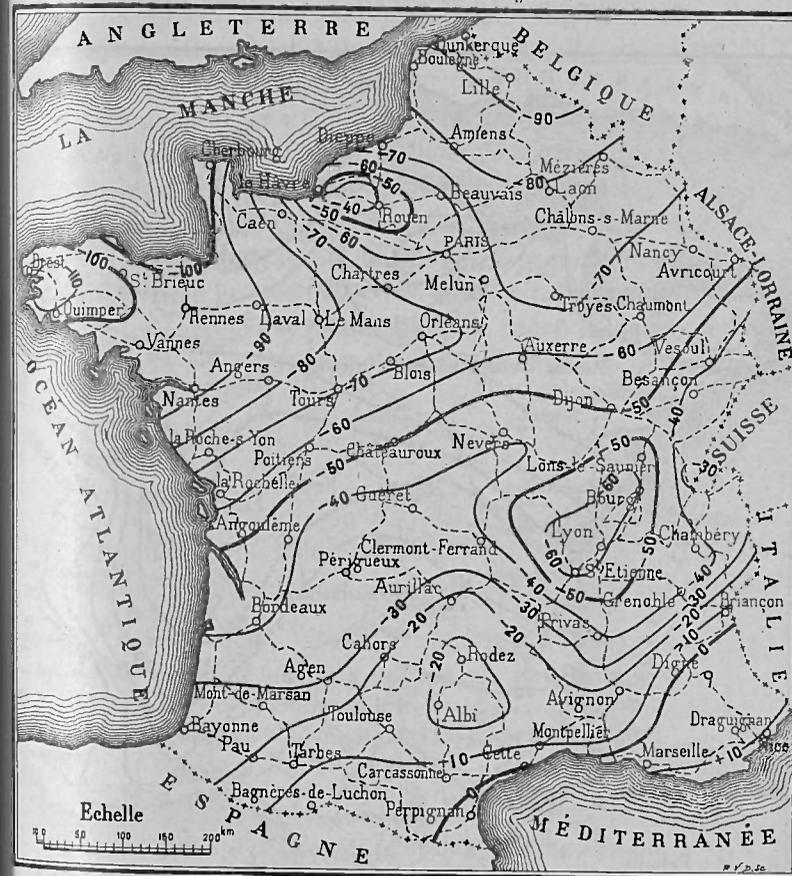


FIG. 46.

--- Lignes du nivellement de Bourdalouë.
— Courbes d'égalité discordances entre les altitudes Bourdalouë et les altitudes orthométriques des mêmes repères, d'après le nouveau nivellement général. Les cotes inscrites sur les courbes expriment, en centimètres, les corrections.

à un très léger excès de longueur (0^{mm},1 en moyenne) de l'une de ses mires sur le mètre légal; enfin il avait apporté

aux altitudes Bourdaloué la correction orthométrique qui a

*Corrections, d'après le nouveau nivellement général,
des altitudes Bourdaloué rectifiées par le colonel Goulier.*

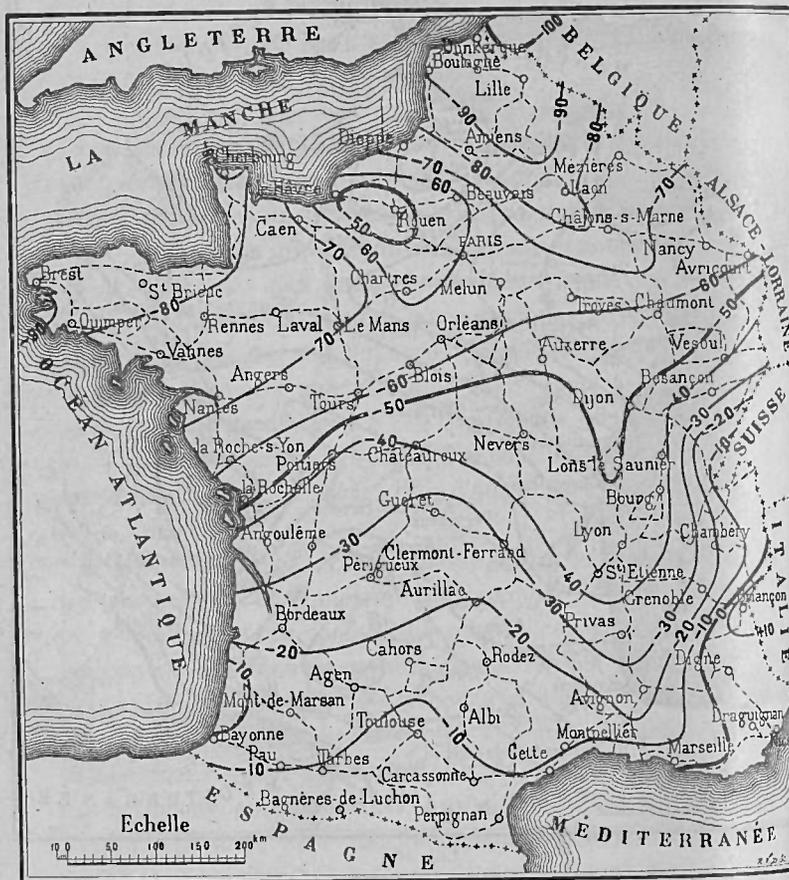


FIG. 47.

--- Lignes du nivellement de Bourdaloué.
— Courbes d'égalité discordances entre les altitudes des repères Bourdaloué rectifiées par le colonel Goulier et les altitudes orthométriques des mêmes repères, d'après le nouveau nivellement général. Les cotes inscrites sur les courbes expriment, en centimètres, les corrections.

été systématiquement introduite dans le calcul des nou-

velles altitudes. L'ensemble de ces corrections modifiait de 0^m,1 en moyenne et de 0^m,3 au maximum les altitudes primitives (*).

La fig. 47 montre les écarts qui subsistent entre les altitudes Bourdaloué ainsi revisées et celles résultant du nouveau nivellement.

En général, ces écarts sont un peu plus faibles que les discordances brutes (fig. 46) obtenues avec les altitudes indiquées au *Répertoire* de Bourdaloué. Toutefois, l'amélioration obtenue est assez peu sensible pour qu'il soit permis de supposer que la plus forte part des écarts constatés entre les résultats des deux nivellements provient d'autres erreurs systématiques, de cause inconnue, ayant altéré le nivellement de Bourdaloué.

V. — PRIX DE REVIENT DES NOUVELLES OPÉRATIONS.

Tandis que le réseau Bourdaloué a coûté 55 francs le kilomètre, le prix de revient des nouvelles opérations du réseau fondamental est descendu à 35 francs, se répartissant comme suit :

Opérations sur le terrain (traitements et indemnités des opérateurs et porte-mires).....	18 fr.
Contrôle et calculs (traitements et indemnités du chef de service et des calculateurs).....	8
Matériel, repères, carnets, registres, fournitures générales de papeterie, entretien des instruments...	4
Publication des résultats (préparation et impression du répertoire graphique des repères).....	5
Total.....	35 fr.

Pour les nivellements secondaires, les prix de revient

(*) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* (séance du 20 août 1888) et *Comptes Rendus de l'Association géodésique internationale* (Conférence de Salzbourg, 1888).

Abaque servant au calcul des primes et salaires des opérateurs et des porte-mires.

FORMULE (*) ET NOTATIONS.

$$s = K \left[\beta + \frac{(L\lambda + N\nu + R\rho)^2}{20.600.000} \right]$$

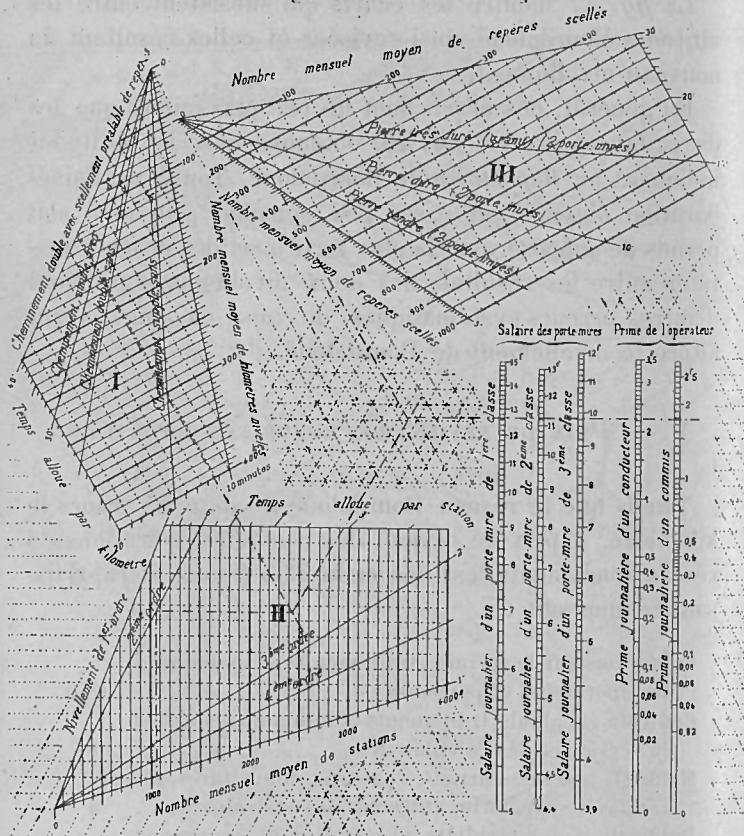


FIG. 48.

Échelle de 1/2.

L, nombre mensuel moyen de kilomètres nivelés; — β , constante égale à 5 francs pour les porte-mires, nulle pour les opérateurs; — N, nombre mensuel moyen de stations du niveau; — R, nombre mensuel moyen de repères scellés; — λ , temps alloué par kilomètre nivelé; — ν , temps alloué par station du niveau; — ρ , temps alloué par repère scellé; — K, coefficient variable avec le grade de l'opérateur ou la classe du porte-mire; — s, salaire journalier total du porte-mire.

(*) Cette formule résulte de l'application d'un principe nouveau dans le calcul des salaires. Ce principe est le suivant: Le salaire est un sti-

par kilomètre sont abaissés aux chiffres suivants :

Lignes nouvelles de 2 ^e ordre.....	28 fr.
— de 3 ^e ordre.....	22
— de 4 ^e ordre.....	18

mulant plutôt qu'une rémunération du travail. Cela étant, le salaire élémentaire ds , correspondant à un travail très petit dT , doit être proportionnel à l'effort développé pour exécuter ce travail. Or cet effort est proportionnel non seulement à dT , mais encore à la fatigue de l'organisme du travailleur au même instant. Cette fatigue, d'autre part, peut être considérée comme étant proportionnelle au travail T , accompli depuis l'origine de la période de travail jusqu'à l'instant considéré. A étant un coefficient constant, on a donc la relation différentielle :

$$ds = A \cdot T \cdot dT,$$

dont l'intégrale est :

$$(1) \quad s = B + \frac{A}{2} \cdot T^2,$$

B désignant un second coefficient constant. Soient maintenant : F, la part des frais généraux afférente à la durée d'exécution du travail T, et ϖ , le prix de revient correspondant de l'unité de travail, on a :

$$\varpi = \frac{F + s}{T} = \frac{F + B}{T} + \frac{A}{2} T.$$

Les coefficients A et B doivent être choisis de manière que, d'une part, dans les conditions les plus défavorables, l'ouvrier reçoive un salaire suffisant, et que, d'autre part, le prix de revient diminue à mesure que le rendement augmente; ceci exige que le rapport $\frac{d\varpi}{dT}$ soit négatif, quand T croît, tout en restant inférieur au rendement maximum T_M , susceptible d'être atteint dans des circonstances exceptionnellement favorables. Or on a :

$$\frac{d\varpi}{dT} = -\frac{F + B}{T^2} + \frac{A}{2}.$$

Pour que la condition ci-dessus soit remplie, il faut donc et il suffit que les coefficients A et B satisfassent à la relation :

$$\frac{2(F + B)}{A} > T_M^2.$$

Dans le cas particulier du nivellement, on peut admettre que le travail T est proportionnel au temps θ mis à l'exécuter; la formule (1) s'écrit alors :

$$s = B + C \cdot \theta^2,$$

C étant un coefficient constant.

θ est la somme des temps respectivement employés au parcours à pied de la ligne nivelée, au scellement des repères et à l'exécution des stations.

En remplaçant B et θ par leur valeur, on obtient les formules dont l'abaque (fig. 48) est la représentation graphique.

Ces résultats sont dus, sans doute, aux perfectionnements apportés dans les instruments et les méthodes d'opération et de calcul; mais ils sont aussi attribuables au système de rémunération du personnel des brigades. En dehors du salaire journalier, les agents perçoivent en effet une prime importante, qui croît avec la longueur nivelée, avec le nombre des stations et avec celui des repères scellés. Cette prime diminue quand les opérations ne sont pas suffisamment correctes; le travail devant être recommencé sans que, la seconde fois, il en soit tenu compte dans la longueur nivelée. Les opérateurs sont donc également intéressés à faire bien et à faire vite.

Un abaque spécial (*fig. 48*) permet de calculer immédiatement l'importance de la prime des opérateurs et le salaire total des porte-mires.

MODE D'EMPLOI DE L'ABAQUE.

a) Marquer, dans chacune des échelles binaires I, II, III, le point O_I , O_{II} ou O_{III} (Voir l'exemple représenté sur la figure), situé à la rencontre des deux droites ayant respectivement pour cotes :

1° Le *rendement moyen mensuel* (nombre de kilomètres nivelés, pour l'échelle I; nombre de stations du niveau, pour l'échelle II; nombre de repères scellés, pour l'échelle III);

2° Le *temps alloué* pour chaque élément unitaire correspondant du rendement.

b) Exécuter successivement les constructions suivantes :

1° Pour chacun des points O_I , O_{II} , O_{III} , tracer une *directrice* parallèle aux lignes ponctuées (\backslash ou \dots) entre lesquelles se trouve le point considéré ;

2° Par le point de rencontre des deux directrices de O_I et de O_{II} , mener une parallèle aux lignes ponctuées (\backslash) constituant le troisième réseau de lignes-guides;

3° Par le point d'intersection de cette parallèle avec la directrice de O_{III} , tracer une horizontale coupant les échelles de salaires et de primes.

c) Lire enfin sur ces échelles, à la rencontre de l'horizontale en question, les salaires journaliers des porte-mires, et la prime journalière de l'opérateur.

L'exemple représenté sur la figure répond aux données suivantes, pour un mois d'opérations :

114 kilomètres de nivellement double avec scellement préalable de repères ;

1.065 stations du niveau (nivellement de 2^e ordre);

170 repères scellés dans la pierre dure.

Les salaires correspondants sont de 12 fr. 65 par jour pour le porte-mire de 1^{re} classe et de 9 fr. 80 pour celui de 3^e classe. La prime de l'opérateur est de 2 fr. 20 si c'est un Conducteur, ou de 1 fr. 80 si c'est un Commis des Ponts et Chaussées.

VI. — CONSERVATION DES REPÈRES.

La conservation des repères est le complément indispensable de leur établissement. Faute de mesures spéciales prises dans ce but, un réseau de nivellement ne tarde pas à subir de profondes altérations par l'atteinte du temps et des hommes. C'est la rouille qui ronge les repères, surtout dans les endroits exposés à des émanations acides; c'est la malveillance qui les casse, qui en arrache les plaques altitudinales; c'est la démolition des ouvrages d'art et des édifices, ou le déplacement des bornes de routes, qui détruisent ou modifient les supports. Ainsi entamé de tous les côtés, chaque jour et en détail, ce réseau, s'il n'était l'objet d'une surveillance et de

réparations incessantes, serait vite compromis, comme le prouve l'expérience de certains pays (*).

Aussi, en 1877, l'Administration des Travaux publics a-t-elle institué un service de conservation des repères des lignes de base du nivellement général de la France. Elle l'a confié aux ingénieurs des Ponts et Chaussées pour leurs circonscriptions respectives, et l'a centralisé d'abord entre les mains du Directeur des Cartes et Plans, et, après la suppression de cette Direction, dans celles de la Commission du Nivellement général (**), puis du Directeur du service du Nivellement.

Ce service reçoit les procès-verbaux de la visite générale des repères que les ingénieurs doivent faire tous les ans; il relève les observations auxquelles cette visite donne lieu et provoque les mesures nécessaires pour remédier à toutes les altérations du réseau, dès qu'elles se produisent.

Depuis 1877, c'est-à-dire en vingt-deux ans, ce service a fait remplacer ou reposer 1.400 repères avec toutes les garanties désirables de précision; en même temps, il a presque partout fait disparaître les plans locaux de comparaison.

(*) Du rapport présenté en 1886 à l'Association géodésique internationale par M. Hirsch, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, il ressort que, sur les repères placés depuis 1865, en Suisse, on n'en a retrouvé complètement intacts que 98 p. 100 pour le premier ordre et 59 p. 100 pour le second ordre. « La perte est due en grande partie, dit le rapport, au vandalisme des conducteurs de route et à l'incurie des ingénieurs des petites villes et des autorités des villages. »

(**) M. Cheysson, alors Ingénieur en chef, aujourd'hui Inspecteur général des Ponts et Chaussées, a géré ce service, en qualité de Directeur des Cartes et Plans de 1878 à 1885, puis jusqu'en 1891, en qualité de Secrétaire de la Commission du Nivellement.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE PREMIER.

Programme.

	Pages.
I. — Avant-propos	227
II. — Nivellement de Bourdaloué	228
III. — Programme du nouveau nivellement général de la France.	231
IV. — Marche générale des opérations	235
A. — Opérations sur le terrain	235
B. — Travail de bureau	237

CHAPITRE II.

Instruments.

I. — Repères	238
II. — Niveau	240
A. — Support	242
B. — Lunette	243
C. — Nivelle	244
III. — Mire pour les nivellements de premier et de second ordre.	246
A. — Système compensateur	250
B. — Divisions de la mire	252
C. — Étalonnage de la mire	254
D. — Abaques de correction des erreurs de division des mires	256
IV. — Mires pour les nivellements de troisième, de quatrième et de cinquième ordres	261

CHAPITRE III.

Méthodes d'opérations et de calculs.

I. — Opérations sur le terrain	261
A. — Réseau fondamental	261
B. — Nivellements secondaires	263

	Pages.
II. — Travail de bureau : Calculs, vérifications et corrections..	264
A. — Réseau fondamental.....	264
B. — Nivellements secondaires.....	266
III. — Procédés de calcul. — Abaques hexagonaux.....	267
IV. — Mesure de la précision du nivellement.....	271
A. — Erreurs accidentelles.....	271
B. — Erreurs systématiques.....	274

CHAPITRE IV.

Résultats.

I. — Longueur des nivellements exécutés.....	276
II. — Précision obtenue.....	278
A. — Erreurs accidentelles.....	278
B. — Erreurs systématiques.....	279
C. — Erreurs des sections du réseau fondamental.....	287
D. — Écarts de fermeture des polygones du réseau fondamental.....	291
E. — Erreurs du réseau de second ordre.....	295
III. — Répertoire graphique des repères.....	295
IV. — Comparaison avec les résultats du nivellement de Bourdaloué.....	296
V. — Prix de revient des nouvelles opérations.....	299
VI. — Conservation des repères.....	303

NOTICE

SUR LA

CONSTRUCTION D'UNE GALERIE SOUTERRAINE

DESTINÉE

A RELIER LA CONCESSION DES MINES DE LIGNITE DE GARDANNE A LA MER

PRÈS MARSEILLE

Par M. DOMAGE, Directeur de la Société nouvelle de Charbonnages
des Bouches-du-Rhône.

Introduction.

Je me suis proposé, dans cette notice, de faire connaître les raisons qui ont décidé la Société anonyme de Charbonnages des Bouches-du-Rhône à solliciter la déclaration d'utilité publique pour l'exécution d'une galerie partant du bord et du niveau de la mer, à Marseille, et devant aboutir au sud de Gardanne, dans le bassin lignitifère de Fuveau ; de relater les études faites dans ce but avant la conception du projet définitif ; d'indiquer les grandes lignes de ce projet, et, finalement, de décrire les procédés employés pour son exécution.

Bien que je suppose connues les savantes études sur la géologie du bassin de Fuveau publiées par MM. Villot, Inspecteur général des Mines (*), Oppermann, Ingénieur en Chef des Mines (**), Bertrand, Ingénieur en Chef des Mines (***), je devrai, tout d'abord, en remémorer les

(*) *Annales des Mines*, juillet-août 1883.(**) *Bull. Soc. Industrie minière*, t. VI, 3^e liv., 1892.(***) *Annales des Mines*, juillet 1898.

parties principales, car les connaissances géologiques et hydrologiques relatives au bassin de Fuveau portent en elles la justification de l'œuvre colossale entreprise par la Société de Charbonnages et nous guident dans l'exécution des travaux du percement de la galerie.

Et ici, il me faut dire qu'à l'époque où le décret d'utilité publique autorisant l'exécution de la galerie (28 février 1889) a été rendu et où nous avons dû mettre la main à l'œuvre, nous ne possédions encore que l'étude précitée de M. Villot, dans laquelle, ainsi que le dit M. Bertrand, « les faits relevés par les exploitations sont très clairement exposés et interprétés avec une grande sagacité, mais où l'étude géologique de la bordure jurassique et crétacée n'avait été faite qu'à grands traits ».

Nous ne possédions, non plus, qu'une coupe géologique, suivant un plan vertical passant par l'axe de la galerie, due à M. Dieulafait, professeur de géologie à la Faculté des Sciences de Marseille (Voir Pl. IV, fig. 1), coupe acceptée seulement sous bénéfice d'inventaire par M. Oppermann.

Ce n'est qu'en 1892 que M. Oppermann a publié son *Mémoire sur le Bassin de Fuveau* (*), et ce n'est qu'en 1898 qu'a paru le mémoire de M. Bertrand sur le *Bassin crétacé de Fuveau* (**), où nous trouvons des indications si intéressantes sur les terrains à traverser par la galerie de la Mer à son extrémité nord. Il importe, pour apprécier les agissements de ceux qui ont eu à s'occuper du percement de la galerie, de se rappeler qu'ils étaient dans l'ignorance des données que fournissent ces deux derniers mémoires.

(*) OPPELMANN, *Mémoire sur le bassin de Fuveau* (Bull. Soc. Industrie minière, 3^e série, t. VI, 3^e livraison, 1892).

(**) BERTRAND, *Le Bassin crétacé de Fuveau* (Annales des Mines, juillet 1898).

Avant d'aborder mon sujet, qu'on me permette de rendre un éclatant hommage à MM. E. Biver, Villot, Oppermann et Bertrand; à M. E. Biver, l'éminent Directeur de la Société anonyme de Charbonnages des Bouches-du-Rhône, comme initiateur de l'œuvre du percement de la galerie, pour ses études et ses efforts persévérants en vue d'obtenir le décret d'utilité publique autorisant ce percement; à MM. Villot et Oppermann, pour leur part importante dans la conception de ce grand travail, leurs études, l'appui bienveillant prêté à M. E. Biver pour l'obtention du décret d'utilité publique; à MM. Oppermann et Bertrand, pour leurs sages conseils et les précieux renseignements géologiques fournis pendant l'exécution de la galerie.

M'appartient-il de citer, comme un exemple digne d'éloges, l'attitude du Conseil d'Administration de la Société de Charbonnages et de ses actionnaires, qui ont su se résoudre dans le présent, avec un grand esprit d'abnégation et de prévoyance, aux plus lourds sacrifices, pour rendre exploitable un gisement contenant plus de cent millions de tonnes de lignite, source puissante de travail pour les ouvriers, de richesse pour le pays et, il n'en faut pas douter, de prospérité pour eux dans un prochain avenir.

PREMIÈRE PARTIE.

Classification géologique du bassin de Fuveau. — Je m'en tiendrai ici, pour exposer les bases qui ont servi à la préparation du projet, aux connaissances contenues dans la Notice de M. Villot sur le bassin de Fuveau, mais en me servant des mémoires de MM. Oppermann et Bertrand pour mettre les enseignements de M. Villot au point, comme précision géologique.

Je ne dis rien volontairement de la bordure nord du bassin, étudiée par M. Bertrand, malgré l'extrême intérêt que présente cette étude, me réservant de la faire connaître au moment opportun.

J'emprunte ce qui suit à M. Bertrand (*) :

« Le bassin de Fuveau est formé par les assises puissantes du système fluvio-lacustre qui a terminé en Provence la série crétacée et qui s'est prolongé avec dépôts plus calcaires pendant tout l'éocène.

« En donnant ici la coupe que M. Matheron a déjà fait connaître, il y a plus de quarante ans, et que les recherches ultérieures, non plus que les travaux de mines, n'ont pas modifiée d'une manière sensible, je place la limite du crétacé et du tertiaire (si souvent discutée), d'après les idées de M. Vasseur et non suivant les indications des feuilles parues de la carte géologique :

Éocène.....	Supérieur :	Calcaire de Saint-Pons. Calcaire du Montaignet à <i>Bulimus Hopei</i> .	
	Moyen.....	Calcaire de Langesse à <i>Physa Draparnaudi</i> .	
	Inférieur....	Calcaire de Saint-Marc à <i>Physa prisca</i> et poudingue de la Galante.	
Série fluvio-lacustre (Danien et Campanien) (900 mètres).	Argiles rutilantes et grès de Vitrolles m. (Vitrollien).....		200
	Calcaire de Rognac à <i>Melania armata</i> (Rognacien).....		80
	Argile et grès à reptiles.....		270
	Grès et calcaires de la Bégude à <i>Anastoma rotellaria</i> (Bégudien).....		350
	Calcaire marneux de Fuveau à <i>Corbicula galloprovincialis</i> (Fuvélien).....		200
	Marnes et calcaires à taches noires à <i>Melanopsis galloprovincialis</i> (Valdonnien).....		80

(*) BERTRAND, *Annales des Mines*, juillet 1898.

Série Saumâtre.	{	Marnes et calcaires à <i>Renauzia (Turritella) Coquandi</i> .
		Marnes à <i>Ostrea acutirostris</i> .
Série Marine (Santonien).	{	Calcaire marneux à <i>Lima marticensis, Ammonites polyopsis</i> .
		Calcaire à Hippurites.

« Les couches de combustible exploitées se trouvent toutes dans le Fuvélien. »

Situation du bassin de Fuveau. — Pour décrire la situation du bassin de Fuveau, je ne saurais mieux faire que de citer M. Oppermann (*).

« Le terrain à lignite se montre à la surface, dans la vallée de l'Arc, sur une très grande étendue de terrain et s'enfonce encore sous l'éocène qui le recouvre entre Gardanne et Rognac.

« Dans son ensemble, cette formation s'étend de Saint-Maximin (Var) jusqu'au rivage de la mer, au nord des Martigues, en passant sous l'étang de Berre; elle est limitée : au nord, par le plateau du Cengle, contrefort de la chaîne de Sainte-Victoire, et par la chaîne de la Fare; au sud, par les chaînes de l'Étoile et de Regagnas.

« Ces deux dernières chaînes de montagnes sont séparées par une sorte de détroit qui est occupé par le terrain à lignite et relie le bassin principal à un petit bassin secondaire situé au sud de la chaîne de Regagnas. On trouve encore des lambeaux de terrain à lignite en divers points, situés à assez grande distance du bassin de Fuveau proprement dit (Pl. III).

« L'étage fuvélien, dont nous avons à nous occuper plus spécialement, est surtout développé :

« 1° Autour du plateau de la Pomme, qui forme l'extrémité Ouest de la chaîne de Regagnas dans la région de

(*) OPPERMAN, *Industrie minière*, 3^e série, t. VI, 3^e livraison, 1892.

Valdonne, Gréasque, Fuveau, Peynier et Trets, où son allure est très régulière ;

2° Au sud de Gardanne, le long du versant nord de la chaîne de l'Étoile.

« Il apparaît encore vers l'ouest et sur les bords du bassin, à la Fare et Coudoux, au nord, et à Châteauneuf-les-Martigues, au sud.

« 1° *Région de Valdonne-Fuveau-Trets.* — Le soulèvement de la chaîne de Regagnas a donné aux calcaires jurassiques et crétacés dont elle est formée une inclinaison générale d'environ 12 p. 100 vers le nord ; mais, au sud, il y a eu rupture, comme le prouvent les escarpements peu élevés, mais très nets, qui limitent le terrain jurassique dans cette région.

« Au nord de la chaîne de Regagnas, le terrain à lignite a été simplement soulevé, et il reste en stratification concordante avec les calcaires à Hippurites sur lesquels il repose ; mais, à l'ouest, il contourne le plateau de la Pomme, qui pénètre comme un cap dans le terrain à lignite.

« Les affleurements des couches de lignite et des bancs caractéristiques des divers niveaux du terrain à lignite forment des courbes à peu près concentriques tournant leur convexité vers le nord et l'ouest.

« Il en est de même des différents niveaux tracés dans les travaux d'exploitation.

« C'est donc une allure tronconique qui a été donnée au terrain par le soulèvement de la chaîne de Regagnas.

« A Trets, les couches sont inclinées de 8° vers le nord-est ; à Peynier, de 5° vers le nord ; à Fuveau, de 3° vers le nord-ouest ; à Valdonne, de 6° vers l'ouest.

« Au sud de la chaîne de Regagnas, le terrain à lignite a été passablement bouleversé, et on n'en trouve plus que des lambeaux irréguliers et d'une exploitation difficile dans les concessions d'Auriol et de la Bouilladisse et,

plus au sud, dans celle de Vède, Liquette et Bassan.

« On peut raisonnablement admettre que les couches de lignites exploitées au nord de la chaîne de Regagnas, dans la région de Gréasque, Fuveau, Peynier, Trets, s'enfoncent jusqu'à une grande profondeur sous les parties supérieures du terrain à lignite et même plus loin sous le terrain éocène, car tous ces terrains sont d'une régularité parfaite. Et il est aussi à présumer qu'elles y sont encore exploitables, car on n'a pas encore observé jusqu'ici qu'elles subissent un amincissement ou un appauvrissement en profondeur.

« Nous avons même dit ailleurs qu'on pouvait admettre le contraire dans la région de Gréasque.

« 2° *Région de Gardanne.* — Le bombement ou le plissement qui a donné à la chaîne de l'Étoile son relief actuel a, pour ainsi dire, arraché un assez grand lambeau de terrain à lignite de la partie qui plonge régulièrement vers le nord-ouest, sous Gardanne, et l'a soulevé jusqu'à la surface, en lui faisant subir un mouvement de bascule qui a donné aux couches une inclinaison de 15° à 17° vers le sud, c'est-à-dire dans la direction des terrains secondaires de cette chaîne de montagne (*) ».

Concessions du bassin de Fuveau. — Le bassin de Fuveau renferme vingt-trois concessions, d'une superficie globale de 31.887 hectares, dont les plus anciennes remontent à juillet 1809. Les quatre premières en date furent :

1° Concession de Peypin et Saint-Savournin nord : surface, 680 hectares ; aux sieurs et demoiselles Gérin-Ricard ;

2° Concession de Gréasque et Belcodène, en faveur de la dame de Cabre et de Louis-Joseph de Castellane : sur-

(*) Je renvoie au mémoire de M. Oppermann pour ce qui concerne la région de la Fare-Coudoux et la région des Pennes-Châteauneuf-les-Martigues.

face, 1.273 hectares, modifiée par ordonnance du 11 février 1818 et par décret du 18 juin 1853, et ramenée aujourd'hui à une étendue de 1.057 hectares;

3° Grande Concession, accordée aux sieurs Ferry, Lacombe, Dubreuil et C^{ie} : surface primitive, 6.751 hectares, modifiée par ordonnance du 11 février 1818, qui a rectifié les limites en faveur de la concession de Gréasque et Belcodène, et par ordonnance du 7 octobre 1818, qui en a distraît la surface de la concession de Mimet; sa superficie actuelle est de 6.223 hectares.

4° Concession de Trets, en faveur des sieurs Polyucte Sicard et J.-B. Rouquier : surface primitive, 9.634 hectares, modifiée par décret du 16 mars 1813, qui en a distraît la concession d'Auriol; surface actuelle, 7.129 hectares.

Viennent ensuite, dans l'ordre chronologique, les concessions ci-après :

5° Concession d'Auriol : surface, 2.555 hectares, distraite de la concession de Trets, accordée aux sieurs Pierre Armand et C^{ie}, par décret du 16 mars 1813;

6° Concession des Martigues : surface, 1.281 hectares, aux sieurs Jean Barlatier et C^{ie}, par ordonnance du 6 décembre 1814 (depuis l'année 1833, la surface de cette concession a été réduite à 610 hectares);

7° Concession de Gardanne : surface, 2.952 hectares; aux sieurs Coste et de Castellane, par décret du 17 septembre 1817;

8° Concession de Mimet : surface, 441 hectares; distraite de la Grande Concession, aux sieurs et dame Liottard de Mimet, par décret du 7 octobre 1818;

9° Concession de Bouilladisse : surface, 48 hectares; aux sieurs Pierre Armand et C^{ie}, à Auriol, par ordonnance du 14 août 1822;

10° Concession de Peypin et Saint-Savournin sud : surface, 747 hectares; aux sieurs Revertégat frères, négociants à Marseille, par ordonnance du 2 juillet 1823;

11° Concession de Garlaban : surface, 411 hectares; au sieur Charles Segond, négociant à Marseille, par ordonnance du 22 septembre 1824;

12° Concession de Vèdes : surface, 356 hectares; aux sieurs Paul-Melchior Durand et Joseph Paque, à Auriol, par décret du 1^{er} février 1831;

13° Concession de la Gacharelle (adjacente à celle des Martigues) : surface, 294 hectares; aux sieurs Bazin et C^{ie}, par décret du 1^{er} février 1831. La Compagnie Bazin s'était, en 1827, rendue propriétaire de la concession des Martigues;

14° Concession de la Fare : surface, 2.154 hectares; aux sieurs Armand Gourdez et C^{ie}, par ordonnance du 22 septembre 1831;

15° Concession de Coudoux : surface, 1.125 hectares; aux sieurs Leydet et Champtassin, à Aix, par ordonnance du 1^{er} octobre 1833;

16° Concession de Bassan : surface, 556 hectares; aux sieurs Rabier et C^{ie}, fabricants de soude à Auriol, par ordonnance du 1^{er} octobre 1833;

17° Concession de Liquette : surface, 102 hectares; au sieur Paul-Melchior Durand de Marignane, propriétaire de la concession de Vèdes, par ordonnance du 1^{er} octobre 1833;

18° Concession du Pont-du-Jas-de-Bassas : surface, 134 hectares; aux sieurs Michel, Armand et C^{ie}, par ordonnance du 29 mai 1843;

19° Concession de l'Adrech : surface, 38 hectares; au sieur Aude d'Aix, par ordonnance du 29 mai 1843;

20° Concession de Gémenos : surface, 160 hectares; au marquis d'Albertas, par décret du 9 janvier 1856;

21° Concession de l'Arc : surface, 2.623 hectares; aux sieurs Simon Jouet, Pastré et consorts, par décret du 3 août 1880;

22° Concession de la Baunonne : surface, 637 hec-

tares; accordée à M^{lle} Blanc, par décret du 10 mars 1887.

23^e Concession des Pennes : surface, 855 hectares; accordée à MM. Rouy de Lapeyrouse et Blain de Saint-Armand (*), par décret du 3 avril 1889.

Ces vingt-trois concessions embrassent une superficie de 31.032 hectares. Douze d'entre elles sont groupées en un seul tènement, dont la plus grande dimension, dirigée suivant l'axe de la vallée de l'Arc, atteint 32 kilomètres de longueur et 15 kilomètres de largeur; elles représentent ensemble 24.627 hectares, et c'est sur ce groupe qu'ont porté les exploitations les plus importantes.

Les onze autres concessions sont dispersées : six au sud, cinq à l'ouest.

L'exploitation du lignite se fait exclusivement, en ce moment, dans la partie est du bassin.

La Société de Charbonnages se trouve actuellement propriétaire des concessions suivantes :

Grande Concession, Gréasque et Belcodène, Mimet, Jas-de-Bassas, Auriol, Bouilladisse, Gardanne, d'une superficie totale de 134 kilomètres carrés, et qui s'étendent sur les communes de Bouc, Simiane, Gardanne, Mimet, Meyreuil, Fuveau, Rousset, Peynier, Belcodène, Gréasque, Saint-Savournin, Peypin, la Bourne, la Destrousse, Auriol.

On exploite actuellement :

A Trets, la concession de Trets ;

A la Société Michel, Armand, les concessions de Saint-Savournin nord et sud ;

A la Société de Charbonnages, les concessions de Gardanne, Mimet et la Grande-Concession.

Cette dernière Société possède deux sièges d'exploitation : le puits E. Biver à Gardanne, où les berlines sont

(*) On a représenté sur la Pl. III la position des concessions de la Société de Charbonnages, de MM. Michel, Armand et C^{ie} et de Trets.

amenées par un trainage mécanique et par chaîne flottante de 3 kilomètres à la station de Gardanne; les puits Castellane et Léonie, où les grands wagons sont chargés sur un embranchement particulier de 1.100 mètres de longueur et conduits à la gare de Valdonne.

Couches du bassin de Fuveau. — J'indique seulement ici, d'après M. Villot, les noms des différentes couches et les distances qui les séparent :

	DISTANCE MOYENNE à la base du Bégudien au Puits Notre-Dame
Mine de Gréasque.....	0 inexploitable.
Mine de Deux-Pans.....	80 id.
Mine de l'Eau.....	90 id.
Mine du Gros-Rocher.....	120 exploitée.
Mine de Quatre-Pans.....	130 id.
Mauvaise-Mine.....	165 quelquefois exploitée.
Grande-Mine.....	175 exploitée.

La Grande-Mine forme la base, et la mine de Gréasque le sommet du Fuvélien.

Dans les autres étages on connaît encore une petite couche à la base du Valdonnien, autrefois exploitée au Plan d'Aups, à la Sainte-Baume, et la mine de Bidaou, non exploitable, à 300 mètres environ au-dessus de la barre du Bégudien. Je continue en citant M. Oppermann (*):

« Les indications du précédent tableau sont prises au puits Notre-Dame; mais, si l'on suit la formation fuvélienne au niveau moyen des travaux d'exploitation actuels (niveau de la mer), en marchant du sud au nord-est, de Valdonne à Gréasque, puis à Fuveau et Trets, on remarque que l'ensemble du terrain à lignite subit un amincissement notable.

(*) OPPERMAN, *Industrie minérale*, 3^e série, t. VI, 3^e livraison, 1892.

« En même temps les couches de lignite s'appauvrissent.

« On n'a pas encore constaté de variation bien sensible des niveaux supérieurs aux niveaux inférieurs dans une même exploitation ; mais on peut supposer que, dans la région de Gréasque, il doit y avoir enrichissement suivant l'inclinaison, car, au lambeau de Gardanne (ramené, comme il sera dit plus loin, d'une profondeur de 600 mètres à la surface par le soulèvement de la chaîne de l'Étoile), le Fuvélien atteint la puissance qu'il a au puits Notre-Dame, et les couches y sont au moins aussi riches.

« Dans cette région, la puissance des couches est assez variable : ainsi la Grande-Mine, non compris les restoubles (charbon barré) qui se trouvent au mur et qu'on n'enlève qu'en certains quartiers, a 3^m,50 au puits Armand, 2 mètres au puits Notre-Dame, 1^m,75 à 1^m,30 au nord du puits Léonie, 1^m,15 au puits Lhuillier, 1^m,12 à Trets.

« Sa puissance totale varie entre 3^m,50 et 1^m,10; et sa puissance en charbon entre 3^m,10 et 0^m,80.

« On a, pour la couche Quatre-Pans :

Puissance totale.....	entre 1 ^m ,45 et 1 ^m ,20
— en charbon...	entre 1 ^m ,10 et 0 ^m ,50;

« Pour la couche Gros-Rocher :

Puissance totale.....	entre 1 ^m ,15 et 0 ^m ,50
— utile.....	entre 0 ^m ,75 et 0 ^m ,20.

« La couche de l'Eau a 0^m,20 d'épaisseur environ; la couche de Deux-Pans a de 0^m,30 à 0^m,50 environ; la couche de Gréasque a de 0^m,95 à 1^m,15 environ, dont 0^m,65 à 0^m,85 de charbon.

« A Gardanne, la Grande-Mine a :

Puissance totale.....	2 ^m ,00 à 3 ^m ,00
Puissance en charbon.....	1 ^m ,50 à 2 ^m ,00;

« La Mauvaise-Mine a :

Puissance totale.....	1,45
Puissance en charbon.....	0,75;

« Quatre-Pans a :

Puissance totale.....	1,50
Puissance en charbon.....	0,50;

« Gros-Rocher a :

Puissance totale.....	1,47
Puissance en charbon.....	0,58.»

Direction et pente des couches. — J'ai indiqué, sur la Pl. III, une ligne courbe se développant dans la Grande-Mine, tout en s'élevant très doucement à mesure qu'elle s'éloigne de son point d'origine, — le point de rencontre de la galerie de la Mer avec la Grande-Mine à Gardanne, — pour atteindre les concessions de Trets et de Saint-Savournin.

Cette ligne courbe représente la galerie de la Mer prolongée. Elle part, près du puits E. Biver, de la cote 18; elle touche la faille de la Diote à la cote 25 environ, est continuée par un travers-bancs, atteint la Grande-Mine dans la région de Valdonne, à la cote 26, et se bifurque pour rejoindre, d'une part, les travaux extérieurs de la mine de Trets vers l'est et, d'autre part, ceux de la concession de Saint-Savournin-Sud, également à l'est.

On trouvera (Pl. V, *fig. 1*) quelques détails sur les travaux effectués en Grande-Mine jusqu'à ce jour, à Gardanne, à Gréasque-Fuveau et dans les concessions Saint-Savournin nord et sud.

Les coupes verticales de la Pl. V, *fig. 2* et *3*, montrent le pendage et la position relative des couches de lignite dans le Fuvélien en divers points du bassin de Fuveau,

pris dans les régions de Valdonne, Fuveau, Trets et Gardanne, les seules réellement intéressantes pour le moment, au point de vue minier.

Faïlles. — J'ai représenté sur la Pl. III diverses failles dont les plus importantes sont celles de la Diote, contre laquelle s'appuie le lambeau de terrain lignitifère de Gardanne, et la faille du Pilon-du-Roi, contre laquelle viennent butter au sud les couches de lignite dans la concession de Saint-Savournin sud.

Analyse du lignite (*). — Comme on le verra par les analyses suivantes, le lignite du bassin de Fuveau se rapproche plus des houilles sèches à longue flamme que du lignite proprement dit.

Le lignite des Bouches-du-Rhône ne rappelle pas du tout le lignite classique où l'on retrouve habituellement la trace des végétaux qui l'ont formé; il est d'un beau noir brillant, à cassure conchoïde rappelant celle du brai; il ne présente pas trace de bois fossile. Il brûle avec une longue flamme et fumée assez abondante.

C'est un charbon sec, riche en matières volatiles, avec très peu de goudron.

A l'analyse, on trouve p. 100 :

Humidité.....	6,00
Cendres.....	6,40
Carbone total.....	60,65
Oxygène et azote.....	25,87
Hydrogène.....	3,68

A la distillation sèche, on obtient 40 à 55 p. 100 de coke non aggloméré.

(*) VALLA, *Industrie minière*, 3^e série, t. VII, 3^e livraison, 1892.

Essai du lignite à la bombe Mahler. — Dans une série d'expériences avec la bombe Mahler, faites à Paris, le 21 décembre 1892, par M. l'Ingénieur en chef des Mines Le Chatelier, on a trouvé, pour le charbon de la Grande-Mine à Gardanne :

Pouvoir calorifique brut..	6063
Cendres.....	3 p. 100

Production du bassin de Fuveau et évaluation de ses richesses. — Nous n'avons pas craint de nous étendre un peu longuement sur les indications relatives à l'épaisseur, à la direction, au pendage des couches de lignite que renferme le bassin de Fuveau, car nous aurons plus loin à en évaluer la richesse, au moins pour les parties concédées à la Société nouvelle de Charbonnages des Bouches-du-Rhône.

Les débouchés ne manqueront pas plus dans l'avenir qu'ils n'ont manqué dans le passé aux exploitations de ce district de mines, pour lequel, ainsi que l'a dit M. Villot (*), « sa position aux portes de notre premier port de commerce, les facilités que cette situation privilégiée lui crée pour les débouchés locaux et extérieurs, la qualité exceptionnelle de ses produits en tant que lignite et la régularité admirable du terrain qui contient les couches exploitables sont depuis longtemps des éléments sérieux de développement ».

A l'appui de ces dires, je donne, ci-après, le tableau de la production du bassin de Fuveau de 1872 à 1898.

(*) VILLOT, *Annales des Mines*, mémoire déjà cité.

PRODUCTION DU BASSIN DE FUYEAU DE 1872-1898.

ANNÉES	SOCIÉTÉ de Charbonnages des Bouches- du-Rhône	SOCIÉTÉ Michel, Armand et C ^{ie}	COMPAGNIE de Trets	DIVERS	TOTAUX
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1872	195.797	138.866	19.662	5.875	360.200
1873	186.550	170.371	18.098	150	375.109
1874	188.449	142.408	22.579	1.050	354.486
1875	182.743	138.242	21.314	1.236	343.535
1876	192.573	147.908	23.347	500	364.328
1877	216.487	151.091	21.907	1.652	391.137
1878	224.800	168.612	24.633	1.306	419.351
1879	242.390	162.161	24.945	1.922	431.418
1880	251.904	176.889	27.373	1.503	457.669
1881	258.255	168.811	30.091	1.573	458.790
1882	252.251	169.747	33.123	1.444	456.565
1883	244.288	196.277	31.553	1.117	473.185
1884	214.778	155.980	31.232	1.496	403.486
1885	197.235	136.404	31.238	1.405	366.282
1886	211.525	139.186	36.675	961	388.347
1887	214.468	154.098	37.219	930	406.715
1888	183.598	143.600	37.618	36	364.852
1889	200.402	146.533	33.932	1.030	381.898
1890	221.860	155.624	36.154	419	414.066
1891	231.803	157.925	44.251	297	434.276
1892	205.526	151.513	45.055	418	402.512
1893	214.614	146.296	41.447	120	402.477
1894	202.290	137.391	37.627	300	377.608
1895	194.046	129.982	35.729	141	359.898
1896	199.088	130.917	34.188	158	364.351
1897	216.921	137.490	35.902	160	390.473
1898	243.894	159.655	46.742	25	450.316

Évaluation des richesses contenues dans le bassin de Fuveau entre la galerie de la Mer et les travaux d'exploitation actuels et entre la galerie de la Mer et une courbe de niveau dans les couches à — 350 mètres. — J'ai eu occasion de revoir, il y a quelques mois, les calculs faits sous le contrôle de M. Biver, vers 1880, pour l'évaluation des quantités de charbon que la galerie de la Mer rendrait exploitables par assèchement direct, et de celles situées jusqu'à 350 mètres au-dessous du niveau de la galerie de la Mer dont l'assèchement serait possible au moyen de pompes. Je n'ai rien vu à y modifier.

On avait trouvé pour les concessions appartenant à notre Société :

	AU-DESSUS du niveau de la galerie de la Mer	DE 0 A 350 MÈTRES au-dessous de la galerie de la Mer	TOTAUX
	tonnes	tonnes	tonnes
Grande-Mine.....	17.000.000	30.000.000	47.000.000
Petite-Mine.....	17.000.000	30.000.000	47.000.000
TOTAUX.....	34.000.000	60.000.000	94.000.000

Les évaluations ci-dessus ont été faites en tenant compte des parties abandonnées au cours de l'exploitation pour causes diverses.

Si on déduit du chiffre de.....	Tonnes. 34.000.000
représentant les quantités de charbon à exploiter au-dessus du niveau de la mer, les tonnes exploitées depuis 1880, soit environ.....	5.000.000
il resterait au-dessus du niveau de la galerie de la Mer.	29.000.000
de 0 à 350 mètres au-dessous du niveau de la galerie de la Mer.....	60.000.000
AU TOTAL.....	89.000.000

Dans ces chiffres ne sont pas compris les tonnages sans grande importance des concessions de Bouilladisse et d'Auriol ni celui des autres concessions du bassin de Fuveau, n'appartenant pas à la Société de Charbonnages.

On peut évaluer le tonnage total du bassin à 150 millions de tonnes environ, ainsi qu'on pourrait le contrôler à l'aide du plan et des indications données sur l'allure, l'épaisseur, la pente des couches.

Caractères du bassin de Fuveau au point de vue hydrologique. — Grâce à la régularité des couches, leur épaisseur, leur pendage, la solidité des toits, l'exploitation de lignite dans le bassin de Fuveau serait d'une facilité exceptionnelle, si les questions d'exhaure ne venaient la compliquer et la rendre onéreuse ; aussi importe-t-il d'étudier le caractère du bassin de Fuveau au point de vue hydrologique, et j'emprunte, à cet égard, les renseignements qui suivent au travail de M. Villot (*).

« L'ancienne vallée de l'Arc est un bassin complètement fermé aujourd'hui par des hauteurs de calcaires secondaires, sauf suivant le détroit d'Aix ou des Milles formant une lacune de quelques kilomètres dans cette ceinture secondaire qui limite au nord le bassin de Fuveau, et suivant le détroit de Berre par lequel le bassin a toujours communiqué avec les mers contemporaines.

« On doit considérer comme à peu près évident que les formations anciennes se continuent sous les deux détroits indiqués, comme des seuils recouverts, en sorte que l'on a, en réalité, l'image d'un bassin grossièrement elliptique égueulé vers l'ouest, à l'extrémité de son grand axe, et rempli de dépôts alternativement perméables et imperméables.

« D'après cela, il semblerait que le régime aquifère que l'on rencontrera sera celui des *niveaux du nord*.

« Pénétrant par les affleurements des couches perméables, les eaux devraient y former des nappes plus ou moins horizontales, ayant entre elles une certaine indépendance, les saisons pluvieuses, en pareil cas, correspondant à un travail plus considérable des moyens d'exhaustion, mais ne compromettant jamais tout ou partie des travaux. Si considérables que soient, en effet, les quantités d'eau tombées, elles ont, pour arriver au fond

(*) VILLOT, mémoire cité.

des travaux, un assez long trajet souterrain à parcourir, et les masses souterraines dans lesquelles elles se déversent, en cheminant horizontalement, sont comme un réservoir commun dans lequel viennent s'atténuer les fortes crues provenant des actions souterraines.

« Il est bien loin d'en être ainsi dans la partie de la vallée de l'Arc où les travaux des mines ont conduit les exploitants à lutter contre les eaux.

« Deux raisons peuvent en être indiquées.

« La première, c'est que les couches de combustible sont au sein d'un paquet essentiellement calcaire qui, bien que constitué par des roches imperméables *en petit*, est généralement perméable *en grand*, à cause des nombreux fendillements dont les bancs sont souvent sillonnés.

« Il résulte de là que ce qui tombe d'eaux zénithales sur les affleurements chemine à l'intérieur rapidement.

« La seconde et la principale est la présence de cassures qui, sous les noms locaux de *partens*, *moulières* et *failles*, augmente dans une proportion considérable la faculté de conductibilité des eaux.

« Un *parten* est une simple cassure plus ou moins serrée, sans dénivellation, ou avec une dénivellation insignifiante. Cela est fréquemment une *moulière* réduite à sa plus simple expression.

« Une *moulière* est une cassure sans dénivellation du plan des couches, dont le plan est vertical et qui s'est produite dans les roches du terrain à lignite.

« Les *failles* remplissent tantôt l'office de barrages, tantôt celui de conduites d'eau. Cela dépend, entre autres choses, de l'épaisseur et de la compacité de leur remplissage.

« On doit remarquer que toutes les failles sont situées dans la partie sud du bassin, c'est-à-dire à l'intérieur ou au voisinage d'une sorte de golfe profond, déterminé par le surgissement du promontoire secondaire de Regagnas.

On comprend très bien que, dans la partie du bassin à lignite, située à l'intérieur ou au voisinage du golfe en question, des dislocations ont pu et dû prendre naissance, par suite de la forme même de ce golfe aux parois tourmentées, tandis que, dans la vaste étendue qu'occupent, au nord de Regagnas, la Grande-Concession et les concessions de Trets et de l'Arc, les couches, soulevées sur le dos en arc de cercle du promontoire par un mouvement simple, ont conservé une direction à peu près rectiligne de l'est à l'ouest, en se moulant largement sur l'éperon secondaire. Le sud du bassin peut être dit la région des failles (*).

« Quoi qu'il en soit, les failles pour une faible part, la fissuration des calcaires et spécialement le phénomène des moulières ont donné au régime hydrologique de la vallée son caractère spécial. Les eaux pluviales, au lieu de se rendre dans les travaux par le cheminement horizontal, en parlant des affleurements perméables, y arrivent verticalement et, par suite, avec soudaineté. Il suit de là que, quelle que soit la puissance mécanique employée pour l'exhaustion, les travaux inférieurs aux galeries d'écoulement sont fatalement noyés de temps en temps, lors des chutes torrentielles qui relèvent subitement le plan d'eau ou, pour parler plus exactement, la *surface souterraine*.

« Cette surface n'est autre chose que celle du cours d'eau souterrain occupant au sein des calcaires fuvéliens les parties profondes de la vallée de l'Arc, ayant pour niveau constant le niveau de la mer, pour toit les argiles de la Bégude, qui se relèvent au-dessous de Velaux et de Rognac, pour affleurements multiples les sources natu-

(*) M. Long, Ingénieur aux Charbonnages des Bouches-du-Rhône, a remarqué, en traçant sur une carte toutes les moulières reconnues, que la plupart d'entre elles vont converger vers un point central du massif de Regagnas. Les moulières sont des failles d'étoilement (failles radiales) autour d'un centre de soulèvement.

relles de la vallée, et pour hauteur, en divers points, le niveau même de l'eau dans les puits de mines. »

D'accord avec M. Villot sur le caractère du bassin de Fuveau au point de vue hydrologique, M. Oppermann a écrit (*) :

« Il y a évidemment une relation entre le régime des pluies et le régime des eaux souterraines.

« M. Darodes, chef de l'exploitation de la mine de Trets, actuellement Directeur de la Compagnie de la Grand'Combe, a étudié cette question et a rendu compte de ses observations dans un travail très intéressant inséré dans le *Bulletin de la Commission météorologique des Bouches-du-Rhône* (1887). Nous en résumerons très sommairement les principaux passages.

« Dans notre région, les pluies sont très inégalement réparties entre les différents mois de l'année ; elles sont abondantes au printemps, notamment au mois d'avril, mais surtout à l'automne, en septembre, octobre et novembre ; elles sont plutôt rares en décembre, janvier et février avec minimum, soit en décembre, soit en février ; enfin l'été correspond à une période de sécheresse avec minimum en juillet. On a fréquemment traversé des périodes de sécheresse absolue de trois mois.

« Le tableau de la page 328 indique, en millimètres, les moyennes mensuelles des hauteurs d'eau relevées au pluviomètre du puits Sainte-Marie, pendant la période décennale 1877-1887 et pendant les années 1886 et 1887, qui ont été exceptionnelles, surtout 1886.

« Les premières pluies partielles qui suivent la saison sèche exercent une influence insignifiante sur le régime des eaux souterraines affluant dans les travaux d'exploitation et ne s'écoulent guère non plus à la surface par les ruisseaux.

(*) OPPERMAN, mémoire cité.

MOIS	MOYENNES DÉCENNALES Mars 1877 à mars 1887	1886	1887
	mm.	mm.	mm.
Janvier.....	70,40	110,30	83,70
Février.....	38,22	54,00	133,00
Mars.....	48,85	47,30	40,30
Avril.....	06,47	29,20	78,40
Mai.....	49,05	13,70	27,30
Juin.....	38,52	12,40	14,10
Juillet.....	8,35	7,50	82,30
Août.....	32,35	74,70	50,00
Septembre.....	71,58	165,70	29,00
Octobre.....	82,92	235,90	85,30
Novembre.....	82,69	189,20	134,80
Décembre.....	44,23	48,40	65,00
Totaux.....	633,64	1.008,30	823,20

« On admet qu'elles sont, en grande partie, absorbées par la terre végétale et les calcaires spongieux. Mais, quand les pluies d'automne, généralement abondantes et persistantes, surviennent, les ruisseaux, à sec en été, se gonflent comme des torrents, et une grande partie des eaux superficielles disparaît dans le sol par les fissures et crevasses dont il a été question plus haut, et arrive dans la mine vingt-quatre ou trente-six heures après la pluie. Si la pluie a été violente, comme cela est souvent le cas dans notre région, la venue d'eau atteint son maximum au bout de vingt-quatre heures et décroît rapidement. Si, au contraire, la pluie est continue et dure des semaines, causant partout des inondations, comme à l'automne de 1886 et au printemps de 1877, les venues d'eau dans la mine atteignent leur maximum au bout de quatre ou cinq jours et s'y maintiennent à peu près pendant toute la durée des pluies.

« Les pluies du printemps ont très rarement ce caractère de persistance. M. Darodes a étudié la variation des débits des galeries d'écoulement Saint-Jean et Défarges, et celle des niveaux des eaux souterraines, lorsque la nappe d'eau est en contre-bas de ces galeries, et il en conclut :

« 1° Que l'effet des pluies dans la mine est immédiat ;

« 2° Que les débits augmentent et que les niveaux s'élèvent très rapidement, dès qu'il a plu, et décroissent ou s'abaissent aussi rapidement dès que la pluie cesse ;

« 3° Qu'aux pluies d'automne, la durée des hautes eaux est trop longue et les venues trop abondantes pour qu'on puisse compter sur les machines d'épuisement, même d'une grande puissance, pour préserver les chantiers d'une inondation au moins momentanée, lorsque l'exploitation atteint un certain développement en aval-pendage des niveaux des galeries d'écoulement. »

« Mais ces observations ne rendent pas complètement compte de certains phénomènes qui ont été constatés à l'exploitation de Gréasque-Fuveau, et, comme en convient M. Darodes lui-même, cela tient au développement relativement faible des travaux en profondeur dans la mine de Trets.

« A l'exploitation de Gréasque-Fuveau, où les travaux ont été poussés jusqu'à la cote 100, c'est-à-dire à 130 mètres au-dessous du niveau d'écoulement de Fuveau, on a reconnu, indépendamment des faits signalés par M. Darodes, qu'après de longues périodes de sécheresse pendant lesquelles les quantités d'eau tombées sur le territoire superposé aux parties défilées et relativement peu étendu auraient été facilement détournées par les galeries d'écoulement ou enlevées par les machines d'épuisement, les venues d'eau profonde ne tarissaient jamais et qu'il fallait toujours maintenir en activité les machines d'épuisement, et leur faire élever de grandes quantités d'eau pour assurer la continuation des travaux d'exploitation aux niveaux inférieurs.

« D'autre part, on a remarqué, en traçant les niveaux d'exploitation, que les sources jaillissant des partens au mur de la couche tarissaient successivement, lorsque

l'avancement des galeries vers l'est en faisait jaillir de nouvelles.

« Et il est assez rationnel d'en conclure que les travaux d'exploitation de Gréasque-Fuveau sont en communication avec une nappe d'eau très considérable, située dans leur voisinage, et que le niveau de cette nappe d'eau va en s'élevant de l'ouest à l'est. »

On trouvera, dans le même travail de M. Oppermann, une explication de l'existence des partens, de la formation des moulières et du rôle que jouent les partens dans la perméabilité du terrain à lignite.

Depuis que ceci a été écrit, des travaux d'exploitation ont été faits par la Société de Charbonnages dans la concession de Gardanne, au sud de la faille de la Diote, et par MM. Michel, Armand et C^o, dans les concessions de Saint-Savournin, au sud de la faille Jean-Louis. On n'a rencontré dans ces travaux que les eaux qui se sont infiltrées dans la mine par les anciens travaux ou en cheminant comme dans les exploitations du nord. Ces failles sont des failles serrées protégeant ces travaux contre l'envahissement des eaux de la nappe.

De l'épuisement dans le bassin de Fuveau. — Les premiers exploitants, qui voyaient leurs travaux envahis par l'eau, attendaient patiemment la fin des saisons de pluie; l'eau baissait lentement jusqu'à un niveau voisin de celui du fond des vallées, et les travaux, poussés à moindre profondeur, étaient démergés.

Plus tard vint le régime des barrages et des galeries d'écoulement. Les barrages sont des murs en maçonnerie destinés à fermer, pour se mettre à l'abri des inondations, les galeries qui traversent des massifs de protection ménagés dans ce but, ou des failles qui, comme la faille Jean-Louis, sont étanches.

Quand la galerie barrée est une galerie de roulage,

on laisse, au centre, une ouverture d'une section suffisante pour le passage d'une benne attelée.

Cette ouverture est ordinairement fermée par une porte en fer munie d'armatures solides (Pl. XII, fig. 4, 5 et 6).

A tous les barrages, on emprisonne dans la maçonnerie un tuyau à clapet permettant de régler l'écoulement de l'eau maintenue derrière le barrage et d'amener l'abaissement progressif du niveau des eaux dans le bassin de retenue. Nous aurons occasion de revenir sur les conditions d'établissement de ces barrages.

Je ne citerai que les galeries d'écoulement principales (Voir Pl. III) :

La première, commencée en 1814 dans la concession d'Auriol, par la Société P. Armand et C^o, fut achevée en 1822. Elle a 750 mètres de longueur, et son orifice est à la cote 273 mètres.

La *galerie de Valdonne* ou de Castellane, commencée en 1830 dans la Grande-Concession par le comte de Castellane.

Elle aboutit au puits Léonie et reçoit encore les eaux d'épuisement de la section Castellane-Léonie. Elle a 1.880 mètres de longueur et est à la cote 252^m,74.

La *galerie de Fuveau*, commencée en 1842 par la Société Michel, Armand et C^o. Elle fut achevée en 1848.

Sa longueur est de 3.000 mètres, et elle est à la cote 230^m,12. Elle se continue dans la Grande-Mine sur 3.000 mètres.

La *galerie Saint-Pierre-de-Gardanne*, commencée en 1874. Sa longueur est de 1.190 mètres, et elle est à la cote 226.

Enfin, la *galerie Defarges* de la concession de Trets, commencée en 1879, est reliée au puits Sainte-Marie en 1891.

Elle a 3.260 mètres de longueur et est à la cote 214.

A Trets, la galerie rend encore de grands services pour l'évacuation de l'eau des travaux.

Dans la section Castellane-Léonie et à Gardanne, les travaux s'approfondissant, on utilise actuellement la galerie de Valdonne et la galerie Saint-Pierre ; elles reçoivent les eaux d'épuisement élevées par des pompes ; ces eaux sont ainsi montées moins haut que si on devait les élever jusqu'à l'orifice des puits.

Mais, avec la profondeur croissante des travaux, les machines d'épuisement, qu'il avait fallu adjoindre aux galeries d'écoulement ou leur substituer, devinrent de plus en plus importantes. On va en juger.

La première machine d'épuisement, introduite dans le bassin, le fut, en 1840, par MM. Michel, Armand et C^o. C'était la machine dite du Rocher-Bleu, du système de Cornouailles.

En 1856, la Société Lhuillier, plus tard « Société anonyme de Charbonnages des Bouches-du-Rhône », installait, sur le puits Léonie, une machine à traction directe forte de 375 chevaux, construite en Angleterre par Robert Daglish. Elle fonctionne toujours.

Enfin, sans pousser plus loin cette énumération, je dirai qu'en 1886 la Société de Charbonnages seule possédait, dans la division Castellane, six machines d'épuisement représentant 1.000 chevaux effectifs (*).

Et, si je ne m'occupe plus maintenant que de la Société de Charbonnages, je dirai que, par suite du

(*) Machines d'épuisement : Castellane à balancier. forte de 400 ch.
 — Léonie à traction directe. forte de 375
 — Lhuillier — forte de 490
 — hydraulique (syst. Davey). forte de 230
 — Duclos Saint-Bonaventure, horizontale à action directe..... forte de 45
 — compound à refoulement direct..... forte de 60

En outre, les deux galeries de Valdonne, à la cote 252, et de Fuveau, à la cote 230, recueillait une bonne partie des eaux venant des étages supérieurs.

développement successif des travaux, cette Société, qui, en 1878, avait à tirer 6^m3,301 d'eau par tonne de charbon, en 1887 devait en tirer 76^m3,434 ; et je montrerai combien cette situation était onéreuse et dangereuse.

M. Oppermann donne, dans son mémoire, le tableau suivant, où sont indiqués les frais de premier établissement et les frais courants du service d'épuisement pour la Société de Charbonnages de 1880 à 1888, pour la seule section de Gréasque-Fuveau.

ANNÉES	DÉPENSES D'ÉPUISEMENT		QUANTITÉS d'eau enlevée par les machines d'épuisement	PRODUCTION de l'exploitation	BÉNÉFICE NET imposable
	Premier établissement	Frais courants			
	francs	francs	millions de m. c.	tonnes	francs
1880	40.191	186.227	2.900	204.204	467.427
1881	104.318	233.178	4.400	203.807	507.900
1882	174.000	268.060	4.250	198.602	396.419
1883	197.943	561.264	8.400	166.204	30.713
1884	186.080	251.950	3.200	152.763	133.666
1885	43.480	359.151	5.500	147.910	157.292
1886	143.533	566.620	9.600	160.653	163.069
1887	68.448	410.131	9.900	138.055	283.139
1888	3.167	51.303	0.800	110.816	33.281
	961.560	2.887.884	48.950	1.483.066	1.213.928
	3.849.444				

On voit que, dans cette période de neuf années, les frais courants d'épuisement ont atteint le chiffre moyen de 2 francs par tonne de charbon extrait et près de 4 francs en 1886, que les dépenses d'épuisement sont trois fois supérieures au bénéfice total réalisé.

Malgré ces sacrifices, les travaux se trouvaient dans la situation la plus précaire.

Pour le montrer, reprenons avec M. Oppermann (*) l'his-

(*) OPPERMAN, mémoire cité. Je ne donne ci-dessus qu'une analyse rapide du texte de M. Oppermann (p. 871 et suiv.).

torique, si instructif à cet égard, des travaux dans la région Gréasque-Fuveau et Trets.

« Lorsque la grande galerie d'écoulement de Fuveau eut, en 1848, recoupé la Grande-Mine, à 3 kilomètres du jour, grâce aux facilités d'aérage procurées par une série de lunettes, on prolongea jusqu'à la Grande-Mine celles de ces lunettes (n^{os} 10, 12, 14 et 15) qui sont situées le plus près du point de jonction de la galerie avec la Grande-Mine (Pl. V, *fig.* 1).

« On construisit alors les premiers barrages pour isoler les uns des autres ces divers quartiers d'exploitation. Quand les eaux devenaient trop abondantes, on isolait successivement, en fermant les barrages, les travaux dits du Rocher-Bleu ou des puits 15, 14, 12 et enfin 10. En période de sécheresse, on épuisait les eaux et on reprenait les travaux d'exploitation.

« Une telle situation ne pouvant se prolonger, on se reporta dans une région moins aquifère : on fonça les puits Castellane et Léonie, que l'on arma de puissantes machines d'épuisement, le puits Castellane en 1847, le puits Léonie en 1857. A cette dernière date on abandonna les travaux du Rocher-Bleu.

« Poussés pendant de longues années aux niveaux Castellane et Léonie et sous-étages correspondants, marchant vers le nord-est dans la direction du Rocher-Bleu, les travaux rencontraient des eaux souterraines de plus en plus abondantes et, à diverses reprises, le niveau Léonie et même le niveau Castellane ont dû être abandonnés, les machines d'épuisement étant insuffisantes.

« Lorsque les avancements ont pénétré dans les anciens travaux du Rocher-Bleu et ont été poussés au-delà de cette zone, il a fallu prendre des mesures spéciales pour mettre toute l'exploitation à l'abri d'une inondation générale.

« Divisant l'exploitation en plusieurs zones, grâce à la

conservation de massifs de charbon intacts, on a établi des barrages à portes mobiles aux points où les massifs étaient traversés par les galeries de roulage, puis on a installé des machines d'épuisement d'une grande puissance au puits Lhuillier ex-n^o 10.

« La première ligne de barrages a été établie dans un massif de charbon qui règne sans interruption depuis le niveau inférieur Léonie jusqu'à celui de la galerie d'écoulement de Fuveau.

« Au-delà de cette première ligne se trouvent les travaux d'avancement les plus éloignés vers l'est.

« La deuxième ligne de barrages contourne la zone Lhuillier (anciens travaux des puits n^{os} 10 et 12).

« Enfin la troisième ligne ferme toutes les galeries qui traversent la faille Jean-Louis depuis le niveau de la galerie d'écoulement de Fuveau (*) (Pl. V, *fig.* 1).

« Les barrages des deux premières lignes ont été construits en 1880 et 1881 et ceux de la troisième ligne en 1884.

« Malgré la fermeture des premiers barrages et le fonctionnement des pompes du puits Lhuillier, on eut à déplorer un nouvel envahissement des travaux par les eaux, en 1883, au niveau Léonie pendant toute l'année, au niveau Castellane pendant trois mois.

« C'est alors qu'on s'est décidé à établir les derniers barrages de la troisième ligne; ils ont été construits, en 1886 pour le niveau Léonie, en 1887 pour les niveaux Castellane et Béthune.

« A la suite des pluies torrentielles de l'automne 1886, toute l'exploitation a été noyée. L'eau a reflué jusqu'au niveau de la galerie de Fuveau, et cette galerie coulant

(*) Mais ce massif n'est pas étanche et laisse passer environ 20 mètres cubes d'eau par minute, y compris la source B (Voir Pl. V, *fig.* 1), lorsque l'eau arrive au niveau de la galerie d'écoulement de Fuveau, derrière cette première ligne de barrages.

pleine a même été insuffisante (bien que débitant 90 mètres cubes à la minute) pendant quelques jours, pour maintenir les eaux à son niveau.

« En 1887, grâce au fonctionnement de toutes les pompes, on fit baisser l'eau au-dessous du niveau Castellane et on construisit à ce niveau les barrages de la troisième ligne.

« Mais cette expérience a aussi fait constater l'insuffisance des deux premières lignes de barrages. Les massifs protecteurs sont traversés par des moulières qui mettent en communication la zone Est et la zone Saint-Bonaventure, et les venues d'eau sont telles que les pompes ne peuvent suffire à les dominer aux époques très pluvieuses.

« On se résolut dès lors, à la fin de 1887, à fermer la troisième ligne de barrages et à abandonner, pour de longues années, les travaux situés au-delà vers le nord-est (4.000 mètres de longueur en direction et 1.000 mètres de largeur suivant la pente de la Grande-Mine), conservant la ressource d'exploiter le charbon contenu entre la faille Jean-Louis et la limite de la concession voisine, les calculs indiquant une richesse probable de trois millions de tonnes qui permettrait d'attendre le percement de la galerie de la Mer. »

Depuis 1889, où on a renforcé les barrages par des barrages de doublement, la ligne des barrages est restée absolument étanche.

Les travaux sont descendus peu à peu jusqu'à la cote — 12, et dans quelques années leur arrêt, dans la division Castellane-Gréasque, s'imposerait, les quartiers placés en dehors de la ligne des barrages étant épuisés.

Cependant, et tandis que l'on exploite ces quartiers dans des conditions fort onéreuses de prix de revient, les dépenses d'épuisement sont demeurées élevées, et les risques d'invasion des travaux par l'eau n'ont pas complètement disparu.

C'est ainsi que, le 19 décembre 1896, à la suite de pluies abondantes (537 millimètres d'eau du 1^{er} octobre au 19 décembre 1896, y compris 73 millimètres dans la seule journée du 19 décembre) la galerie d'écoulement de Fuveau, bien que débitant 90 mètres cubes à la minute, n'a pu donner passage à toute l'eau affluente, laquelle s'est élevée à 6^m,25 au-dessus de son orifice intérieur, et en déversait 15 mètres cubes environ par minute dans les travaux d'exploitation.

De ce fait, nous avons estimé à 20.000 mètres cubes l'eau déversée dans la mine.

On jugera, d'ailleurs, de l'influence ou de l'efficacité de la construction des barrages, en sachant qu'en 1886 les pluies ont été telles que l'on a pu constater une entrée d'eau dans la mine, évaluée à 320.000 mètres cubes en seize heures, malgré le débit de la galerie d'écoulement de Fuveau, jaugée à 80 mètres cubes par minute et le débit de celle de Valdonne, jaugée à 25 mètres cubes à la minute.

C'est ainsi également que les dépenses d'épuisement de la seule division Castellane-Gréasque se sont élevées, de 1889 à 1898 inclus, soit pour une période de dix ans, au chiffre de 1.627.550 francs, comme le montre le tableau ci-après, complétant celui donné par M. Oppermann (p. 333), sans compter les dépenses pour reprises de travaux après inondations, création de l'étage insubmersible, sujétions de toutes sortes.

Ainsi, de 1880 à 1898, on a dépensé pour l'épuisement une somme de 5.476.994 francs dans cette division.

Et, dans le passé comme dans le présent, se trouvent amplement justifiées les raisons données par MM. Villot et Biver pour le percement d'une galerie d'écoulement pouvant assécher les travaux de mine du bassin de Fuveau, et placée au point le plus bas possible, soit au niveau de la mer.

ANNÉES	DÉPENSES D'ÉPUISEMENT		QUANTITÉS d'eau enlevée par les machines d'épuisement	PRODUCTION de l'exploitation	BÉNÉFICE NET imposable
	Premier établissement	Frais courants			
	francs	francs	millions de m. c.	tonnes	francs
1889	97.605	119.569	1,600	131.289	— 47.574
1890	11.442	113.968	0,670	139.145	162.190
1891	20.636	147.258	0,490	150.045	148.105
1892	6.400	167.319	0,790	131.580	44.464
1893	9.971	141.523	0,580	141.519	152.695
1894	22.644	108.325	0,500	132.940	92.733
1895	31.366	165.053	0,490	121.940	50.018
1896	36.454	107.514	0,600	112.540	13.966
1897	96.426	142.113	0,680	119.031	— 57.715
1898	16.379	125.645	0,680	116.377	125.235
TOTAUX..	349.323	1.278.227	7,080	1.296.406	684.137
	1.627.550				

Je les rappelle ici :

- 1° Rendre à l'exploitation les masses énormes de combustible situées derrière les barrages ;
- 2° Assurer pour l'avenir la pleine sécurité des travaux ;
- 3° Permettre d'exploiter à sec dans les seules concessions de la Société de Charbonnages plus de 34.000.000 tonnes de lignite et dans des conditions d'épuisement moins onéreuses 60.000.000 tonnes.

L'œuvre n'est donc pas critiquable au point de vue économique. Elle présente, pour le bien du pays et le travail national, de grands et incontestables avantages.

Genèse du projet. — Je résume ci-dessous les détails donnés en 1889, sur la genèse du projet, sous l'inspiration de mon prédécesseur, M. Biver, dans une *Monographie de la Société de Charbonnages des Bouches-du-Rhône*.

L'accroissement continu des quantités d'eau, souvent formidables et soudaines, qui affluaient dans les exploitations de lignite de Fuveau, l'insuffisance de tous les

moyens d'exhaure accumulés successivement, la stérilisation par l'emploi obligé de barrages de parties de plus en plus importantes du gisement dans la région de Castellane-Fuveau, imposaient aux exploitants la recherche de moyens propres à les débarrasser de cette question de l'exhaure.

Sur l'initiative de la Société Lhuillier, devenue plus tard Société anonyme de Charbonnages des Bouches-du-Rhône, M. l'Ingénieur Grand étudiait, dès 1859, quatre tracés d'une grande galerie d'écoulement pouvant assécher une partie importante du bassin :

- 1° Le tracé de Roquevaire ;
- 2° Le tracé sur la Bourdonnière ;
- 3° Le tracé du Pont-de-Bouc ;
- 4° Un tracé partant du niveau de la mer au quartier d'Arenc, à Marseille.

On a figuré sur la carte d'ensemble de la région Nord-Est du bassin de Fuveau (Pl. III) ces différents tracés, avec indication de leurs points de départ et d'arrivée, leurs cotes et leurs longueurs, et les quantités de lignite qui eussent été asséchées par suite de leur percement.

Le dernier tracé, au niveau de la mer, d'une longueur de 18.050 mètres, aboutissait dans la concession de Saint-Savournin sud. Elle asséchait 31 millions de tonnes de lignite. On estimait son coût à 5.600.000 francs ; la durée de son exécution à sept ou huit ans ; mais, ajoute la *Monographie*, « ce dernier tracé présentait un aléa considérable qui, aujourd'hui encore, devrait le faire écarter : ce sont les venues d'eau dans les diverses lunettes dont on ne pourrait se rendre maître. On ne saurait oublier que, pour le percement de la galerie de Fuveau, les 3/5 de la dépense totale ont été les frais d'épuisement.

L'idée d'adopter pour la galerie le niveau de la mer en resta à provisoirement ; elle devait se mûrir sous l'aiguillon de la nécessité et fournir la solution vraie et radicale.

En 1873, la Société de Charbonnages, remarquant que, dans l'ensemble de ses concessions, le village de la Malle était le point le plus rapproché du rivage de la mer, rechercha la possibilité d'y aboutir par une galerie d'écoulement partant de Marseille, de 9 kilomètres de longueur environ et pénétrant dans les couches de lignite.

Mais l'étude des régions de la Malle donna des résultats peu encourageants au point de vue de la richesse du terrain à lignite, et ce projet de tracé fut rejeté sur les conclusions d'une étude faite par M. Villot.

Dans un second mémoire, en date du 27 mars 1875, M. Villot étudiait les conditions de section et de pente à adopter pour la galerie que l'on songeait à utiliser aussi pour le sortage du charbon; il concluait à l'exécution de deux galeries indépendantes et à pentes différentes, l'une pour l'écoulement de l'eau, l'autre pour la sortie des produits: la première ayant une déclivité de 1/2 à 1 millimètre; la seconde, une pente de 3 millimètres environ.

Dès 1873, la Société des Bouches-du-Rhône avait saisi le préfet du département d'une demande en autorisation du percement de la galerie aboutissant à la Malle, puis avait abandonné cette solution.

Le 30 novembre 1878, la Société, qui avait fait étudier par M. Dieulafait, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille, la coupe des terrains par un plan vertical passant par l'axe du futur tunnel, devant relier les mines de Gardanne à Marseille dans la région du cap Janet, adressait au Ministère des Travaux publics un avant-projet de galerie avec chemin de fer souterrain, et sollicitait un décret d'utilité publique en autorisant l'exécution.

L'avant-projet comprenait deux tracés partant d'un même point aux mines de Gardanne et aboutissant, pour le premier, dans l'anse de la Madrague et près le cap Pinède; pour le second, près Saint-André, aussi sur le bord de la mer.

La Société indiquait nettement sa préférence pour le premier projet, considéré comme plus rationnel au point de vue de l'arrivée du charbon à Marseille; il fut définitivement adopté.

L'affaire était lancée; mais, outre qu'il fallut attendre la promulgation de la nouvelle loi sur les mines (27 juillet 1880), elle eut à passer par la série des formalités administratives, — fort longue ici par suite de la situation de la galerie dans la zone frontière — et près de dix années s'écoulèrent entre le dépôt du projet et l'octroi de l'autorisation.

Le 7 août 1879, la Société de Charbonnages avait adressé au Ministre un dossier complet, dans lequel elle ne conservait que le projet aujourd'hui en exécution.

Le 21 mars 1889, la Société de Charbonnages recevait notification, à Marseille, du décret déclarant d'utilité publique la construction de la galerie.

Dans le courant du mois d'octobre de la même année, nous avons la douleur de perdre M. Biver.

Décret du 28 février 1889. — Il ne me paraît pas inutile de reproduire ici le texte du décret et du cahier des charges.

DÉCRET.

Art. 1^{er}. — Est déclarée d'utilité publique la construction, entre la concession des mines de lignite de Gardanne et la mer, d'une galerie souterraine et de ses dépendances, ladite galerie destinée à l'assèchement des mines de lignite appartenant à la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône, dans le bassin de Fuveau, et à l'établissement d'une voie ferrée.

La présente déclaration d'utilité publique sera considérée comme non avenue, si les expropriations nécessaires pour l'exécution des travaux ne sont pas accomplies dans un délai de trois ans, à partir de la date du présent décret.

Art. 2. — La Société des Charbonnages est autorisée à exécuter

la galerie et ses dépendances à ses frais, risques et périls, suivant les indications générales des plans ci-dessus visés, en date du 19 octobre 1880 et du 25 novembre 1887, et conformément aux clauses et conditions du cahier des charges également visé ci-dessus.

Ledit cahier des charges et les plans, des 19 octobre 1880 et 25 novembre 1887, resteront annexés au présent décret.

Art. 3. — Si le percement de la galerie souterraine vient à modifier le régime des sources ou le cours des eaux superficielles, au préjudice des communautés d'habitants ou des particuliers qui se servaient de ces eaux, la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône sera tenue d'indemniser ces communautés d'habitants et ces particuliers, conformément à l'engagement pris en son nom, à la date du 3 février 1889.

Art. 4. — Le Ministre des travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

CAHIER DES CHARGES.

ART. 1^{er}. — *Tracé et description des ouvrages.*

Les ouvrages qui font l'objet du présent cahier des charges comprennent :

1° Une galerie souterraine partant de la concession des mines de lignite de Gardanne et aboutissant à un point situé dans le terrain appartenant à la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône, au nord-est du cap Pinède, près de l'anse de la Madrague, commune de Marseille ;

2° Une conduite d'écoulement, partant de l'orifice de la galerie souterraine et aboutissant à la mer dans l'anse de la Madrague au nord du cap Pinède ;

3° Une voie ferrée établie dans la galerie souterraine et se prolongeant à ciel ouvert jusqu'aux lieux de chargement et d'embarquement des charbons ;

4° Au débouché de la galerie, les installations annexes nécessaires pour les travaux de percement et pour la réception, la manipulation, la transformation et la vente des produits de l'exploitation.

Le tracé de la galerie et de la conduite d'écoulement sera conforme à la direction générale indiquée sur le plan d'ensemble,

présenté à la date du 19 octobre 1880, par la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône (*).

Les prolongements de la voie ferrée et les installations annexes seront établis dans la partie des terrains conquis sur la mer dans l'anse de la Madrague, au nord du cap Pinède, qui sera limitée, conformément aux indications du plan, en date du 25 novembre 1887, annexé au décret : à l'ouest par le chemin du littoral ; au sud-ouest par une ligne droite passant à 100 mètres en arrière de l'alignement prolongé de l'arête du quai de rive du bassin National ; au sud et à l'est par l'ancienne limite du rivage, et au nord par l'avenue Mouren. Les terrains ainsi délimités ne comprendront aucune parcelle du terrain militaire actuel de la batterie du cap Pinède (**).

ART. 2. — *Approbation des projets.*

Aucun travail pour l'exécution de la galerie, de la voie ferrée et de leurs dépendances ne pourra être entrepris qu'avec l'autorisation de l'Administration.

A cet effet, les projets de tous les travaux à exécuter seront dressés en double expédition et soumis à l'approbation du Ministre des travaux publics, qui pourra prescrire telles modifications que de droit, après accomplissement, s'il y a lieu, des formalités réglementaires en matière de travaux mixtes.

L'une des deux expéditions des projets de détail sera remise à la Société avec le visa du Ministre, l'autre demeurera aux archives de l'Administration.

Avant, comme pendant l'exécution, la Société aura la faculté de proposer aux projets approuvés les modifications qu'elle jugerait utiles ; mais ces modifications ne pourront être exécutées que moyennant l'approbation de l'Administration.

ART. 3. — *Exécution des travaux.*

La Société n'emploiera, dans l'exécution de ses travaux, que des matériaux de bonne qualité. Elle sera tenue de se conformer à toutes les règles de l'art, de manière à obtenir une construction parfaitement solide et à assurer l'étanchéité de la galerie dans les parties qui seront désignées par l'Administration, à la suite de jaugeages effectués, sous son contrôle, aux frais de la Société.

(*) Voir Pl. III et Pl. VI, fig. 1.

(**) Voir Pl. VI, fig. 1.

ART. 4. — *Contrôle et surveillance des travaux.*

Les travaux seront exécutés sous le contrôle et la surveillance de l'Administration.

ART. 5. — *Coupe géologique.*

La Société fera dresser, au fur et à mesure de l'avancement des travaux de percement et à ses frais, et sous le contrôle de l'Administration, une coupe géologique des terrains traversés, avec indication des veines aquifères rencontrées.

Une expédition dûment certifiée de cette coupe géologique sera remise à l'Administration et mise à jour à la fin de chaque année, pendant tout le temps que durera le travail de percement.

ART. 6. — *Entretien.*

La galerie, la voie ferrée et leurs dépendances seront constamment entretenus en bon état.

ART. 7. — *Modification des défenses de la région.*

Si l'exécution de la galerie et des ouvrages qui en dépendent rend nécessaire une modification ou un accroissement des défenses de la région, la dépense qui en résultera sera à la charge de la Société.

ART. 8. — *Dépôts dans la mer.*

La Société prendra ses dispositions pour éviter que l'écoulement des eaux de la galerie dans la mer n'occasionne aucune gêne à la navigation ou ne donne lieu à la formation de dépôts dans la partie de la mer comprise entre la grande jetée, son prolongement vers le nord et le rivage actuel, et ce, quels que soient les travaux que l'État exécutera sur ce point.

Elle fera à ses frais, dans ce but, tous les travaux nécessaires que l'Administration pourra lui prescrire; elle sera tenue d'apporter à ses frais, aux ouvrages qu'elle aura construits, toutes les modifications que l'Administration jugera à propos de prescrire et qui seraient justifiées soit par l'établissement de nouveaux ouvrages dans l'anse de la Madrague, soit par des changements apportés à des ouvrages déjà existants, soit enfin pour tout autre motif d'intérêt public.

Si, malgré ces mesures, les travaux de la Société viennent à

provoquer des dépôts sur un point quelconque de la surface désignée ci-dessus, elle devra enlever ces dépôts à ses frais, dans les conditions que l'Administration déterminera.

ART. 9. — *Chemin d'accès.*

Un chemin public, praticable aux voitures, sera construit, aux frais de la Société, pour l'accès des propriétés limitrophes des terrains domaniaux qu'elle doit occuper au débouché de la galerie. Ce chemin longera les limites sud et est desdits terrains domaniaux, depuis le chemin du littoral jusqu'à la limite des terrains appartenant actuellement à la Société.

Il sera établi sur les terrains acquis par la Société et n'empiètera sur aucune parcelle du terrain militaire actuel de la batterie du cap Pinède. Le tracé, les coupes transversales et longitudinales de ce chemin seront soumis à un examen en conférences mixtes, et l'Administration prescrira, s'il y a lieu, telles modifications que de droit.

ART. 10. — *Servitudes fiscales.*

Les terrains expropriés au débouché de la galerie seront accessibles de jour et de nuit aux agents des douanes et des contributions indirectes.

ART. 11. — *Abandon des travaux. — Défaut d'entretien.*

Les travaux ne pourront être abandonnés en tout ou en partie sans l'autorisation du Ministre, qui prendra les mesures de police, de sûreté et de conservation nécessaires.

Au cas où, par suite du défaut d'entretien ou pour toute autre raison, la sécurité publique ou le libre écoulement des eaux viendraient à être compromis, l'Administration pourra y pourvoir d'office, aux frais de la Société.

Le montant des avances faites sera recouvré au moyen de rôles que le préfet rendra exécutoires.

ART. 12. — *Prolongements et embranchements.*

Si le Gouvernement venait à déclarer d'utilité publique d'autres galeries souterraines, avec ou sans chemin de fer, effectuées en prolongement de celle qui fait l'objet du présent cahier des charges, ou venant s'embrancher sur elle, la Société ne pourra

faire aucune opposition à ces embranchements ou prolongements.

Les concessions de mines, qui viendraient à ouvrir des galeries souterraines d'embranchement ou de prolongement, auront la faculté de faire usage de la galerie de la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône, pour l'assèchement de leurs mines et pour le transport des produits de leurs exploitations. Les conditions financières de cet usage commun et les tarifs de transport seront fixés par décret, la Société et les dits concessionnaires entendus.

ART. 13. — *Délat d'exécution.*

Le percement de la galerie jusqu'à la concession de Gardanne devra être achevé dans un délai de vingt ans et l'affectation des terrains expropriés à la réception des produits extraits par cette galerie, spécifiée à l'article 1^{er} du présent cahier des charges, devra être réalisée dix ans plus tard.

Faute par la Société d'avoir terminé ses travaux dans ces délais, faute aussi par elle d'avoir rempli les diverses obligations qui lui sont imposées par le présent cahier des charges, l'État aura le droit de reprendre possession des terrains domaniaux expropriés, moyennant le remboursement du prix d'acquisition.

ART. 13. — *Frais de contrôle.*

Les frais de visite et de surveillance des travaux seront supportés par la Société, et le montant en sera recouvré comme en matière de contributions publiques.

ART. 15. — *Enregistrement.*

Les frais d'enregistrement du présent cahier des charges seront supportés par la Société.

(La suite à la prochaine livraison.)

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ESPAGNE EN 1898.

1^o PRODUCTION DES CONCESSIONS.

SUBSTANCES MINÉRALES	CONCESSIONS en activité	OUVRIERS			MACHINES A VAPEUR		PRODUCTION	
		Hommes	Femmes	Enfants	Nombre	Forée en chevaux	Poids	Valeur sur place
Fer.....	440	17.757	112	1.613	136	2.833	tonnes	francs
Fer argentifère.....	4	253	»	57	1	6	7.197.047	31.162.419
Wolfram.....	6	98	24	25	»	»	24.190	341.078
Pyrite de fer.....	12	229	»	80	6	377	27	26.625
Ocre.....	2	4	»	3	»	»	70.265	175.675
Plomb.....	438	8.884	136	1.173	186	7.223	200	4.000
Plomb argentifère.....	382	8.247	385	1.353	203	6.739	150.472	24.740.278
Plomb et zinc.....	1	4	»	2	»	»	244.068	40.118.859
Zinc.....	91	1.555	148	274	13	211	38	192
Or.....	3	43	»	»	»	»	99.836	4.956.929
Argent.....	5	225	»	»	4	»	555	10.825
Cuivre.....	309	7.284	191	873	59	150	767	530.469
Etain.....	4	73	6	4	1	2.032	2.302.417	13.818.745
Mercuré.....	26	1.884	2	170	12	30	4	2.340
Antimoine.....	5	80	1	4	1	6	31.361	6.260.121
Manganèse.....	20	565	277	155	2	19	130	10.743
Pyrites arsenicales.....	1	8	»	»	»	»	102.228	1.715.227
Graphite.....	1	3	»	2	»	»	230	2.875
Sel commun.....	83	1.730	215	222	14	104	10	401
Substances salines.....	1	2	»	1	»	»	479.358	5.128.412
Sulfate de baryte.....	4	15	1	»	»	»	14	140
Alun.....	6	31	»	14	»	»	364	10.370
Spath-fluor.....	1	1	»	»	»	»	505	12.627
Soufre.....	13	355	»	156	»	»	5	375
Phosphore.....	3	12	6	9	1	10	105.757	990.688
Kaolin.....	5	22	1	»	»	»	4.500	225.015
Sécalite.....	5	35	1	10	»	»	5.445	27.592
Topaze.....	1	3	»	»	»	»	2.613	72.518
Houille.....	657	13.853	970	2.341	140	»	kilogr. 89,9	7.268
Lignite.....	54	664	32	112	5	4.092	2.414.127	20.736.665
Anthracite.....	2	62	21	40	3	54	66.422	466.548
Roches asphaltiques.....	4	34	»	»	»	105	20.105	180.950
Totaux.....	2.589	64.015	2.529	8.693	787	24.503	2.383	151.760.518

SUBSTANCES	PRODUCTION		NOMBRE des usines en activité	MACHINES EN ACTIVITÉ				OUVRIERS			MATIÈRES ÉLABORÉES tonnes
	Poids tonnes	Valeur à pied-d'œuvre francs		Hydrauliques	A vapeur		Hommes	Femmes	Enfants		
			Nombre	Force en chevaux	Nombre	Force en chevaux					
Fonte.....	113,492	10,296,161	28	1,101	288	25,271	7,076	193	887	553,658	
Fer.....	65,990	14,133,743	11								
Acier.....	50,392	11,660,004									
Fils de fer et d'acier.....	4,600	1,615,000									
Piom b.....	78,370	35,944,971	10	8	35	738	1,643	5	151	108,635	
Piom b argentifère.....	88,361	30,132,322	32	36	16	398	4,187	"	141	206,747	
Argent fin... (en kilogrammes)	76,795	9,325,778	2	108	1	12	30	"	6	849	
Or..... (idem)	3	11,690	2				12	"	"	575	
Cuivre fin.....	593	593,115	12		32	711	4,453	493	427	1,354,407	
Cuivre noir.....	29,341	20,875,288									
Mattes de cuivre.....	16,024	4,807,190									
Zinc en lingots.....	4,300	3,010,000	1		13	134	462	6	30	14,578	
Zinc laminé.....	1,731	1,610,292									
Mercur.....	1,691	7,969,605	7		4	51	312	3	298	30,498	
Sulfure jaune d'arsenic.....	111	66,600									
Soufre fondu.....	3,100	392,000	5		7	"	"	"	"	10,928	
Ciment hydraulique.....	164,862	1,792,504	26	364	49	528	4,72	18	79	364,490	
Agglomérés de houille.....	268,418	6,387,127	12		11	331	398	3	34	343,985	
Coke.....	768,151	16,036,439	14		2	388	388	"	13	1,006,281	
Asphalte.....	2,354	148,131	2		2	38	20	"	2	2,354	
Totaux.....		166,774,920	129	47	423	28,156	16,978	421	2,013	"	

NOTICE

SUR LA

CONSTRUCTION D'UNE GALÉRIE SOUTERRAINE

DESTINÉE

A RELIER LA CONCESSION DES MINES DE LIGNITE DE GARDANNE A LA MER
PRÈS MARSEILLEPar M. DOMAGE, Directeur de la Société nouvelle de Charbonnages
des Bouches-du-Rhône.

(Suite) (*).

DEUXIÈME PARTIE.

Exécution de la galerie souterraine.

D'après l'article 1^{er} du cahier des charges qui accompagne le décret du 28 février 1889, déclarant d'utilité publique l'exécution d'une galerie entre les mines des Bouches-du-Rhône et Marseille, — décret notifié à la Société de Charbonnages le 21 mars 1889, — les ouvrages faisant l'objet de ce cahier des charges comprennent :

- 1° Une galerie souterraine partant de la concession des mines de lignite de Gardanne et aboutissant au nord-est du cap Pinède (Pl. III);
- 2° Une conduite d'écoulement;
- 3° Une voie ferrée;
- 4° Au débouché de la galerie, les installations annexes nécessaires.

Ce même cahier des charges prévoit (art. 8) l'exécution

(*) Voir *suprà*, p. 307 à 346.

des travaux nécessaires, à l'entrée de la galerie, pour que l'écoulement des eaux de la galerie dans la mer n'occasionne aucune gêne à la navigation ou ne donne lieu à la formation de dépôts dans la partie de la mer comprise entre la grande jetée et son prolongement vers le nord et le rivage actuel (Pl. VI, *fig. 1*).

Il prévoit également, aux frais de la Société de Charbonnages (art. 9), un chemin public, praticable aux voitures, pour l'accès des propriétés limitrophes des terrains domaniaux à occuper par la Société au débouché de la galerie (Pl. VI, *fig. 1*).

Reprenons ces divers points.

L'ensemble du projet comporte deux galeries, sensiblement superposées, ayant toutes les deux la direction indiquée au cahier des charges et représentée sur la Pl. VI, *fig. 19*.

La galerie inférieure part de la Madrague, ayant son sol à la cote 1^m,10. Elle se poursuivra jusqu'au kilomètre 3,100 avec une pente de $\frac{5}{10}$ de millimètre, et du kilomètre 3,100 jusqu'à son extrémité avec une pente de 1 millimètre. Elle est destinée à l'écoulement de l'eau.

La partie supérieure part de la Madrague, ayant son sol à la cote 12,50 pour aboutir à Gardanne, à la cote 18, ayant depuis le point 3,100 jusqu'à Gardanne une pente de 1/2 millimètre par mètre et étant sensiblement de niveau entre 0 et 3,100.

Elle est destinée au transport du charbon de Gardanne au bord de la mer, dans l'anse de la Madrague.

La coupe géologique dressée par M. Dieulafait (Pl. IV, *fig. 1*) indiquait que la galerie se poursuivrait dans le tertiaire (argile, safre et poudingue), du kilomètre 0 au kilomètre 2,850 ;

Qu'au kilomètre 3,100 on toucherait au contact du tertiaire et de l'infracrétacé ;

Que du kilomètre 3,100 au kilomètre 12,340 la galerie traverserait des calcaires dans l'infracrétacé et le jurassique ;

Que du kilomètre 12,340 au kilomètre 12,750 la galerie traverserait le Permien ;

Que du kilomètre 12,750 au kilomètre 13,350 la galerie traverserait encore des calcaires de l'infracrétacé ;

Et que du kilomètre 13,350 au kilomètre 14,780 la galerie, entrée en traversant une faille dans le terrain à lignite, demeurerait dans ce terrain jusqu'à son extrémité.

Nous aurons plus tard à revenir sur cette coupe, dont l'exactitude avait été contestée, dès son apparition, par M. Oppermann.

Pour la partie de la galerie exécutée à ce jour, nous avons pu constater qu'elle n'était pas exacte.

Nous avons traversé le tertiaire du kilomètre 0 au kilomètre 2,806, et la galerie est demeurée du kilomètre 2,806 au kilomètre 6,680, dans les calcaires de l'infracrétacé et non dans le jurassique (Voir Pl. IV, *fig. 2*).

De même, du côté de Gardanne, la galerie est demeurée du kilomètre 14.699,58 au kilomètre 13.512,24 dans le terrain à lignite qu'elle devait quitter, d'après M. Dieulafait au kilomètre 13,650 (Voir Pl. IV, *fig. 2*).

C'est ici qu'il convient de signaler que l'Administration des Mines avait prévu qu'au contact du tertiaire et de l'infracrétacé, c'est-à-dire vers le kilomètre 3,100, d'après la coupe de M. Dieulafait, nous rencontrerions soudainement de grandes masses d'eau, pouvant jaillir avec violence et qu'elle avait en conséquence, pour assurer la sécurité des ouvriers, prescrit l'exécution, en avant de ce point, d'un puits, que nous avons exécuté en effet, et placé au kilomètre 2,537. Nous l'avons appelé puits Saint-Joseph, du nom du village dans lequel il se trouve. Sa profondeur est de 88 mètres.

Il était achevé le 1^{er} janvier 1892, alors que la galerie n'avait encore atteint que le kilomètre 1,520.

Dans le tertiaire, la galerie inférieure, entièrement maçonnée et de forme ovale, devait être munie, en son milieu et en contre-bas du sol, d'une cunette également murillée de 1^m,10 de hauteur et de 1^m,30 de largeur, assurant le passage de plus de 1.100 litres d'eau à la seconde (Pl. VI, *fig.* 18).

Elle est recouverte de madriers de chêne de 12 centimètres de hauteur, à faces planes jointives, et sur les joints on a cloué des planches de pin.

La galerie proprement dite a 2^m,28 de hauteur sous clé et 2^m,20 de largeur à mi-hauteur (Voir *fig.* 18, Pl. VI). La section est de 4^m²,471.

Dans les calcaires on avait supposé que la galerie inférieure n'aurait pas besoin d'être murillée; certaines parties peuvent, en effet, demeurer sans revêtement, tandis que d'autres ont dû être murillées; — quelques-unes même, cuvelées ou avec de la fonte ou avec du béton ou par un procédé mixte, fonte et béton. Nous avons réuni (Pl. VI) les dessins figurant la galerie dans les divers cas (*fig.* 7, 8, 9, 10 et 11).

On verra que la cunette calculée par les formules d'Eytelwein, Prony, Bazin et Darcy (en prenant la moyenne des résultats), est capable de laisser passer 1 mètre cube d'eau par seconde et remplacée dans les parties peu solides par une rigole capable du même débit et dont les dimensions ont été calculées par les mêmes formules.

On avait prévu un galandage pour l'aérage. Nous avons préféré nous servir de tuyaux en tôle de 0^m,60 de diamètre pour l'exécution de la partie de galerie comprise entre le kilomètre 3,075, où finit la cunette, et le kilomètre 6,700, où nous sommes arrivés actuellement.

La section de la galerie dans le tertiaire, y compris la cunette, est de 5^m²,871, et la section de la galerie dans la

roche calcaire, y compris la rigole, de 5^m²,93, permettant le passage de l'eau de la mine aux époques les plus critiques.

En effet, la vitesse de l'eau dans la cunette atteint et dépasse 1 mètre. A cette vitesse, la galerie débiterait près de 6 mètres cubes à la seconde. Le tableau ci-dessous donne l'importance des venues d'eau de la mine pendant les périodes de sécheresse ou de pluies violentes et pénétrantes.

EAUX RECUEILLIES DANS LES TRAVAUX.

	MINIMUM	MAXIMUM
	1884 - 1885	1897
En amont du niveau Saint-Pierre.....	lit. 0,547 par seconde	lit. 133,333 par seconde
En aval du niveau Saint-Pierre.....	2,000 —	—
En amont de la galerie de Fuveau.....	1,233 —	416,666 —
En aval de la galerie de Fuveau.....	82,268 —	416,666 —
Sondage de Peynier.....	0,000 —	107,666 —
Galerie Defarges.....	58,333 —	378,000 —
Galerie Saint-Jean.....	0,000 —	416,666 —
	144,381 par seconde	1.868,997 par seconde

Le débit maximum n'atteint pas 2 mètres cubes par seconde, et cela pendant quelques rares journées, à de longs intervalles.

La galerie supérieure ou de roulage devra avoir les dimensions suivantes: 2^m,30 de largeur sur 2^m,25 de hauteur (Pl. VI, *fig.* 19).

Le projet complet suppose l'établissement de deux galeries semblables et parallèles à chaque niveau dans le tertiaire, et l'élargissement nécessaire pour une deuxième voie dans les terrains secondaires (Voir Pl. VI, *fig.* 19).

On a, en effet, à tenir compte de certaines pluies torrentielles, comme celle du mois de novembre 1886 où, à la suite d'un orage des plus violents, la galerie de Fuveau a

débité 80 mètres cubes à la minute et où l'eau s'est déversée dans les travaux en aval; ce déversement, joint au débit de toutes les sources situées en aval de la galerie de Fuveau, a fait monter l'eau dans les travaux de 16 mètres de hauteur verticalement ou de 160 mètres suivant la pente de la couche, en six heures de temps, sur une longueur de 4.000 mètres, ce qui représente un volume d'eau de

$160 \times 1^m,00 \times 4,000 = 640.000$	}	= 320.000 ^{m³} d'eau
moins 1/2 pour piliers et remblais, 320.000		
en 16 heures ou		334 ^{m³} par minute
La galerie de Valdonne débitait.....		25 —
La galerie de Fuveau débitait (V. plus haut).		80 —
TOTAL de la venue par minute..		439 ^{m³} par minute
ou 7 ^{m³} 1/2 par seconde.		

En semblable occurrence, on aurait à ajouter à ce débit par la galerie les eaux venant de Trets, de la Compagnie Michel-Armand, de Gardanne, etc., pouvant porter le *débit total à 10 mètres cubes ou 12 mètres cubes par seconde* sans le secours des galeries précitées.

La conduite d'écoulement, qui fait l'objet du deuxième paragraphe de l'article 1^{er} du cahier des charges, avait été construite, avant l'obtention du décret, en vertu d'un arrêté préfectoral du 10 août 1886.

Cet égout doit recevoir, en outre des eaux de la galerie, les eaux de condensation des machines à vapeur que nous pourrions avoir à installer dans notre propriété. Il sert également, en vertu d'une convention conclue entre la Société de Charbonnages et la Compagnie du Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, à l'écoulement d'une faible partie des eaux de la nouvelle ligne ferrée de la Joliette à l'Estaque.

La partie de l'égout exécutée en vertu de l'arrêté préfectoral du 10 août 1886, de l'entrée de la galerie

jusqu'à la mer, se compose de deux galeries parallèles et jointives à plein cintre, ayant une largeur intérieure de 1 mètre et une hauteur sous clé de 2^m,14. Il peut donc, tout en assurant les services dont il vient d'être parlé, suffire à l'évacuation des eaux de la galerie souterraine. Mais la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée ayant, lors de la création de la ligne d'Arènes à l'Estaque, déposé des terres sur le bord de la mer et, par suite, reculé le rivage, force nous a été de prolonger l'égout jusqu'au nouveau rivage, bordé actuellement par le mur de quai construit par l'Administration des Ponts et Chaussées. Les *fig. 2, 3, 4 et 5* de la Pl. VI donnent les dessins relatifs à cet ouvrage.

Un bassin de décantation a été construit à l'entrée de la galerie à l'orifice de l'égout, en exécution de l'article 8 du cahier des charges, au moment même de l'exécution de l'égout (Pl. VI, *fig. 5 et 6*).

Procédés d'exécution de la galerie inférieure. — Je ferai connaître maintenant les procédés employés pour l'exécution de la galerie :

Du côté de la Madrague :	}	dans le Tertiaire,
		dans les roches calcaires;
Du côté de Gardanne :	}	dans les calcaires marneux
		du Fuvélien et du Bégudien.

J'indiquerai comment nous avons passé les parties aquifères.

Toutefois, avant d'entrer dans le vif de la question, je dois ajouter ce qui suit :

Au mois de juillet 1890, lorsque j'entrai en fonctions comme Directeur de la Société de Charbonnages, la galerie, en tête de laquelle on avait installé un ventilateur Ser, mû par une locomobile, avait été amorcée du côté de la Madrague jusqu'au kilomètre 0.220,25, où on avait dû l'arrêter, sur les injonctions d'un propriétaire de la surface

rebelle à tout arrangement, jusqu'après l'exécution des formalités d'expropriation (Voir Pl. VII, *fig.* 7, 8 et 9).

Depuis fort longtemps déjà on s'était préoccupé des moyens à employer pour le creusement de la galerie.

M. Pernolet avait donné un rapport sur l'emploi de l'air comprimé.

On avait essayé, dans la galerie Saint-Pierre à Gardanne, une machine Brunton qui recevait son mouvement de la machine à vapeur motrice placée au jour par une chaîne flottante de 1 kilomètre environ de longueur. Mais les couteaux circulaires en acier ne résistaient pas longtemps; leur tranchant se cassait ou s'émousait rapidement dans les terrains un peu durs. Le terrain n'étant pas homogène, la marche était irrégulière, et l'avancement très faible.

Cette machine a été employée plus tard avec plus de succès dans le percement du tunnel sous la Mauche où le terrain était tendre (de la craie) et homogène, et a donné un avancement de 5 à 6 mètres par vingt-quatre heures.

Les avantages de cette machine sont de donner tout de suite une galerie circulaire très régulière, de supprimer les grosses dépenses d'explosifs et de demander un faible aérage; mais dans les terrains durs et non homogènes l'avancement est trop faible.

On avait dû, en conséquence, abandonner l'idée d'employer cette machine, et sur une visite d'un des Ingénieurs de la Compagnie, M. Gossiaux, au travail de percement du tunnel du col de Cabres, on avait résolu de se servir du perforateur à main Berthet (*fig.* 1 ci-contre) au moins dans le tertiaire et les roches calcaires tendres et d'employer la dynamite comme explosif.

Il avait été impossible, en présence des aléas et des sujétions pouvant résulter de la rencontre de l'eau, d'établir un prix de revient même approché du coût du travail

que nous entreprenions; et c'est la raison principale qui nous a décidés à exécuter la galerie nous-mêmes.

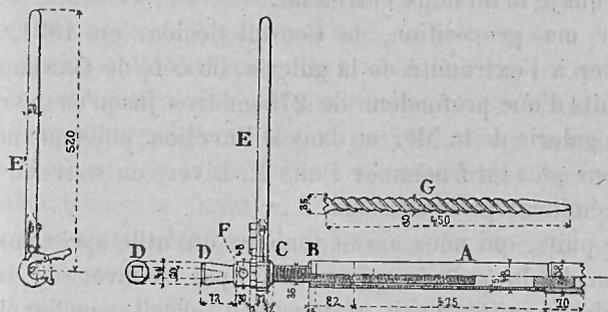


FIG. 1.

- A, Tube en fer de 5 millimètres d'épaisseur muni d'une embase à redens. L'extrémité de ce tube est bouchée par un tampon en bois.
 B, Ecrrou à épaulement engagé dans le tube en fer A.
 C, Vis à filet triangulaire de 36 millimètres de diamètre s'engageant dans l'écrrou A.
 D, Tête de la vis dans laquelle s'engage l'extrémité de la mèche hélicoïdale G.
 E, Levier à cliquet monté sur la tête de la vis. Le rochet fait corps avec la tête.
 E', Levier à cliquet, vu de face et ouvert. Le pointillé représente la portière à ressort fermée.
 F, Trou pour broche en fer dont on ne se sert que pour donner deux ou trois tours de retour à la vis lorsqu'on veut retirer la mèche G du trou de mine.
 G, Mèche en acier de section rectangulaire, tordue à chaud en hélice pour le dégagement des poussières.

Creuser une galerie était essentiellement dans nos aptitudes de travail; nous avons pour conduire la galerie un ingénieur capable en même temps que bon géomètre, M. Long, tandis qu'un entrepreneur aurait chiffré la valeur des aléas qu'on rencontrerait probablement et se serait fait payer en conséquence.

Dans la crainte de rencontrer de l'eau en fonçant des puits intermédiaires, les promoteurs de la galerie s'étaient interdit d'en foncer aucun sur son parcours, sauf vers le point de rencontre du tertiaire et de l'infracrétacé. Il

était cependant difficile d'exécuter ainsi 15 kilomètres de galerie sans lunette d'aérage. Ce point préoccupait M. Villot avec qui je m'en étais entretenu.

Sur ma proposition, le Conseil décida, en 1891, de creuser à l'extrémité de la galerie, du côté de Gardanne, un puits d'une profondeur de 275 mètres jusqu'au niveau de la galerie de la Mer et dans le Fuvélien, puits que nous devons plus tard nommer Puits E. Biver, en souvenir de mon éminent prédécesseur.

Ce puits, qui nous aurait toujours été utile après l'exécution de la galerie, pouvait ne pas trouver de trop grandes quantités d'eau, et du coup il servait pour l'exploitation et pour une attaque de la galerie marchant vers la Madrague.

On verra plus loin que ce puits, qui était foncé le 12 novembre 1893, a permis de creuser, jusqu'au 30 juin 1899, 1.200 mètres de galerie et d'aborder l'exploitation du lambeau de charbon de Gardanne, en profondeur (*).

Il fallait encore, pour l'aérage, partager la distance entre le puits Saint-Joseph et le puits E. Biver; ce pourquoi nous songeâmes à foncer un puits d'aérage au kilomètre 8,500; il était au milieu de l'espace à parcourir, entre ces deux puits; sa profondeur eût été de 400 mètres.

La difficulté d'accès du point 8,500 nous obligea à nous reporter au kilomètre 6,635 pour y foncer le puits de la Mure, qui devait avoir une profondeur de 330 mètres.

Il était bien peu probable, à moins de se résoudre à subir des dépenses d'exhaure extrêmement considérables, vu la position du puits et le prix élevé du charbon, qu'il fût possible de prendre à sa base des attaques pour le creusement de la galerie. Il n'y avait pas lieu cependant

(*) Cette région, au sud de la faille de la Diote, est protégée par celle-ci, barrage naturel du cours d'eau souterrain occupant les parties profondes de la vallée de l'Arc.

de renoncer à tout espoir de ce genre, et l'on pouvait affirmer que le fonçage du puits, ne fût-il d'aucune utilité pour améliorer l'avancement de la galerie, demeurerait toujours nécessaire pour son aérage, soit dans la période de percement, soit dans celle ultérieure d'exploitation.

On pouvait craindre, par surcroît, que l'abondance d'eau, au cours du fonçage, ne permit pas de creuser le puits jusqu'au niveau de la mer. Nous étions décidés dans ce cas à abandonner le fonçage, lorsqu'il deviendrait trop onéreux et à attendre que la galerie de la Mer fût arrivée au-dessous de son axe. Un trou de sonde nous débarrasserait alors de l'eau, et le fonçage pourrait être achevé.

Malgré notre désir de commencer le fonçage de ce puits dès 1891, nous avons dû, pour vaincre les résistances du propriétaire du terrain sur lequel il devait être placé, obtenir un décret prorogeant notre droit d'expropriation. Grâce à la diligence mise par l'Administration des Mines pour l'obtention de ce décret, le puits put être commencé le 2 octobre 1893.

Pour n'avoir pas à revenir sur ce travail, je dirai que le fonçage fut terminé le 30 avril 1896.

Nous n'avions pas trouvé d'eau jusqu'à 253 mètres de profondeur (77 mètres au-dessus du niveau de la mer); à cette profondeur, nous avons trouvé une cassure, inclinée du sud au nord et dirigée de l'ouest à l'est, qui nous a donné 32 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Je dirai aussi que deux galeries en prolongement de la galerie inférieure furent poussées du puits de la Mure vers Gardanne et du puits de la Mure vers la Madrague. Nous les arrêtâmes après avoir maçonné le front de l'avancement, la première à 22^m,97, la seconde à 88^m,40 du puits, quand la venue d'eau atteignit 800 litres par minute, menaçant de devenir supérieure à nos moyens d'exhaure par la machine de fonçage.

L'épuisement arrêté, le 21 septembre 1896, l'eau monta

dans le puits à 95 mètres au-dessus du niveau de la mer.

I. — ATTAQUE MADRAGUE.

Traversée du tertiaire. — Description du chantier. — Les dessins *fig. 12 à 18* de la Pl. VI montrent comment nous avons conduit le travail dans le tertiaire.

Les chantiers successifs étaient au nombre de quatre :

A l'avancement, un chantier de mineur creusant une première galerie de 1^m,85 de hauteur sur 2^m,50 de largeur ;

A 10 mètres en arrière, un chantier de mineur pour le creusement du stross ;

A 20 mètres en arrière, un chantier de maçons bâtissant le radier et les pieds-droits de la cunette ;

A 30 mètres en arrière, un chantier de maçons pour l'établissement de la voûte.

Dès que les pieds-droits étaient montés, on établissait la voie définitive.

Pour permettre le passage des wagonnets de déblais produits à l'avancement ou dans le stross à travers les ateliers des maçons, on établissait sur tréteaux une voie franchissant le vide du stross et se prolongeant jusqu'à l'avancement.

Disposition des coups de mine. — Les coups de mine, au nombre de neuf par volée, étaient disposés comme l'indique le croquis, trois par trois, dans des plans verticaux et parallèles, et normaux au front de taille. On les poussait à une profondeur de 0^m,80 à 0^m,90, et on tâchait de faire en sorte que les fonds des neuf trous se trouvent dans un même plan vertical normal à la galerie.

Les coups étaient tirés dans l'ordre des numéros du croquis *fig. 2*.

Pendant un certain temps nous avons fait partir tous les coups de mine ensemble, au moyen d'une machine électrique composée de vingt-deux éléments au bichromate de potasse accouplés en tension ; puis nous avons renoncé à cette manière d'opérer, après avoir reconnu que les coups laissaient moins de culots lorsque nous faisons exploser d'abord les trous du centre, et ensuite ceux de la périphérie.

Les trous de mine étaient percés au moyen de la perforatrice rotative Berthet, dont nous avons déjà donné le dessin.

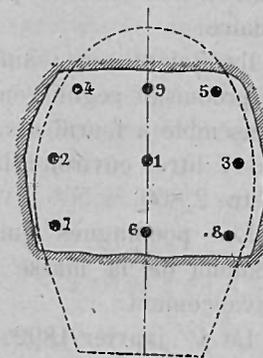


FIG. 2.

A chaque poste il y avait trois hommes à l'avancement se servant de la perforatrice, plus un chef de chantier qui les aidait, mais ne se servait pas de cet outil. Quatre manœuvres aidaient les mineurs à enlever les déblais lorsqu'on revenait au chantier après le tirage d'une volée ; mineurs et aides travaillaient à déblayer le front de taille de façon à ce qu'on puisse remettre en station les affûts des perforatrices ; puis les mineurs se mettaient à percer les trous, et les manœuvres continuaient à charger les déblais.

Il y avait trois postes de huit heures par vingt-quatre heures, et le relèvement des ouvriers se faisait au chantier aux heures fixes de six heures du matin, deux heures et dix heures du soir.

Nous sommes ainsi arrivés à faire trois volées par poste, soit un avancement de 2^m,06 en huit heures. Les chantiers du stross et de la maçonnerie, tant de la cunette que de la galerie, suivaient aux distances précédemment indiquées.

Les terrains traversés dans le tertiaire ont été des argiles, des marnes gréseuses, des bancs de grès tendre (safre), des bancs de poudingue affectant la forme lenticulaire.

Ils étaient secs, sauf au passage des poudingues où il se produisait régulièrement des suintements d'eau, dont l'ensemble a fourni un débit de 1 mètre cube à la minute ou 17 litres environ à la seconde, du kilomètre 0 au kilomètre 2,806.

Les poudingues qui nous obligeaient à reprendre l'emploi de la masse couple ont quelque peu retardé l'avancement.

Le 1^{er} janvier 1892, le puits Saint-Joseph étant foncé jusqu'au niveau de la galerie et étant en relation par un travers-bancs avec l'axe de celle-ci, ce puits fut armé de câbles en fils de fer, et, le 9 janvier, deux galeries étaient commencées à partir du travers-bancs, marchant suivant l'axe de la galerie et se dirigeant l'une vers la Madrague, l'autre vers Gardanne.

La machine de fonçage du puits servit pour l'extraction des déblais, et un ventilateur Ser, établi près de cette machine et mû par une locomobile de 10 à 15 chevaux de force, assura l'aérage des galeries en cul-de-sac, grâce à la cunette bien isolée et utilisée pour le retour d'air. A cet effet, elle aboutissait dans l'un des deux compartiments du puits, séparés par une cloison étanche, et ce compartiment était mis lui-même en relation avec le ventilateur par un conduit maçonné (Voir Pl. VI, fig. 20).

Le 22 mai 1892, les deux attaques conduites l'une vers l'autre par la Madrague et par Saint-Joseph se recontraint au point 2.136,25, et nous constatons que M. Long avait été assez habile dans ses opérations géométriques et la conduite du travail pour que les deux tronçons de galerie, faits simultanément, fussent mathématiquement

en prolongement l'un de l'autre pour la direction et la pente. Au moment de la rencontre, l'attaque allant vers Gardanne était au point 2.755,70.

L'attaque Madrague-Gardanne, poursuivie après ce percement, atteignait 2.810^m,50 le 11 juin 1892. En ce point elle touchait au calcaire.

Les terrains traversés dans les deux tronçons de galerie partant du puits Saint-Joseph ont été :

Entre Saint-Joseph (2.535,87) et 2.136,25 :

Des argiles roussâtres, calcareuses, de....	2.535,87 à 2.300,00
Des argiles gréseuses, de.....	2.300,00 à 2.136,25

Entre Saint-Joseph (2.535,87) et 2.810,50 :

Des argiles calcareuses, de.....	2.535,87 à 2.730,00
Un banc de poudingue, de.....	2.730,00 à 2.786,00
Des argiles grises roussâtres, gréseuses, puis grasses, de.....	2.786,00 à 2.788,50
Et enfin une brèche composée de cailloux et blocs de calcaire à <i>Chama</i> empâtés dans de l'argile rouge, de.....	2.788,50 à 2.810,50

Lors de la reprise des travaux d'avancement de la galerie, après la clôture des formalités d'expropriation :

Le 8 décembre 1890, la galerie était au kilomètre.	0,225,00
Le 1 ^{er} janvier 1892, — —	1,520,50
Le 11 juin 1892, — —	2,810,50
Il avait donc été fait, en dix-huit mois.....	2,585,50
En 1891, l'avancement journalier moyen a été de..	4 ^m ,317

En 1892, du 1^{er} janvier au 11 juin, il a été fait 1.290 mètres, y compris 673^m,25, exécutés par le puits Saint-Joseph.

Entre 1.520,50 et 2.535,87 (puits Saint-Joseph), nous avons obtenu, par attaque, un avancement journalier moyen, muraillement compris, de 4^m,902, avec minimum, en février, de 3^m,590, par l'attaque Saint-Joseph, avec

maximum, en mai, de 6^m,255 par l'attaque Madrague (dans ce mois on n'avait pas eu de poudingue à traverser).

Entre 2.535,87 et 2.810,50, la moyenne d'avancement a été inférieure à 5 mètres, à cause des précautions prises et, en particulier, des soudages faits dans la brèche pour éviter de percer subitement à l'eau, au point de passage du tertiaire à l'infracrétacé.

La rapidité d'avancement peut être attribuée à trois causes principales :

L'emploi des perforateurs à main Berthet;

L'emploi de la dynamite-gomme à forte dose;

Le mode de payement des ouvriers, dont le salaire se composait d'une journée fixe pour un avancement donné avec prime progressive au-delà de cet avancement.

J'ai indiqué déjà la forme et les dimensions tant de la galerie que de sa cunette: j'ajouterai qu'elles ont été murillées sur toute la traversée du tertiaire, mais que l'épaisseur des revêtements en briques de la galerie proprement dite a varié de 0^m,11 à 0^m,33, cette dernière épaisseur étant celle donnée dans les passages où on a rencontré du poudingue toujours un peu aquifère.

Prix de revient. — Je donne ci-dessous le prix de revient pour le creusement du mètre courant de la galerie d'avancement, lorsque celui-ci atteint 6^m,18 en vingt-quatre heures (mai 1892), sans y comprendre les frais accessoires de surveillance, roulage, aérage, etc.

MAIN-D'ŒUVRE	DÉPENSE par poste	DÉPENSE par mètre courant
Mineurs, 1 chef de chantier à 5 francs et 3 mineurs à 4 fr. 25.....	17,75	15,41
Manœuvres, 4 à 3 fr. 50.....	14,00	
Mineurs, primes à partager à égales parts 73 ^{cm} × 0,26.....	18,98	
Manœuvres, primes à partager à égales parts 4/9 × 73 × 0,14.....	4,54	41,41
Explosifs :		
Dynamite-gomme, 12 ^{kg} ,450 à 4 fr. 25.....	52,91	
Mèche de sûreté, 32 ^m ,40 à 0 fr. 032.....	1,04	
Capsules, 27 à 0,041.....	1,11	26,78
Papier-cloche paille, 0 ^{kg} ,5 à 0,23.....	0,12	
Entretien outillage :		
Forgeron, 1/2 journée à 4 fr. 25.....	2,13	
Charbon de forge et acier, environ.....	1,02	1,53
TOTAL.....	113,60	55,13

Les dépenses de muraillement de la galerie et de la cunette (*) et de son plancher étanche ont été de 125 francs par mètre en moyenne, de telle sorte que le prix moyen de la galerie achevée est de 255 francs le mètre courant (sans compter les frais généraux d'installation extérieure pour le transport des déblais, l'aérage, etc.), ainsi qu'on le verra par le tableau suivant :

(*) Les briques valant.....	38 ^f ,00 le mille	} à l'entrée de la galerie, sans compter les frais d'octroi sur 2 kilomètres de la galerie.
Le sable de Saint-Raphaël.....	7 ^f ,00 le mètre cube	
La chaux du Teil.....	22 ^f ,00 la tonne	
Les pierres taillées de Septème.....	3 ^f ,00 le mètre courant	

PRIX DE REVIENT MOYEN DÉTAILLÉ CI-DESSOUS POUR 1891.

CHANTIERS	DÉPENSES	DÉPENSES	PRIX
	partielles	totales	de revient
	francs	francs	francs
Avancement. — Main-d'œuvre			
Mineurs.....	19.181,84		15,53
Manœuvres....	13.134,56		10,63
Avancement de l'année, 1.235 ^m ,23 en 858 postes, soit 1 ^m ,430 par poste et 4 ^m ,317 par 24 heures, en moyenne.			
Position de l'avancement au 31 décembre, 1.520 ^m ,50.			
Stross. — Main-d'œuvre			
Mineurs.....	20.531,69		16,29
Manœuvres....	11.228,19		8,92
Avancement de l'année, 1.250 ^m ,78.			
Position du stross au 31 déc., 1.497 ^m ,00.			
Couronne. — Main-d'œuvre			
Mineurs.....	4.476,60		3,59
Manœuvres....	282,15		0,22
Niches. — Main-d'œuvre : Mineurs.....	348,75		0,28
Transport des déblais.....	13.567,67		10,87
Décharge des déblais.....	4.667,18		3,74
Fournitures et entretien. — Explosifs.....	42.224,85		33,84
Réparation et entretien de l'outillage.....	4.670,53		3,75
Éclairage intérieur et extérieur et graissage des bennes.....	1.489,55		1,19
Bois pour soutènement.....	94,45		0,08
Bois pour les ponts....	517,85		0,42
Fournitures diverses..	94,45		0,08
		136.519,31	109,43
Béton. — Avanc. de l'année, 1.274,49. Main-d'œuv.	6.246,43		4,90
Banquettes. — 1.265,055. —	8.460,44		6,69
Pieds-droits. — 1.264,555. —	2.004,72		1,58
Enduits. — 1.283,50. —	296,95		0,23
Voûte. — 1.246,00. —	18.755,29		15,05
Position de la voûte au 31 décembre, 1.438 ^m ,00.			
Main-d'œuvre.....	265,90		0,20
Fabrication du mortier et approche des matériaux.....	11.811,49		9,47
Fournitures et entretien. — Chaux.....	12.052,90		9,60
Ciments.....	17.641,75		14,05
Moellons bruts.....	11.122,00		8,85
— smillés.....	7.033,60		5,60
Gravier.....	578,25		0,46
Sable.....	8.995,25		7,16
Briques, 33.759,20 — 376,65 de passe-debout.....	33.382,55		26,59
Entretien du matériel et de l'outillage.....	574,70		0,46
Fournitures diverses..	13,15		0,01
Prolongement du plancher, des voies et boisage. Main-d'œuvre.....	1.640,25	139.243,67	110,90
			1,28
A reporter.....	1.640,25	275.762,98	1,28
			220,33

CHANTIERS	DÉPENSES	DÉPENSES	PRIX
	totales	partielles	de revient
	francs	francs	francs
<i>Report</i>	1.640,25	275.762,98	220,33
			1,28
Fournitures : 6.877 traverses chêne.....	22.103,21		17,20
Croûtes pin.....	1.418,92		1,10
Lattes Nord.....	102,50		0,08
Pointes.....	202,40		0,16
Avancement de l'année, 1.284 ^m ,50.		25.467,28	19,82
Surveillance intérieure. — Avancement moyen, perforation et revêtement, 1.251 ^m ,52.		7.580,52	6,05
Ventilation de la galerie. — Main-d'œuvre....	3.420,58		2,74
Fournitures : Charbon.....	2.175,85		1,73
Huiles et déchets de colon.....	401,65		0,32
Diverses.....	524,80		0,43
Magasin et écritures.....		6.531,88	5,22
Assurance des ouvriers.....		1.473,00	1,77
Travaux divers à l'extérieur et divers.....		2.778,80	2,22
		513,01	0,43
TOTAL.....		320.138,07	255,24

Il me reste à dire quelques mots sur deux points particuliers du travail :

1° Le transport des déblais hors de la galerie, ainsi que le transport à pied d'œuvre des matériaux de construction dans la galerie ;

2° L'aéragé des chantiers.

Transport. — La rapidité du déblayage est essentielle.

Jusqu'à 500 ou 600 mètres, le transport des déblais a été fait avec des chevaux ; mais, au delà, nous avons dû chercher un moyen plus économique, et nous avons employé un câble sans fin mù par un treuil à vapeur de 10 chevaux placé à l'orifice de la galerie (Pl. VII, fig. 3 et 4).

Le treuil actionne le câble à l'aide de courroie droite

et courroie croisée, poulies fixes et folles, pour faire marcher le câble dans un sens ou dans l'autre.

Le câble fait un tour et demi sur la poulie motrice à gorge, sans chevauchement, grâce à l'emploi d'un gendarme qui écarte les brins à l'entrée et à la sortie, passe au toit de la galerie, supporté tous les 40 mètres par une petite poulie de 0^m,25 de diamètre, convenablement graissée pour tourner très librement, fait un demi-tour sur la poulie de retour, formant en même temps poulie tendeuse, et revient au treuil par l'autre brin en s'appuyant sur de petits rouleaux disposés tous les 15 mètres au niveau des voies et agencés de telle sorte que le câble ne puisse pas sauter hors d'eux (Pl. VII, *fig.* 13).

Le convoi de six chariots est attaché au brin inférieur du câble par une chainette qui se crochette, d'une part, au premier wagonnet de la rame, d'autre part au câble muni d'un anneau (Pl. VII, *fig.* 14).

A quelque distance du jour, le convoi gravit une petite rampe, puis commence à descendre, en vertu de son poids, une rampe opposée; les chariots gagnent le câble de vitesse; la chainette se détend, et rien n'est plus facile que de décrocher la rame.

Comme le brin inférieur du câble s'efface, d'ailleurs, alors sous la voie, le convoi se rend seul sur une voie de garage à l'extérieur (Pl. VII, *fig.* 1 et 2).

Le convoi vide ou chargé de matériaux destinés à aller au front de taille est accroché à la place du convoi plein, et le machiniste, par une manœuvre de ses courroies, fait marcher le câble en sens inverse.

Le câble sans fin est en acier de 10 millimètres de diamètre; il est allongé tous les 50 mètres de galerie, par tronçons de 100 mètres, au moyen d'épissures; il a atteint ainsi une longueur de 5^{km},800, faisant le transport sur 2^{km},840 de galerie.

La première partie du câble, mise en place en octobre

1891, a duré environ un an, après avoir permis de sortir, en moyenne, 150 tonnes de déblais par jour.

Pour permettre au conducteur du convoi de se mettre en relation avec le machiniste, on a disposé le long de la galerie deux petits fils de laiton parallèles et distants de 15 à 20 centimètres en relation avec des piles Leclanché et aboutissant, par un de leurs bouts, à une sonnerie voisine du treuil. Ces deux fils ne se joignent pas à l'autre bout, et le conducteur du train peut sonner de n'importe quel point du trajet, en touchant simultanément les deux fils avec une réglotte métallique qu'il tient à la main par un manche isolant (Pl. VII, *fig.* 13).

Comme de petites plates-formes attelées au train servent au transport du personnel, on a muni la chaîne du premier chariot, qui est accrochée au câble, d'un appareil de déclenchement instantané à la disposition du conducteur (Pl. VII, *fig.* 14).

Le même treuil, qui actionnait le câble sans fin, était employé à faire gravir aux wagonnets de déblais sortis de la galerie un plan incliné de 0^m,13 par mètre, aboutissant au sommet de la décharge, ce mouvement pouvant s'opérer, la courroie servant à actionner le câble de la galerie étant sur une quelconque des poulies folles ou fixes du treuil, c'est-à-dire le câble en marche dans n'importe quel sens ou au repos (Voir Pl. VII, *fig.* 1, 2, 3, 4, 5 et 6).

Aérage. — L'aérage de la galerie a été assuré par un ventilateur Ser de 0^m,60 de diamètre, actionné par une locomobile placée à l'orifice de la galerie. Le ventilateur aspirait dans la cunette d'écoulement bouchée à son orifice par un écran en tôle formant joint hydraulique, de façon à laisser couler l'eau venant de l'avancement, sans laisser rentrer l'air (Voir Pl. VII, *fig.* 7, 8 et 9).

La cloison d'aérage est formée par le plancher hori-

Ainsi, lorsque la galerie a atteint une longueur de 2 kilomètres et demi environ, nous avons constaté des pertes d'air égales aux $\frac{2}{3}$ du volume débité par le ventilateur, malgré tous les soins pris pour rendre étanche la cloison d'aérage.

D'ailleurs, des expériences semblables, antérieurement faites dans le bassin du Gard, sur l'aérage d'une galerie de grande longueur, comportant une cloison d'aérage formée par un véritable mur de 0^m,50 d'épaisseur, révélaient également de très fortes fuites à travers le mur.

On voit, d'après cela, combien il eût été difficile, sans avoir recours à un puits intermédiaire, comme le puits de la Mure, d'exécuter, avec un aérage suffisant, en s'aidant même de ventilateurs puissants, les 12 kilomètres séparant le puits Saint-Joseph des travaux de Gardanne.

Du puits de la Mure au puits E. Biver la distance est bien encore de 8 kilomètres ; mais il y a lieu d'admettre qu'un tronçon sensiblement égal, soit de 4 kilomètres, de la galerie sera exécuté à partir de chacun de ces deux puits.

Traversée des calcaires secondaires. — Il m'a paru nécessaire de tenir le lecteur au courant de nos connaissances géologiques et hydrologiques, toutes les fois que nous abordions un nouvel ordre de travail.

C'est ainsi qu'au moment de décrire nos premiers travaux, commencés en janvier 1891, nous avons donné les aperçus géologiques que nous devons soit à M. Dieulafoy, soit à M. Oppermann.

Avant de décrire les travaux commencés en juin 1892 dans les roches calcaires, je reprendrai l'étude géologique suivant la coupe de la galerie et l'hydrologie au sein des roches calcaires que nous allons traverser, — ce qui nous permettra de prévoir, dans une certaine mesure, les difficultés à rencontrer du fait de l'eau.

A cet effet, j'extrais ce qui va suivre d'une communication faite par M. Oppermann à la Société scientifique et industrielle de Marseille, dans le premier trimestre de 1894.

Bien que cette communication n'ait été faite qu'en 1894, M. Oppermann avait déjà développé, dans des rapports bien antérieurs à 1894, ses idées sur l'hydrologie de la contrée.

Des travaux faits dans la concession de mine de Saint-Savournin Sud lui avaient permis de préciser ses idées sur l'allure des terrains dans le plan de la coupe de la galerie au sud de Gardanne, et ce qui concerne le terrain tertiaire venait d'être mis en évidence par les travaux de la galerie.

« La galerie a été ouverte dans le terrain miocène.

« Dans son ensemble, ce terrain est imperméable ; cependant les bancs de poudingue donnent parfois lieu à de légères infiltrations.

« Le calcaire a été rencontré au kilomètre 2,809 ; mais on peut dire que la galerie n'y a vraiment pénétré qu'au kilomètre 2,870.

« Le terrain urgonien est séparé du miocène par une brèche formée de blocs calcaires agglomérés par un ciment calcaire et traversée par des filets argileux. — Cette zone de contact, qui a 2 ou 3 mètres d'épaisseur, est, sans doute, constituée par le remplissage d'une faille séparant les deux terrains. La ligne de séparation est très sinueuse ; elle s'infléchit et devient tangente à l'axe de la galerie (Voir la *fig. 3* ci-après).

« La chaîne de l'Etoile est formée par des calcaires jurassiques et crétacés qui sont perméables à divers degrés, de la base au sommet de la série, mais peuvent être considérés dans leur ensemble comme constituant un massif perméable. Ceux qui le sont le plus sont le Corallien (jurassique supérieur), qui couronne les sommets de la

chaîne de l'Étoile, et l'Urgonien (crétacé inférieur), qui forme un plateau légèrement incliné sur le versant sud de la chaîne.

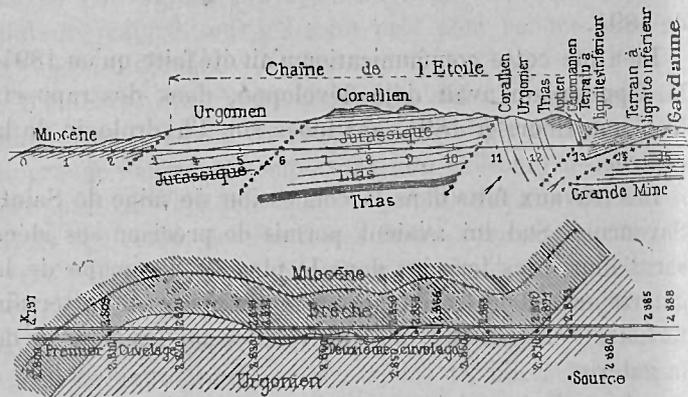


FIG. 3.

« Mais il n'existe aucune couche marneuse assez puissante ni assez régulière, pour constituer au-dessus du niveau de la mer un fond nettement imperméable.

« La galerie traversera ces calcaires jusqu'au kilomètre 13 où elle pénétrera dans le terrain à lignite, et elle recoupera la grande mine au point kilométrique 14,700.

« Il n'est pas probable qu'elle traverse le trias, qui apparaît à la surface, au nord de Simiane. Ce lambeau doit avoir été arraché à la partie régulière du trias située à une certaine profondeur sous la chaîne de l'Étoile, et a été soulevé à cette grande hauteur par le mouvement qui a relevé verticalement le terrain crétacé et l'a reculé obliquement en même temps que le lambeau de terrain à lignite de Gardanne (coupe verticale de la fig. 3).

« *Nappes souterraines dans les massifs calcaires, sources qui en jaillissent.* — Les eaux de pluie, qui tombent sur un massif calcaire comme celui de la chaîne de l'Étoile,

s'infiltreront en grande partie à travers les fissures et les crevasses qui sillonnent en tous sens ces roches dénudées et viennent alimenter des nappes souterraines qui présentent un très grand intérêt, puisque c'est l'une d'elles qui donne naissance aux sources dont il va être question.

« Il est incontestable que, si ces roches calcaires avaient une perméabilité parfaite, c'est-à-dire si les fentes qui les traversent avaient une section très large et se prolongeaient régulièrement jusqu'à de grandes profondeurs et à de grandes distances, la loi hydrostatique des vases communiquants serait applicable aux eaux souterraines qui s'y infiltreront, et la nappe d'eau s'élèverait jusqu'à un niveau formant une surface horizontale passant par le ou les points où la nappe trouverait à s'écouler librement à la surface.

« Les terrains seraient complètement asséchés au-dessus de ce niveau et imbibés d'eau au dessous. Si le massif calcaire plongeait directement dans la mer, comme celui de la chaîne de l'Étoile au-delà de l'Estaque, ce niveau se confondrait naturellement avec celui de la mer.

« Les eaux d'infiltration que la nappe souterraine recevrait à la suite des pluies tombées sur le sol s'écouleraient rapidement vers les sources ou vers la mer et le niveau de la nappe resterait à très peu près invariable.

« Mais il n'en est pas ainsi dans la réalité. Les fissures sont discontinues et irrégulières; elles peuvent être largement ouvertes ou très resserrées. Elles opposent une certaine résistance à l'écoulement des eaux souterraines. Le niveau de la nappe d'eau doit donc s'élever progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du rivage de la mer, ou des sources par lesquelles elle s'écoule (fig. 4 ci-après).

« Ce niveau peut arriver jusqu'au sol, au fond de fractures profondes, et alors Les sources (fig. 4) jaillissent, par lesquelles s'écoule à la surface une partie des eaux d'infiltration reçues par la nappe souterraine. Il peut

même se former, au fond de ces fractures, de véritables cours d'eau qui, loin d'être absorbés par les roches calcaires sur lesquelles ils coulent sont, au contraire, alimentés par les eaux souterraines qui trouvent, dans cette direction, un écoulement plus facile.

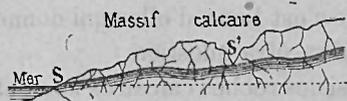


FIG. 4.

« Mais, le plus souvent, les sources jaillissent au contact des calcaires et des terrains imperméables qui retiennent les eaux, les arrêtent dans leur écoulement souterrain vers la mer ou les fonds des vallées, et forcent la nappe à s'élever jusqu'au point où, la ligne de séparation s'abaissant, l'eau peut jaillir à la surface.

« Les terrains imperméables peuvent se trouver en contact avec les calcaires, par suite d'une faille qui les a relevés ou abaissés, ou bien ils consistent en une couche imperméable interstratifiée dont les bords se relèvent (Voir les fig. 5 et 6 ci-dessous).

« Les sources ne jaillissent pas toujours exactement à la ligne de contact, mais généralement un peu en contre-bas, par des fentes qui traversent les terrains imperméables.



FIG. 5.

« Dans les longues périodes de sécheresse, l'écoulement constant, quoique relativement lent, de la nappe d'eau vers la mer ou les sources superficielles, n'est pas compensé par l'apport des infiltrations d'eau pluviale, la surface s'abaisse et, si ces périodes se prolongeaient suffisamment, elle finirait par devenir horizontale et les sources et cours d'eau qui lui doivent leur existence tariraient.



FIG. 6.

« Au contraire, après des pluies abondantes, et surtout après des pluies persistantes, la surface s'élève, et on voit jaillir momentanément des sources nouvelles et couler plus abondamment les sources anciennes.

« En raison de l'extrême lenteur de l'écoulement des eaux souterraines à travers les calcaires perméables, le niveau des nappes souterraines contenues dans ce terrain s'abaisse assez lentement pendant les périodes de sécheresse.

« Au contraire, quand le régime normal est rétabli, le niveau peut s'élever et s'abaisser avec une grande rapidité au moment des fortes pluies, parce que les eaux tombées à la surface parviennent à la nappe souterraine après un trajet vertical relativement court et s'écoulent aussi assez rapidement par les nouvelles sources qui jaillissent alors et par les anciennes dont le débit augmente en raison de l'accroissement de pression dû à la surélévation du niveau.

« Le débit d'une source provenant d'une nappe souterraine semblable peut subir également, par rapport au débit moyen, des variations lentes ou brusques, suivant que ce débit est inférieur ou supérieur au débit moyen...

« Il en résulte aussi cette conséquence que le débit minimum de ces sources ne descend pas extrêmement bas au-dessous de leur débit moyen...

« Le régime des cours d'eau subit des variations d'une bien plus grande amplitude...

« *Nappes de la chaîne de l'Étoile.* — La chaîne de l'Étoile me paraît former un massif montagneux isolé et séparé de la chaîne de la Sainte-Baume et de ses contreforts, notamment du plateau de Regagnas, par les terrains inférieurs imperméables, qui apparaissent sous la forme du trias à Pichauris et à Roquevaire. Il faut donc admettre qu'elle ne reçoit que les eaux de pluie qui tombent sur

la surface qu'elle occupe, laquelle peut être évaluée, entre Septèmes et Valdonne, à 135.000.000 mètres carrés...

« De la masse d'eau qui tombe sur des calcaires très perméables, comme ceux de la chaîne de l'Étoile, on peut admettre que la moitié au moins va alimenter la masse souterraine...

« La moyenne de la hauteur d'eau tombée dans un an pour la période de 1867 à 1892 est de 0^m,558.

« Si nous prenons la moitié de ce chiffre, nous arrivons à un volume total de 88.000.000 mètres cubes environ, reçu tous les ans par la nappe de la chaîne de l'Étoile, ce qui correspond à un débit moyen de 1^m³,200 par seconde.

« Le terrain miocène longe le versant sud de la chaîne de l'Étoile depuis l'Estaque jusqu'à Aubagne.

« La ligne de contact monte rapidement de l'Estaque aux Aygalades où elle atteint la cote 130 au-dessus du niveau de la mer, puis se maintient à ce niveau, ou s'élève encore insensiblement en passant au-dessus de Sainte-Marthe et Château-Gombert. Ce terrain imperméable arrête la nappe d'eau douce dans son écoulement vers la mer et la fait refluer vers le sol.

« Les dernières sources sous-marines de la côte, depuis le cap Couronne, se rencontrent près de l'Estaque; mais à partir de ce point, vers l'est, le niveau de la nappe souterraine s'élève rapidement et, au ravin des Aygalades, près Saint-Antoine, en un point où le terrain miocène s'abaisse un peu, elle se déverse à la surface par de nombreuses sources qui jaillissent de fissures traversant le miocène un peu au-dessous de la ligne de contact des deux terrains.

« D'autres sources ayant la même origine jaillissent plus loin, vers l'est, sur le versant sud de la chaîne de l'Étoile.

« Les plus abondantes après celles des Aygalades sont celles de la Rose. »

Rencontre des eaux. — Le 11 juin 1892, et ainsi que je l'ai déjà dit, tandis que nous poussions l'avancement dans des éboulis en nous faisant précéder de trous de sonde (car nous devons nous approcher de la surface de contact du tertiaire et de l'infracrétacé), nous rencontrâmes un gros bloc de rocher que nous primes d'abord pour un fragment de roche éboulée plus gros que les autres. Néanmoins nous y pratiquâmes un trou de sonde et, comme celui-ci atteignait 1^m,50 de profondeur, la sonde ne rencontra plus de résistance, puis, brusquement, fut projetée en arrière avec une si grande violence que les deux ouvriers qui la manœuvraient furent renversés. L'eau fournit un jet de 10 mètres de longueur. On avait rencontré la première fente aquifère de l'Urgonien.

Les précautions, quant au boisage de la galerie, prises, et le jet canalisé pour éviter les effets de ravinement de l'eau, nous recherchâmes par la formule :

$$Q = S\sqrt{2gh},$$

dans laquelle Q et S nous étaient connus par mesurage, la valeur de *h*.

Nous trouvâmes $h = 81$ mètres.

La cote du terrain à la surface au-dessus du point où l'eau a été rencontrée est 105 mètres, et la cote de la ligne de séparation du tertiaire et de l'infracrétacé à la surface est 145 mètres.

L'eau jaillissant sous une telle pression, qu'allait-il se passer au moment de la reprise de l'avancement, lorsqu'une volée de coups de mine établirait une large communication avec la source ?

N'aurions-nous pas affaire à une très vaste caverne qui, ouverte en grand, donnerait une énorme masse d'eau

animée d'une grande vitesse, que notre cunette ne pourrait contenir, et capable de détériorer la galerie en emportant les planchers, les voies, etc.

D'accord avec M. Oppermann, nous prîmes toutes les mesures nécessaires pour qu'il ne se produisît aucun accident, lors de la mise à jour de la caverne, si elle existait.

Une forte porte-bouclier, manœuvrable à distance, fut établie dans la galerie, boisée à l'avancement à cadres jointifs, et une volée de coups de mine fut tirée au moyen d'une machine électrique par des hommes placés dans le puits Saint-Joseph au-dessus du niveau de la galerie.

Après la volée de coups de mine, nous trouvâmes la fissure découverte. C'était une coupe sensiblement normale à l'axe de la galerie, toute dans le calcaire et ne passant pas dans les éboulis de la partie supérieure de la galerie.

Ses deux parois, très irrégulières, laissaient entre elles un vide de 4 à 5 centimètres, en partie rempli de carbonate de chaux [Voir la *fig. 7* ci-dessous (*)].

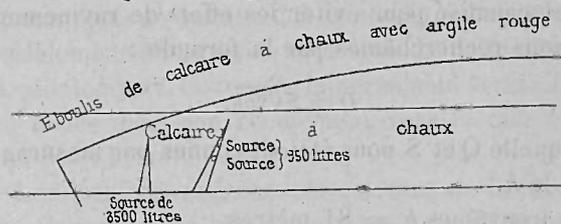


FIG. 7 (*).

Le débit de l'eau, qui était de 2.000 litres par minute avant le tirage des coups de mine, est passé à 5.000 litres par minute.

Nous continuâmes alors à nous avancer en explorant le terrain avec des trous de sonde, et nous pénétrions bientôt en plein calcaire à *Chama*, rencontrant une seconde cassure débitant 950 litres à la minute, à quelques mètres

(*) Sur cette figure, au lieu de « calcaire à chaux », lire « calcaire à *Chama* ».

de la première ; puis, sur 20 mètres de longueur (2.810 à 2.830), la galerie se poursuivit dans le calcaire à *Chama* plus ou moins fendillé et donnant un volume d'eau total de 5.500 à 6.000 litres à la minute (c'est une partie de ce passage que nous avons cuvelé, comme on le verra plus loin (Voir Pl. VIII, *fig. 2*).

A 2.830, l'avancement quitte le calcaire massif pour rentrer de nouveau dans des éboulis absolument semblables à ceux que nous avons traversés déjà et qui précédaient le calcaire à *Chama*.

La galerie traversa ces éboulis sur une dizaine de mètres de longueur sans trace d'eau ; mais, vers 2.843, le sol de la galerie toucha de nouveau le calcaire très fendillé. Ce calcaire s'éleva peu à peu à 0^m,60 et même 1^m,20 au-dessus du sol de la galerie, et cette hauteur fut toujours un peu plus forte sur le parement de droite que sur le parement de gauche de la galerie, ce qui prouve que nous cheminions sur le pied du contrefort de calcaire à *Chama*, très apparent à la surface à l'est de Fontainieu.

L'avancement arrive ainsi jusqu'à 2.850, avec, au bas de la galerie et à droite, le terrain calcaire et à gauche le poudingue à ciment argileux.

Là nous trouvons une grosse source débitant 6.000 litres à la minute, et nous arrêtons momentanément l'avancement.

Avancement dans les roches calcaires et cuvelages.

— En décembre 1892, alors que nous arrêtons la galerie à 2.850 mètres, point où elle entre franchement dans le calcaire, le débit de l'eau était de 12.500 litres par minute.

Toute cette eau provient de sources jaillissant par des fentes ou crevasses rencontrées dans le calcaire.

Le terrain argileux que l'on voit autour ou à côté du calcaire ne donne pas d'eau.

Ici il nous fallait prendre un parti : ou nous résigner à laisser couler l'eau, tout en avançant, quitte à faire baisser la nappe ; mais nous n'étions pas en mesure d'affronter les responsabilités qui résulteraient de cet abaissement de la nappe : c'était risquer de rendre aride toute une vaste contrée, et mieux eût valu renoncer à l'entreprise ; — ou essayer de cuveler, à mesure que nous avancerions, les fissures par lesquelles l'eau viendrait à sourdre.

La théorie de M. Oppermann au sujet de la nappe d'eau régnant dans les calcaires s'impose, et, partant de là, on pouvait penser que cuveler les premières fissures serait inutile, puisque l'on en rencontrerait quelques mètres plus loin de nouvelles en communication avec elles et rendant les cuvelages faits inefficaces, et qu'entreprendre de cuveler toutes les fissures rencontrées serait impossible à réaliser, à cause de la dépense et surtout de la perte de temps qui en résulterait.

Cependant nous ne savions rien de la circulation de l'eau dans la masse calcaire.

On pouvait espérer qu'à la grande profondeur où on creusait la galerie, des calcaires compacts, comme ceux de l'Urgonien, d'origine coralligène, ou les calcaires marneux qui leur sont subordonnés, présenteraient peu de fissures et opposeraient une grande résistance au passage de l'eau dans leur masse serrée. Peut-être ne trouverait-on de l'eau qu'en certains points singuliers, — contacts de terrains, failles, cavernes ; — peut-être ces points singuliers seraient-ils relativement rares, et dès lors disparaîtraient les impossibilités de dépenses en temps et argent ?

Dans la mine de Carmaux, à grande profondeur, j'avais vu de gros bancs de grès, dont l'affleurement était dans un cours d'eau, imprégnés d'eau, presque désagrégés, mais non ruisselants. Les calcaires plus compacts pouvaient n'être même pas mouillés.

D'ailleurs, nous ne pouvions laisser sans les cuveler immédiatement les premières fissures ouvertes, la galerie étant pour partie dans un terrain argileux, sujet à éboulement. Faute de décision, les cuvelages, possibles à l'heure présente, deviendraient impossibles ; l'eau ne pourrait plus être arrêtée, et la nappe baisserait avec le temps, l'avancement fût-il abandonné.

Puisque nous avons pénétré dans la masse calcaire aquifère, malgré les avertissements sur le régime des eaux antérieurs à 1891 et qui n'avaient pas empêché d'entreprendre le creusement de la galerie, le seul parti raisonnable à prendre était donc de cuveler ces premières fissures, comprises entre 2.802,45 et 2.820,85 ; puis de pénétrer en plein dans le calcaire, où nous serions libres, et d'arrêter la galerie quand nous trouverions excessif le nombre de fissures à cuveler, et de nous défendre contre l'écoulement de l'eau de la nappe par l'établissement d'un bon serrement dans la roche solide.

Il fallait se décider immédiatement à faire ce premier cuvelage avant d'aller plus loin, si on voulait le pouvoir faire, pour une autre raison pratique.

Le débit de l'eau était déjà de 12.500 litres. Or on sait que, pour être en état d'établir un cuvelage en un point d'une galerie, il faut pouvoir assécher tout le pourtour de celle-ci, au moins dans les sections où doivent être placées les trusses picotées dont nous parlerons plus loin. Pour cela faire, il est nécessaire d'édifier des batardeaux et de loger des caisses capables de débiter toute la venue dans la galerie, déjà de section fort réduite, où circulent des ouvriers et où on doit manœuvrer des pièces lourdes et volumineuses.

Il y a donc un débit d'eau limite au-delà duquel, dans une galerie de la section de la nôtre, il devient impossible de mettre en place les trusses picotées. Celles-ci ne peuvent, d'ailleurs, être utilement serrées que contre un

terrain en place et solide, et, comme le terrain au toit de la galerie était sujet à délitement et à éboulement, il était urgent, comme je l'ai déjà dit, de prendre une décision.

De 2.830,27 à 2.845, le terrain est presque entièrement calcaire, très solide et peu aquifère : point n'était besoin de le cuveler.

Je dois dire qu'avant de nous décider à continuer notre marche en avant et à entreprendre notre premier cuvelage nous avons sollicité les conseils d'hommes de science, comme M. l'Inspecteur général des Mines Aguillon et M. l'Ingénieur en chef des Mines Oppermann et des Ingénieurs les plus expérimentés dans l'art des mines, comme MM. Marsaut et Saclier, et que nous les avons soumis à notre Conseil d'Administration.

En somme, on verra par la suite que cette eau, que nous avons vu venir avec tant d'effroi pour la réussite de notre entreprise, était de l'eau éminemment potable, que nous avons eu à la capter pour la réserver et qu'elle nous a servi comme force motrice, auxiliaire précieux dans l'accomplissement de notre travail de percement.

Exécution du tronçon de cuvelage de 2.802,45 à 2.820,85. — Je dirai maintenant comment a été construit le tronçon de cuvelage de 2.802,45 à 2.820,85, qui devait pouvoir résister à une pression de 100 mètres d'eau s'exerçant de l'extérieur à l'intérieur.

Et, d'abord, devait-on employer pour sa construction le bois, la maçonnerie ou la fonte ?

Le bois demandait un appareillage de fortes pièces de chêne difficiles à assembler et à rendre étanche dans une galerie horizontale ; il fut donc écarté.

Restaient la maçonnerie et la fonte.

Afin que le cuvelage fût mieux en état de résister à une pression d'eau de 100 mètres, il fut décidé de lui

donner une forme intérieure circulaire, le diamètre intérieur étant la hauteur totale de la galerie, soit 3^m,50.

Si on optait pour la maçonnerie, l'épaisseur à donner au cuvelage se déduisait de la formule :

$$E = \frac{\pi HD}{2(R - \pi H)} \quad (\text{Haton de la Goupillière}),$$

en considérant le cuvelage comme un tube soumis, de l'extérieur à l'intérieur, à une pression de 100 mètres d'eau.

On a :

D, diamètre intérieur.....	3 ^m ,50
H, hauteur piézométrique.....	100 ^m ,000
πH , pression par mètre carré de surface.....	100.000 kg.
H, résistance à l'écrasement par mètre carré des matériaux employés.....	1.200.000 kg.
pour le bon ciment Vicat, soit 120 kilogrammes par centimètre carré à l'écrasement.	

Par raison de sécurité, nous nous serions imposés de ne faire travailler la maçonnerie qu'au quart de sa charge de rupture, et nous avons pris $R = 300.000$ kilogrammes ou 30 kilogrammes par centimètre carré.

Nous avons trouvé ainsi :

$$E = \frac{1.000 \times 100 \times 3,50}{2(300.000 - 100.000)} = 0^m,875.$$

Cette valeur de 0^m,875, étant l'épaisseur minimum à donner à l'anneau, devait être forcée et portée à 1 mètre ; il en résulterait une épaisseur totale de maçonnerie de 1^m,20 avec le revêtement intérieur en briques de 0^m,20.

Cette forte épaisseur nous conduisait à un diamètre extérieur de 6 mètres environ, nécessitant de gros travaux au rocher et de très grands vides dans les parties peu solides et plus ou moins ébouleuses du terrain argileux.

D'autre part, faire cette maçonnerie, couler le béton à sec pour qu'il ne soit pas dilué par l'eau courante, faire du bon travail avec cette masse d'eau était loin d'être facile. Aussi avons-nous renoncé à la maçonnerie sur ce point; on verra que nous l'avons employée avec succès dans le rocher massif et que son coût est inférieur à celui de la fonte.

Nous nous décidâmes donc pour la fonte : la construction d'un cuvelage en fonte en plusieurs anneaux, avec joints au plomb et assemblage par des boulons, devant constituer un travail sûr, solide et durable. Nous avons calculé l'épaisseur du métal, comme dans le cas d'un corps de chaudière soumis, de l'extérieur à l'intérieur, à une pression de 10 kilogrammes par centimètre carré, en employant la formule de Demanet :

$$E = \frac{r \times 1.000H}{R - 1.000H}$$

r, rayon intérieur du cuvelage.....	1 ^m ,635
R, résistance de la fonte.....	6.000.000 kg.
H, pression.....	100 m. d'eau.

nous avons trouvé :

$$E = 30 \text{ millimètres.}$$

Le fondeur a même fourni une épaisseur moyenne de 35 millimètres.

De nombreuses nervures et brides intérieures augmentent la sécurité.

Le tronçon de cuvelage, de 18^m,42 de longueur et de 3^m,43 de diamètre intérieur, se compose, comme le montre la Pl. VIII, *fig. 1*, de onze anneaux de 1^m,50 chacun de longueur et de quatre trousse picotées dont deux à chaque extrémité du cuvelage. Chaque anneau est muni, suivant ses deux circonférences extrêmes, de brides pour son assemblage avec les anneaux voisins; il est formé de huit segments assemblés entre eux, grâce à des brides

intérieures dressées et disposées suivant les génératrices. Chaque segment pèse environ 800 kilogrammes, ce qui donne, pour l'anneau complet de 1^m,50 de longueur, un poids de 5.830 kilogrammes.

Les deux segments inférieurs de chaque anneau portent des bossages pour assises des colonnettes devant supporter les traverses du plancher; les deux segments qui sont immédiatement au dessus portent des supports pour les traverses des voies.

Pour avoir des assemblages parfaits, on a opéré comme suit : les brides des différents segments ont été dressées au rabot, puis assemblées à l'atelier avec des boulons alésés.

L'anneau ainsi obtenu était fixé sur le plateau d'un tour en l'air pour le dressage des brides extrêmes, que l'on obtenait ainsi bien parallèles. Avant de tout repérer et de faire le transport par segment dans le fond de la galerie pour le montage, on présentait la bride de l'anneau suivant sur la bride de l'anneau à emporter de l'atelier, pour marquer exactement la place des trous qui devaient ultérieurement servir à l'assemblage de ces deux anneaux.

Montage. — La première trousse picotée étant supposée mise en place, on fixait à sa suite le premier anneau en commençant par les deux segments inférieurs qui peuvent se trouver dans l'eau, mais dont on soulage le poids en les faisant porter sur des pierres; ces deux segments étaient assemblés entre eux sur le plancher de la galerie, descendus au moyen de palans, puis boulonnés sur la bride de la trousse.

On plaçait ensuite à bras d'hommes les deux segments porte-plancher des côtés, puis les deux segments qui viennent immédiatement au-dessus d'eux.

Restait à poser les deux segments supérieurs, assem-

blés entre eux et amenés sur un chariot de hauteur convenable et que l'on faisait rouler sur un pont volant en avant de la dernière bride placée. On soulevait les deux segments avec quatre vis appartenant au chariot dans un vide fait au toit de la galerie un peu au-dessus du cuvelage, puis on les ramenait en arrière jusqu'à ce qu'ils soient au-dessus et à l'aplomb de la place qu'ils devaient occuper, et enfin on les descendait avec les vis exactement à cette place (Pl. VIII, *fig.* 7 et 8).

Tous les joints étaient faits au plomb en feuilles de 3 millimètres; ils étaient serrés à l'aide de nombreux boulons de 30 millimètres de diamètre ajustés avec joints au minium. Le plomb que le serrage des boulons faisait cracher était très soigneusement maté. Nous avons obtenu un assemblage parfaitement étanche.

La mise en place d'un anneau complet demande un travail de dix heures pour six hommes, en supposant les matériaux à pied d'œuvre, la galerie excavée convenablement et à sec.

La pose d'un anneau terminé, nous le garnissions extérieurement d'un béton de ciment remplissant exactement les vides entre la fonte et le terrain. Ce béton forme un deuxième anneau de 0^m,15 à 0^m,20, qui consolide le cuvelage.

En regard des principales sources, nous avons eu soin de laisser dans les anneaux des ajutages de 0^m,150 de diamètre intérieur; par lesquels s'écoule l'eau librement et sans pression pendant l'exécution du travail et pouvant être fermés plus tard par des robinets ou de simples bouche-trous (Pl. VI, *fig.* 8).

Les trusses picotées terminant le cuvelage à chaque extrémité ont été construites d'après les procédés ordinaires que l'on sait, dans une partie du terrain solide et étanche; elles furent composées de deux robustes anneaux en fonte, de même diamètre intérieur que les précédents,

mais de 0^m,200 seulement de longueur avec 0^m,250 de hauteur de brides.

Pour dresser notre personnel, nous priâmes les mines d'Anzin de nous envoyer deux de ses anciens employés, habitués à ce genre de travail.

Pour que la mousse fût bien régulièrement pressée en tous points, nous donnâmes au pourtour de ces trusses une forme absolument semblable à celle du terrain après sa préparation à la pointerolle (Pl. VIII, *fig.* 4). Cette précaution est essentielle.

La trousse picotée terminant le cuvelage peut être placée après que tous les anneaux de celui-ci ont été mis en place. On peut aussi la mettre en place avant ceux-ci; mais on conçoit que les deux trusses picotées du commencement et de la fin du cuvelage, occupant des positions où elles sont immuables, il soit impossible de raccorder le dernier anneau avec la dernière trousse picotée par rapprochement au moyen de boulons. On laisse entre la bride du dernier anneau et celle de la dernière trousse un intervalle de 0^m,30 environ, et l'on ferme le cuvelage par un anneau de raccordement en bois de chêne de cette épaisseur, formant un polygone à vingt pans, soigneusement assemblés et ajustés sur place, puis calfatés (Pl. VIII, *fig.* 5).

Le cuvelage fut fermé pour l'essayer, puis réouvert. On constata que, pendant le temps de sa fermeture, la source de l'avancement donnant 6.000 litres, depuis le 17 décembre 1892, n'avait pas varié.

Le 1^{er} février 1893, l'avancement fut repris. Le front de taille de la galerie se trouva bientôt en plein calcaire peu compact, composé de cailloux et de blocs plus ou moins liés par un ciment calcaire, et fissuré dans tous les sens. C'était une véritable éponge de laquelle l'eau sortait de tous côtés.

Il fallut dix jours, du 1^{er} au 10 février, pour avancer

de 8 mètres, où l'on mit à découvert des sources débitant 23 mètres cubes, de telle sorte que le débit de la galerie passa de 12 mètres cubes 500 litres à 35.640 litres par minute.

En présence de ces masses d'eau toujours croissantes, nous décidâmes de continuer le cuvelage métallique ; mais, comme l'espace compris entre 2.820,27 et 2.850 ne donnait pas d'eau, nous essayâmes de ne pas le cuveler, et nous plaçâmes la trousse picotée, origine du second cuvelage, un peu avant 2.850, à 2.846,47.

En ce point, le calcaire dur à *Chama* occupe la moitié inférieure de la section de la galerie, et les argiles grasses occupent la moitié supérieure.

Lors de la mise en charge du premier tronçon de cuvelage, nous avons reconnu que la trousse picotée, faite dans le calcaire compact à 2.820,85 était étanche, mais que celle placée au commencement de ce tronçon, à 2.802,45 dans les argiles, laissait à désirer, comme il y avait lieu de le craindre.

Nous avons donc à redouter, pour la trousse à la cote 2.846,47, le manque d'étanchéité de la partie supérieure du terrain, et nous nous résolûmes, pour parer autant que possible à cette difficulté, à construire un anneau en maçonnerie en arrière de la trousse, cet anneau ayant 3 mètres de longueur et 1^m,20 d'épaisseur. Il devait embrasser sur le haut les $\frac{2}{3}$ environ de la circonférence de la galerie, composée de terrains argileux, et reposer en bas par redans successifs sur le calcaire dur et étanche (Voir, Pl. VIII, *fig. 1*, le dessin du cuvelage construit entre le kilomètre 2.830 et le kilomètre 2.884,93, et la coupe des terrains cuvelés, Pl. VIII, *fig. 2*) (*).

Nous avons, de plus, jugé prudent de placer à 2.827,20,

(*) Le travail de cuvelage entre 2.846,47 et 2.884,93 fut particulièrement difficile ; la hauteur d'eau atteignait 0^m,90, et l'on dut procéder par l'emploi de batardeaux construits entre deux sources successives.

dans une partie en plein calcaire, une trousse picotée de secours qui nous permit de prolonger le cuvelage jusque-là, dans le cas où la trousse à 2.846,47 ne serait pas étanche. — Nous avons construit cette trousse tout de suite, avant d'être gênés et peut-être empêchés de la faire par des venues d'eau trop importantes, ne permettant plus de mettre, à l'aide de batardeaux et de caisses en bois, le pourtour de la galerie à sec. Elle ne nous a pas été utile ; toutefois, nous avons dû prolonger jusqu'à 2.830 le cuvelage en maçonnerie.

L'avancement, que nous avons laissé à 2.887 mètres le 12 septembre 1893, fut repris vers la fin de mars 1894 ; il s'est maintenu jusqu'au 21 juin 1894 dans le calcaire à *Chama* ; il atteignait, à cette époque, 2.950 mètres.

Dans ce parcours de 63 mètres, de nouvelles sources ont été rencontrées, donnant ensemble un débit de 10.000 litres à la minute, de telle sorte que le débit total de la galerie se trouvait porté à 50.016 litres par minute, et nous dûmes cuveler en fonte entre 2.884,93 et 2.891,68, et entre 2.898 et 2.910. Pour quelques sources isolées, sortant de petites cavernes à périmètre bien limité et situées en plein calcaire, nous tentâmes de les aveugler en partie par des travaux peu coûteux, tels que des picotages en bois, et, en fait, nous avons ramené le débit de la galerie de 50.016 litres à 47.664 litres par minute. Nous paraissions, du reste, entrer dans un terrain de moins en moins aquifère.

Le laps de temps écoulé entre le 11 juin 1892 et le 21 juin 1894 — deux ans — nécessaire pour établir les premiers cuvelages et faire progresser la galerie de 150 mètres (2.800 à 2.950) indique suffisamment l'importance des difficultés rencontrées pour la construction de ces premiers cuvelages. Mais nous avons obtenu ce résultat, d'une importance capitale, de pouvoir réduire, en fermant les cuvelages, à 10.800 litres par minute le débit de

la galerie, qui eût été de 50.016 litres, si les cuvelages n'avaient pas été exécutés. Nous échappions à toute critique au sujet du soutirage des eaux de la surface.

Emploi de l'eau sous pression et de l'électricité pour le creusement de la galerie. — Depuis que nous avons pénétré dans les roches calcaires de l'infracrétacé, deux difficultés inconnues dans le tertiaire s'étaient présentées dans notre travail d'avancement provenant de l'eau et de la dureté de la roche; nous les avons naturellement prévues, et nous avons dû nous préoccuper de rechercher les moyens de faire un avancement rapide en employant un procédé de perforation mécanique, car, à la main ou avec nos petits perforateurs à main, l'avancement quotidien n'aurait guère dépassé 2 mètres.

Nous avons d'abord pensé à l'air comprimé dont nous avons fait, ailleurs, longtemps usage. D'ailleurs, l'emploi, comme moteur, de l'eau sous pression retenue par les cuvelages s'imposait.

Les manomètres installés sur les tubulures des cuvelages indiquaient invariablement, depuis près de deux ans, une pression de 8 kilogrammes. Point de doute à avoir sur la parfaite constance de la force motrice à obtenir par l'utilisation de cette eau. D'ailleurs, l'écoulement de 1 litre d'eau par seconde, sous cette pression, correspondait sensiblement à un cheval-vapeur, et nous savions que le cuvelage, de 2.898 à 2.910, sur lequel nous comptions prendre la force motrice, débitait, toutes tubulures ouvertes, 5.220 litres par minute.

Cependant l'expérience nous a fait voir que l'eau ne conserve la pression de 8 kilogrammes sur un cuvelage que si on ne laisse écouler que $1/4$ de la quantité d'eau qu'il peut débiter à gueule bée par ses tubulures, par seconde. La force motrice disponible était donc de 23 chevaux sur le cuvelage 2.898 — 2.910.

C'est en voyant travailler une perceuse électrique à l'arsenal de Toulon que je songeai pour la première fois à l'emploi possible dans notre travail de la perforatrice Bornet mue électriquement; j'avais employé autrefois la perforatrice Bornet à Carmaux, et je la savais capable d'un bon travail dans une roche homogène, de dureté moyenne comme le calcaire, et ne contenant pas, si ce n'est exceptionnellement, d'éléments durs comme des cailloux de silex, etc.

Une perforatrice en batterie, une dynamo mobile disposée sur le côté de la galerie, un flexible de la dynamo à la génératrice, tel était l'appareil suffisamment simple et portatif qui me paraissait indiqué.

L'emploi de l'eau comme force motrice, réduisant le coût de celle-ci à zéro, nous dispensait de rechercher si un autre système de perforation pouvait être plus économique au point de vue de la dépense de force motrice; je ne le crois pas, d'ailleurs, le forage par rotation consommant, comme on le sait, moins de force que la perforation par percussion. Nous ferions de la perforation rotative avec de bon acier, sans avoir besoin d'employer du diamant noir, et nous demeurions dans le domaine des choses simples et pratiques. Il suffisait que nous pussions avoir un tel système à percer les trous avec une suffisante vitesse — semblable à celle que nous obtenions dans le tertiaire avec nos perforateurs à main, environ $0^m,10$ par minute.

Des expériences poursuivies, en 1894, dans la galerie, par MM. Rocour, représentant de M. Bornet, Dubs, ingénieur-électricien, attaché à la Société générale de Tramways à Marseille, Long, ingénieur de la galerie, et moi, dans un moment où nous disposions d'une petite installation électrique, nous démontrèrent que l'on pouvait avec la perforatrice Bornet, mue électriquement, percer un trou de 35 millimètres de diamètre et de 10 centimètres de profondeur, en une minute, dans une roche comme le calcaire à *Chama* de l'Urgonien.

Seulement, comme la roche était humide et que la boue produite dans le fonçage empâtait la mèche hélicoïdale et rendait le travail plus difficile, j'indiquai qu'il fallait substituer aux mèches hélicoïdales des fleurets ronds, à trou central, par lequel on pourrait injecter constamment de l'eau au fond du trou en voie de percement, ainsi que cela se fait dans le sondage par le procédé Fauvel. Nous avons remarqué aussi que les flexibles se détérioraient trop facilement.

Fort de cette expérience, MM. Dubset Rocour firent, en 1894, avec le concours de la Société d'Oerlikon, pour la Société d'Assainissement de Marseille, une installation de perforation électrique. Il s'agissait de creuser une galerie dans le calcaire à Mazargues. Ils employèrent les courants continus ; mais ils durent placer sur un chariot trois perforatrices ; chaque perforatrice mue par une dynamo faisait corps avec celle-ci.

Lors d'une visite que je fis à cette installation, M. Dubs me fit part du programme par lui conçu pour résoudre le problème de la perforation électrique dans notre galerie, en réalisant les conditions de vitesse déjà énoncées et en n'employant que des appareils robustes et capables de bien se comporter dans notre galerie toujours très humide.

Il emploierait les courants triphasés, séparerait perforatrices et dynamo-motrices, et actionnerait les premières par les dernières au moyen de tiges métalliques extensibles et durables.

Cette installation, essentiellement robuste, devait, d'ailleurs, permettre de porter le courant à très longue distance, au besoin 6 kilomètres du point où serait placée la génératrice, c'est-à-dire de nos cuvelages.

Bien que les courants triphasés fussent encore peu connus, M. Dubs assurait qu'ils offriraient, sur les courants continus, de très sérieux avantages :

Grande simplicité des appareils générateurs et moteurs, notamment absence complète de collecteurs et de balais dans les moteurs ;

Transformation extrêmement facile du courant triphasé au moyen de transformateurs statiques de dimensions très réduites, simples et robustes, à l'encontre de ceux nécessaires pour la transformation des courants continus, qui sont coûteux, délicats et encombrants ;

Enfin, particularité très précieuse dans notre cas particulier, consistant en ce que la vitesse du moteur triphasé, qui ne dépend que de la fréquence du courant et du nombre de pôles du moteur, est sensiblement constante, d'où cette conséquence que, sous une charge supérieure, il n'y a pas ralentissement, mais arrêt brusque.

Or la nature du travail des perforatrices comporte des variations considérables du couple résistant (coincement du fleuret, rupture du taillant, etc.), et le couple peut dépasser trois à quatre fois sa valeur normale.

Dans un pareil cas, le moteur triphasé refusera tout simplement de continuer son travail. Il s'arrêtera brusquement ; l'ouvrier averti interrompra le courant, et le moteur ne souffrira en aucune façon.

Le moteur à courant continu, au contraire, peut fonctionner sous des charges très variables, dépassant deux ou trois fois celle normale. Tout se traduira par un ralentissement ; mais, comme l'ouvrier n'est pas toujours juge de la limite de charge compatible avec la sécurité du moteur, ce dernier est exposé à être détérioré rapidement par un échauffement excessif. Le moteur à courant triphasé peut donc seul être mis entre les mains d'ouvriers inhabiles ou inexpérimentés.

A l'époque où cette installation fut décidée, la perforation électrique était peu répandue. On connaissait la Van Depoele surtout par les journaux ; un ingénieur que j'avais prié de me faire connaître tout ce qui avait été exposé à

Chicago n'avait pu nous y trouver un appareil pratique. Après un voyage en Angleterre, où j'accompagnais un de mes administrateurs, M. Gérard, et où nous vîmes la perforatrice Steavenson mue par l'air comprimé, la vapeur et l'eau, fonctionnant dans une mine de minerai de fer, après avoir vu fonctionner à Charleroi la perforatrice à percussion de M. Dulait, qui a fait ses preuves, depuis cette époque, notamment à Privas (Ardèche); après avoir reçu des offres pour l'emploi de la perforatrice Brandt, déjà employée avec succès pour le percement du tunnel de l'Arberg, nous fîmes partager au Conseil d'Administration de notre Société notre conviction que M. Dubs nous offrait, pour notre cas spécial, une installation équivalente, sinon supérieure, à tout ce qui nous était proposé; et, de plus, ce qui était très précieux pour nous, appelés à nous servir d'appareils peu connus, M. Dubs s'offrait de nous aider de son concours dans le courant du travail, si cela devenait nécessaire. La commande de l'installation fut faite en octobre 1895, et nous étions en mesure de l'essayer en place, en janvier 1896.

M. Dubs a, dans une conférence du 19 mars 1896, à la Société scientifique et industrielle de Marseille, dont je donnerai plus loin des extraits, décrit, de la façon la plus complète et la plus intéressante, les appareils composant l'installation de perforation électrique de la galerie de la Mer.

Je dois dire, d'abord, que notre installation comprend :

Une turbine à action directe (type Pelton), actionnée par l'eau prise aux cuvelages à la tension de 8 kilogrammes environ, accouplée directement à une dynamo-génératrice à courants triphasés sortant des ateliers d'Oerlikon avec excitatrice et tableau d'appareils, une ligne de conducteurs à fils nus, un chariot portant trois perforatrices avec leurs moteurs et les accessoires nécessaires. La turbine est à action directe avec régulateur automatique de vitesse.

La dynamo génératrice, du système triphasé, est munie d'une excitatrice. Elle est capable d'absorber 50 chevaux à la vitesse de 600 tours et de fournir une énergie électrique de 33.000 watts à une tension simple de 110 à 120 volts, sur chacune des trois branches du circuit.

La ligne de conducteurs se compose de trois fils de cuivre nu, recuit, de 8 millimètres de diamètre et de haute conductibilité, avec isolateurs au toit de la galerie.

Avec une perte maximum de tension de 20 p. 100, ces conducteurs permettent d'actionner le chariot jusqu'à une distance de 1.800 mètres de la station génératrice sans l'emploi de transformateurs.

Le chariot des perforatrices est établi pour une galerie de 2^m,40 de largeur sur 2^m,20 de hauteur et pour une voie de 526 millimètres d'écartement entre rails. Il porte trois perforatrices rotatives avec leurs moteurs triphasés de 3 chevaux chacun, agissant par l'intermédiaire d'engrenages et de tiges extensibles portant des joints universels à leurs extrémités.

Les perforatrices ont une course de 1^m,100 et permettent de forer des trous jusqu'à 45 millimètres de diamètre, à n'importe quelle place du front de taille et jusqu'à 10 centimètres au plus des parois.

Les perforatrices sont munies de fleurets creux à injection d'eau.

L'installation comprenait encore une petite pompe pour l'injection de l'eau dans les fleurets; nous l'avons remplacée par un tuyau prenant l'eau sous pression sur un cuvelage, et un ventilateur pour chasser les fumées après le tirage des coups de mine, reconnu inutile.

MM. Dubs et Rocour (Bornet) garantissaient :

1° Pour la turbine, une puissance effective de 50 chevaux sur l'arbre avec une pression d'eau de 6 à 7 kilogrammes à l'admission et avec un débit d'eau de 73 à 85 litres par seconde, à la vitesse de 600 tours par minute,

et une variation de vitesse, de zéro à pleine charge, ne dépassant pas 5 p. 100;

2° Pour la dynamo génératrice, une énergie électrique de 33.000 watts à 600 tours et 110 à 120 volts dans chaque circuit avec une puissance sur l'arbre de 50 chevaux effectifs, sans échauffement anormal en service continu, et, à moins de projection directe d'eau sur la dynamo, la possibilité pour celle-ci de supporter sans danger l'humidité de la galerie;

3° Pour les conducteurs, l'absence de danger au contact accidentel par les hommes, une perte de tension ne dépassant pas 20 p. 100, pour une distance maxima de 1.800 mètres sans emploi de transformateurs, et au-delà de 1.800 mètres jusqu'à 6 kilomètres, au moyen de transformateurs;

4° Pour le chariot et les perforatrices, une vitesse de perforation effective, dans le calcaire dur et compact de la galerie, de 9 à 10 centimètres à la minute, en moyenne, et pour chacune des trois perforatrices, forant des trous de 45 millimètres de diamètre, même dans le cas où trois chariots, de trois perforatrices chacun, fonctionneraient simultanément.

MM. Dubs et Rocour garantissaient, en outre, qu'avec un seul chariot de trois perforatrices en action, il resterait sur la dynamo génératrice une énergie électrique d'au moins 22.000 watts, soit d'environ 33 chevaux sur l'arbre de la turbine, énergie pouvant servir pour la traction électrique des wagonnets de déblais au moyen d'une petite locomotive électrique.

Des essais entrepris, le 7 février 1896, ont démontré que les trois perforatrices fonctionnant simultanément absorbent, pertes de lignes comprises, une énergie de 6.600 watts sur la dynamo.

Le rendement de cette dernière étant de 90 p. 100, le travail de la turbine a été, dans ces conditions, de

$$\frac{6.600}{736 \times 0,9} = 10 \text{ chevaux effectifs en nombre rond.}$$

On voit que chaque perforatrice en marche ne demande sur la turbine qu'une force de 3,3 chevaux, toutes pertes comprises.

La perte de ligne, due à la résistance des conducteurs, intervient dans les pertes totales pour 1 p. 100 environ par 100 mètres de longueur, et dans les conditions d'exécution existantes.

J'ajouterai ici, après trois ans de fonctionnement de cette installation, qu'elle nous a donné toute satisfaction.

Description des appareils de perforation électrique. — J'emprunte à M. Dubs, d'après sa conférence de 1896, à la Société scientifique industrielle de Marseille, la description suivante de nos appareils de perforation électrique.

« *Turbine.* — La turbine, provenant des ateliers de MM. Escher, Wyss et C^o à Zurich, est du système à action directe et à arbre horizontal. Elle se compose essentiellement d'une roue en fonte, munie à sa circonférence d'un certain nombre d'augets en forme de cuiller, sur lesquels est dirigé tangentiellement le jet d'eau réglé par une languette actionnée par le régulateur. Ce genre de roue est connu sous le nom de roue Pelton (Voir ci-après le dessin *fig. 8*, destiné surtout à expliquer la régulation de la turbine, et voir pl. IX, *fig. 5*, le dessin complet de la turbine).

« Dans ce genre de turbine, l'eau sous pression agit uniquement par sa force vive, la forme des augets étant d'ailleurs étudiée en vue de la meilleure utilisation possible de l'énergie. Il s'agit, dans l'espèce, de diminuer graduellement, jusqu'à zéro, la vitesse des molécules d'eau

depuis le moment où elles frappent sur les augets jusqu'au moment où elles quittent ces derniers.

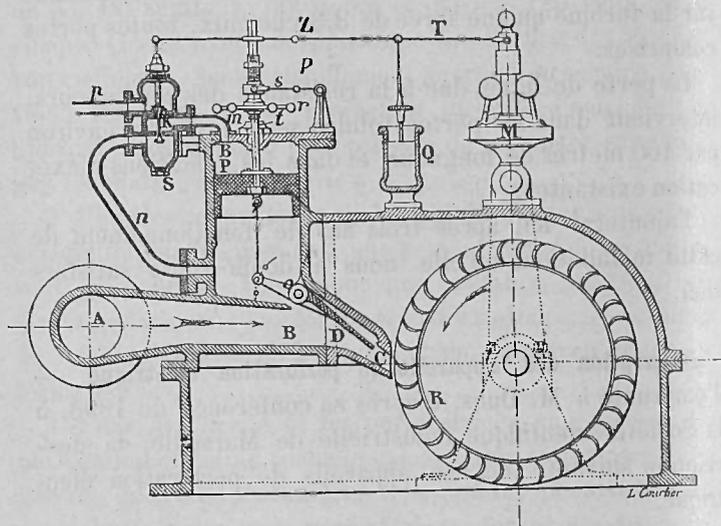


FIG. 8.

« La régulation de la vitesse des turbines est un problème assez délicat et fort difficile à résoudre. En effet, le réglage rapide, dans des limites très étendues, de l'admission d'eau sous forte pression, nécessite une énergie qui ne peut plus, comme dans le cas d'une machine à vapeur ou d'un moteur à gaz, être empruntée directement au régulateur à force centrifuge. Ce genre de régulateur ne peut être rendu puissant qu'au détriment de sa sensibilité, et il faut donc, dans le cas de la turbine, avoir recours à un servomoteur.

« Dans la turbine Escher-Wyss, le problème est résolu, d'une façon assez simple et efficace, au moyen des dispositions suivantes.

« L'eau sous pression arrive, par les tubulures du cuvelage, une tuyauterie en fonte et une valve, à la tubulure A

de la turbine; cette tubulure, placée sur le bâti, dirige l'eau dans un cylindre B. La partie inférieure de ce cylindre porte un bec C, dans lequel est montée une languette D pouvant osciller autour du point O. Cette languette, qui règle l'admission d'eau sur la roue à augets R, est reliée au piston P, qui se meut dans le cylindre B. Ce piston porte à sa partie supérieure une tige filetée *t*, qui passe par un presse-étoupe, et porte une petite roue-écrou *n*, qui commande le levier *s*. Cette tige *s* est reliée par une autre tige *p* au bras T du régulateur M. Ce bras commande la tige K de la bouteille de distribution S.

« Le mouvement du bras T est amorti par un amortisseur Q, garni d'huile, et dont le piston porte un orifice de section réglable à volonté.

« Dans la position des différentes pièces représentées par le dessin *fig. 8* (page 400) l'eau arrive dans le cylindre B, traverse le tuyau *n*, se rend dans la bouteille de distribution S, traverse la soupape de cette dernière et entre dans la partie supérieure du cylindre B par le tuyau *m*. Le piston P se trouve donc équilibré, et, sous l'influence de la pression, la languette D se soulève et laisse échapper l'eau sur la roue à augets R. La turbine se met en mouvement, et la vitesse augmente jusqu'à une certaine limite, déterminée par la tension du ressort du régulateur M.

« Le bras T, oscillant autour du point Z, est entraîné par la douille du régulateur; sitôt que la vitesse dépasse la limite de régime, la tige K s'abaisse et ferme l'admission d'eau par le tuyau *n*.

« Le piston P, dont l'équilibre est alors rompu, se soulève sous l'influence de la poussée inférieure, ce qui a pour effet de fermer plus ou moins l'orifice du bec C par la languette D.

« La vitesse de la turbine diminue alors, jusqu'au moment où elle descend au-dessous de la vitesse de

régime ; à ce moment, le régulateur soulève la tige K, l'eau rentre dans la partie supérieure du cylindre B, et ainsi de suite jusqu'à ce que le régime d'équilibre soit établi.

« Le mouvement de la tige K, commandé par le régulateur, est asservi à celui du piston P par l'articulation *p* : le piston P, avec la bouteille de distribution S, constitue donc un véritable servomoteur.

« Ce régulateur s'acquitte assez bien de sa tâche : les variations de vitesse aux différentes charges ne dépassent pas 5 p. 100, sauf dans le cas de décharge totale brusque, où elles atteignent momentanément 10 p. 100, ce qui est d'ailleurs dans la nature des choses.

« L'eau, après avoir accompli son travail sur la roue à augets, est projetée sur un écran qui la renvoie vers le bas ; elle s'écoule alors directement, par une ouverture pratiquée au plancher, dans la cunette de la galerie qui la conduit à la mer.

« La turbine tourne à une vitesse de 600 tours, qui est celle de la dynamo qu'elle commande directement ; son rendement est d'au moins 75 p. 100 ; elle consomme donc, pour la puissance de 50 chevaux effectifs et à 8 kilogrammes de pression, 63 litres d'eau par seconde ; elle est toutefois construite pour fournir également 50 chevaux à une pression de 6 kilogrammes seulement ; dans ce cas, la consommation d'eau monte à 84 litres par seconde (*).

« L'arbre de la turbine est monté dans trois paliers, munis de graisseurs à bagues, fort économiques. Ces graisseurs, une fois garnis, n'ont presque plus besoin de surveillance ; ils assurent un graissage parfait pendant des mois, sans aucun renouvellement de l'huile.

(*) Je dois dire que la parfaite auto-régulation de la turbine est difficile à obtenir, et que nous avons toujours laissé un homme en surveillance près de la dynamo génératrice et de la turbine.

« *Accouplement.* — Le manchon d'accouplement entre la dynamo et la turbine mérite d'être mentionné.

« Dans toute installation électrique il convient d'isoler le plus parfaitement possible le bâti des dynamos du sol, et cela d'autant plus que la tension du courant est plus élevée ou que l'isolement des fils de la dynamo est susceptible d'être dérangé par des causes extérieures : humidité du local, décharges atmosphériques. On évite ainsi le danger de courts-circuits accidentels entre les enroulements et le bâti, qui peuvent détériorer rapidement une machine.

« Dans notre cas, l'extrême humidité de la galerie commandait des précautions spéciales, qui consistaient à renforcer l'isolement des enroulements et à isoler complètement le bâti de la dynamo du sol. Dans ces conditions, le manchon d'accouplement entre l'arbre de la dynamo et de la turbine devait présenter, en dehors de sa résistance mécanique, les qualités isolantes nécessaires.

« Cet accouplement se compose de deux manchons concentriques (*fig. 9*), calés l'un sur l'arbre de la dynamo, l'autre sur celui de la turbine et réunis par

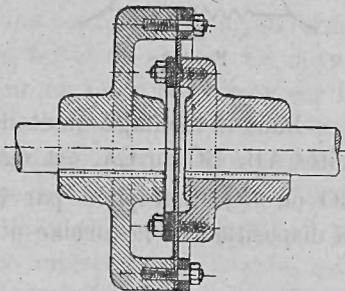


FIG. 9.

un fort disque en cuir, serré sur les manchons par des anneaux boulonnés. Ce genre d'accouplement est doué, en dehors de ses qualités isolantes, d'une certaine flexibilité ; il fatigue donc moins qu'un manchon rigide les arbres des machines et les paliers.

« *Dynamo génératrice.* — Je rappellerai en quelques mots que le système dit à courant triphasé n'est autre

chose qu'une combinaison de trois courants alternatifs, décalés l'un par rapport à l'autre de 120° , soit d'un tiers de période.

« Ces trois courants individuels, représentés par des sinusoides, peuvent être groupés par un montage en triangle (*fig. 10*) ou par un montage en étoile (*fig. 11*). La somme des intensités de deux des courants est constamment égale et de sens contraire à l'intensité du troisième, et la somme des valeurs absolues des intensités des trois courants est toujours constante.

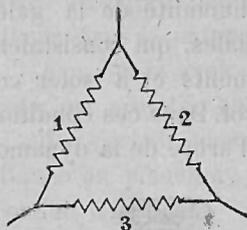


FIG. 10.

« Dans le montage en étoile, la tension entre les extrémités AB, BC ou CA, est égale à la tension simple AO, BO ou CO, multipliée par $\sqrt{3}$ (Voir ci-après, *fig. 12*, la disposition de la turbine et du générateur triphasé).

« **Dynamo.** — La dynamo génératrice à courants triphasés, construite par les ateliers d'Oerlikon, est d'une puissance de 33.000 watts, correspondant à la puissance de 50 chevaux de la turbine.

« La tension simple de cette dynamo est de 110 volts; elle peut donc fournir un courant de $\frac{33.000}{110} = 300$ ampères, soit 100 ampères dans chacun des circuits. Le montage des trois courants est fait en étoile.

« Cette dynamo se compose d'un inducteur mobile, tour-

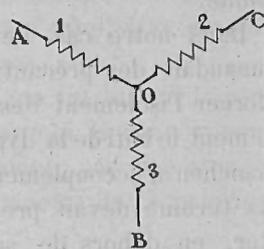


FIG. 11.

nant à l'intérieur de l'induit fixe. L'inducteur est formé par un noyau central, monté sur l'arbre et muni d'une seule bobine inductrice. Sur les faces latérales de ce noyau se trouvent deux disques en acier coulé, munis chacun de cinq épanouissements polaires, sortes de bras qui, repliés par-dessus la bobine inductrice, viennent se placer sous la circonférence intérieure de l'induit.

« Les épanouissements polaires des disques sont alternés et, comme ces disques forment, en réalité, les pôles de l'électro-aimant engendré sous l'influence de la bobine inductrice centrale, la circonférence de l'inducteur présente dix pôles alternés, dont cinq appartiennent au disque de gauche, et cinq au disque de droite.

« Le courant d'excitation, fourni par une petite dynamo à courant continu de 400 watts, calée sur le prolongement de l'arbre, est amené à la bobine centrale par deux anneaux collecteurs et une paire de balais.

« L'induit se compose d'une couronne ou noyau formé par l'assemblage de tôles de fer et de papier. Ce noyau est maintenu par une couronne en fonte boulonnée sur le bâti. Les enroulements induits se composent d'un certain nombre de bobines rectangulaires, emmanchées chacune sur un épanouissement polaire de la couronne de fer doux.

« L'espace compris entre deux pôles de l'inducteur est occupé, sur la circonférence intérieure de l'induit, par trois bobines: il y a donc trente bobines en tout, réunies dix par dix, et formant trois circuits distincts, montés en étoile.

« Ce genre d'enroulement assure à la fois une grande résistance mécanique et un isolement parfait.

« La vitesse de la dynamo étant de 600 tours à la minute, soit 10 tours par seconde, la fréquence du courant, ou le nombre d'alternances complètes, est donc de $\frac{10 \times 10}{2} = 50$ par seconde.

grande solidité mécanique, ce qui est essentiel dans une installation comme celle qui nous occupe.

« Les fils, au nombre de trois, conduisant le courant triphasé, sont en cuivre dur non recuit, d'un diamètre de 8 millimètres. C'est le diamètre le plus convenable pour les lignes de trolley; il est encore relativement facile à tendre.

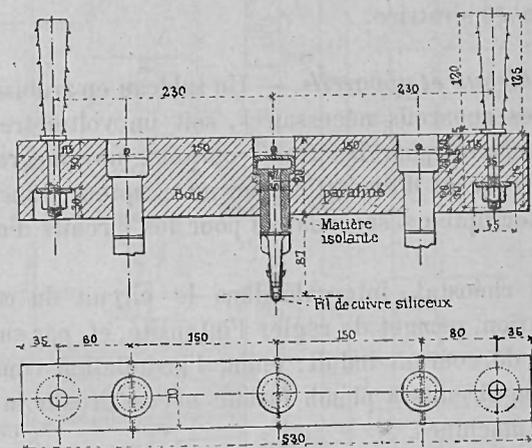


FIG. 13.

« Afin d'éviter une grande flèche aux fils, les isolateurs ont été scellés dans la voûte de la galerie à une distance de 8 mètres les uns des autres. Les fils ne se trouvent ainsi nulle part à une hauteur inférieure à 1^m,850 ou 1^m,900; ils sont donc à l'abri de contacts involontaires de la part du personnel.

« La ligne conductrice ainsi construite s'arrête à une distance de 100 à 200 mètres environ du front de taille; de là, jusqu'au chariot de perforatrices, le courant est amené par un câble souple à trois conducteurs, ayant chacun une section de 20 millimètres carrés. Ce câble peut s'enrouler, pendant le retrait du chariot, sur un tambour disposé à cet effet sur la machine.

« La tension simple du courant étant de 110 à 120 volts, il existe entre deux quelconques des trois fils de la ligne une différence de potentiel de 190 à 205 volts. Cette tension est loin d'être dangereuse; cependant, en cas de contact accidentel avec les fils, on éprouve une commotion assez désagréable. Afin d'éviter des inconvénients de ce chef, nous avons mis à la terre, à la station génératrice, le centre de l'étoile, ou point neutre du système triphasé; il est dès lors impossible, en touchant un fil, de recevoir une commotion de plus de 110 à 120 volts, tout à fait inoffensive.

« Quant au chariot, dans le cas de la galerie de la Mer, le problème à résoudre était d'autant plus compliqué que cette galerie a des dimensions très restreintes, savoir 2^m,400 de largeur sur 2^m,200 de hauteur, et que c'est dans cet espace qu'il s'agissait de loger, à côté d'un tuyau de ventilation de 600 millimètres de diamètre et d'une voie pour le passage des wagonnets de déblais, un affût portant trois perforatrices.

« Après des études approfondies, nous avons combiné pour cet affût des dispositions spéciales, répondant à toutes les exigences du travail (Pl. IX, fig. 1, 2, 3 et 4).

« Le chariot de perforatrices se compose essentiellement d'un affût sur roues, roulant sur la voie Decauville de 526 millimètres, et qui porte, dans deux tourillons, un fort arbre horizontal. Cet arbre, entre les tourillons, est évidé en forme de douille, et dans cette douille se trouve logé un second arbre longitudinal, sur le prolongement duquel sont montés, du côté avant, deux fers en U de forte section, et, du côté arrière, un réservoir en fonte contenant l'eau sous pression pour l'injection d'eau dans les fleurets creux des perforatrices.

« Les deux fers en U portent à leur extrémité une forte traverse en acier sur laquelle sont montés trois manchons mobiles servant de supports aux trois perforatrices.

« Chaque perforatrice est actionnée par un moteur électrique, par l'intermédiaire d'une tige extensible à joints universels. Les trois moteurs sont logés dans une boîte de protection placée sur le longeron en fer en U.

« Lorsque le chariot se trouve en garage, il doit occuper le moins d'espace possible en largeur, afin de laisser un libre passage aux wagonnets de déblais. Dans ce but, on fait tourner, au moyen d'une vis sans fin, agissant sur une roue dentée, l'arbre longitudinal de l'appareil dans sa douille, de façon à placer la traverse portant les perforatrices dans un plan vertical. C'est dans cette position que le chariot est amené au front de taille, où une manœuvre inverse ramène la traverse dans une position horizontale. La traverse est alors calée contre les parements de la galerie au moyen des vérins à vis logés dans les extrémités, et les perforatrices sont pointées dans la direction voulue, grâce à leur système de montage sur les manchons et à la course de ces manchons sur la traverse.

« Une première série de trous étant percée dans le champ d'action correspondant à la position de la traverse, on enlève les calages de cette dernière, pour en modifier la position en hauteur au moyen d'un mouvement autour de l'axe horizontal du chariot.

« Les dispositions de détail du chariot sont indiquées dans les dessins de la Pl. IX, dans lesquels on remarque, entre autres, le tambour portant le câble d'arrivée du courant, ainsi que les interrupteurs des trois moteurs, qui peuvent être commandés des deux côtés du chariot.

« Les tourillons de l'arbre horizontal portent encore deux vérins permettant de caler le chariot pour empêcher le recul sous l'influence de la pression des fleurets.

« Ce chariot, construit par les usines d'Oerlikon, donne toute satisfaction au double point de vue de la facilité et de la rapidité de manœuvre, ainsi que de son adaptation aux conditions spéciales du travail à la galerie de la Mer.

Son poids est d'environ 2.700 kilogrammes dont 330 kilogrammes pour les perforatrices et 300 kilogrammes environ pour les trois moteurs électriques.

« *Moteurs.* — Chaque moteur est d'une puissance de 3 chevaux effectifs à la vitesse de 1.450 tours par minute. Ces moteurs, à courant triphasé, sont excessivement simples; ils se composent d'une couronne en fer sectionnée, portant les enroulements inducteurs, qui produisent le champ tournant. L'induit mobile est constitué simplement par un noyau traversé à sa circonférence par une série de barres de cuivre isolées, réunies à leurs extrémités par deux anneaux en cuivre.

« Je rappellerai que ce genre de moteur fonctionne sous l'influence des courants induits produits dans l'enroulement du tambour par l'action du champ tournant.

« La vitesse de 1.450 tours du moteur est réduite à 209 tours au moyen d'une transmission par engrenages dans le rapport de 14 à 97, et c'est sur l'arbre du petit engrenage qu'est attelée la tige de transmission à joints universels qui transmet le mouvement aux perforatrices.

« *Perforatrices et appareils accessoires.* — Les perforatrices du chariot sont du système Bornet, bien connu dans les mines. Je me bornerai à rappeler que ce sont des perforatrices rotatives et à injection d'eau par fleurets creux. La machine Bornet est surtout caractérisée par son système de déclenchement du mouvement d'avancement, qui entre automatiquement en fonction sitôt que la dureté de la roche dépasse une certaine limite et produit un excès de pression sur le fleuret. Le modèle employé à la galerie de la Mer, construit spécialement pour cette application, a une course utile de 80 centimètres environ, ce qui permet de faire sans changement de fleuret des trous de 80 centimètres de profondeur; ce modèle, de plus,

a été convenablement renforcé, en vue de la perforation de trous de 45 à 50 millimètres de diamètre, au lieu de 28 à 32 millimètres. Les trous de mine de grand diamètre ont l'avantage de permettre de concentrer la charge de dynamite dans un espace plus restreint au fond du trou; ils contribuent aussi, dans une certaine mesure, à faciliter le travail des explosifs.

« Mais le point caractéristique de ces machines, c'est la vitesse de rotation relativement grande que nous avons donnée aux fleurets. Les essais entrepris à Mazargue nous avaient fait constater la possibilité de donner aux fleurets, dans le calcaire dur et compact des environs de Marseille, une vitesse d'environ 50 tours par minute, et un avancement de 2 millimètres par tour, à la condition d'assurer d'une façon efficace le refroidissement du tailant au moyen de l'eau d'injection.

La vitesse de la tige de transmission est réduite, au moyen d'un pignon et d'un engrenage, dans le rapport de 13 à 51 sur la perforatrice, à la vitesse de 53 tours environ, que nous considérons actuellement, et pour le genre de mèche employé dans nos roches calcaires, comme limite compatible avec un bon fonctionnement.

Le pas de la vis d'avancement étant de 2 millimètres, l'avancement du fleuret se trouve être de 10^{cm},6 à la minute, résultat qui dépasse celui des meilleures perforatrices à percussion.

« *Appareils de commande.* — Le courant pour les moteurs est pris sur le tambour du cadre d'amenée par un bouchon à trois contacts; de là, il se dirige vers un tableau d'appareils installé sous les moteurs. Ce tableau comprend trois coupe-circuits à plomb fusible, destinés à protéger les moteurs contre toute surcharge accidentelle, et trois interrupteurs de mise en marche (Pl. XII, fig. 13).

« Afin de réduire la durée du retrait du tube porte-outil, les appareils de mise en marche sont combinés pour doubler la vitesse du moteur dans le cas de la marche arrière. Ce résultat est obtenu simplement, sur le moteur, par le changement de couplage des enroulements. Ce changement de couplage a pour effet de diminuer de moitié le nombre de pôles de l'inducteur, et, comme la fréquence du courant reste constante, la vitesse se trouve doublée. »

Aérage et transport des déblais en employant l'eau sous pression comme force motrice. — Profitant de la force motrice que nous procurait l'eau captée sous pression, nous avons complété l'ensemble de nos installations en plaçant, à la cote 2.880, une turbine alimentée par l'eau des cuvelages (2.846 — 2.892) et ainsi supprimé la machine à vapeur et le ventilateur placé sur le puits Saint-Joseph (cote 2.537).

Le ventilateur employé est un ventilateur Geneste-Herscher.

La turbine peut fournir une force de 15 chevaux, et le ventilateur est capable d'aspirer 4 mètres cubes par seconde en marchant à 1.200 tours par minute, et 5 mètres cubes par seconde en marchant à 1.600 tours par minute (Pl. X, fig. 1, 6 et 7).

La turbine consomme, à l'ordinaire, 600 litres d'eau à 8 kilogrammes par minute.

Ce ventilateur a assuré l'aérage au front de taille jusqu'au puits de la Mure (cote 6.635), la distance entre les deux puits étant de 4^{km},100.

L'air entre par la galerie et revient au puits Saint-Joseph par une colonne de tuyaux en tôle de 0^m,60 de diamètre jusqu'à 3.956 sur 2.679 mètres de longueur, par une galerie supérieure de 3.956 à 3.090, sur 866 mètres de longueur, et par la cunette de la galerie

inférieure de 3.090 à 2.537, sur 553 mètres de longueur (Pl. VI, *fig.* 20 et 21).

Un quart d'heure après le tirage de douze et quinze coups de mine, chargés de 10 à 12 kilogrammes de dynamite par volée, les fumées étaient dissipées au front de taille et les ouvriers pouvaient commencer le déblayage.

La température de la galerie étant de 16° environ sur son parcours, on a relevé au front de taille une température de 18° après le tirage des coups de mine et l'évacuation des fumées.

Enfin, d'une expérience faite le 1^{er} mai 1899, on a déduit les résultats suivants :

Vitesse du ventilateur.....	995 tours.
Dépression.....	68 millimètres.
Air entrant à l'extrémité de la colonne de tuyaux à 6.600, par seconde....	0 ^m 3,315.
Air aspiré par le ventilateur.....	4 mètres cubes.

Ces chiffres peuvent être intéressants pour ceux qui auraient à exécuter de longues galeries en cul-de-sac (Voir, Pl. X, *fig.* 1, 6 et 7, les dessins de la turbine et du ventilateur, dans le cuvelage).

Le treuil à vapeur placé à l'entrée de la galerie et servant au transport des déblais a été, de même, remplacé par une troisième turbine à double aubage pour la marche dans les deux sens, de l'intérieur vers l'extérieur ou de l'extérieur vers l'intérieur, l'eau étant prise sur le cuvelage (2.898 — 2.910). Attelée sur un câble sans fin, cette turbine servait au transport des déblais du point 3.000 au jour (Voir Pl. XI, *fig.* 3, 4, 5 et 6, et Pl. X, *fig.* 2 et 3).

Cette turbine peut fournir 18 chevaux et permet le transport de douze wagonnets contenant ensemble 5 mètres cubes de déblais, à la vitesse de 8 ou 10 kilomètres à l'heure.

En 1896, comme je le dirai plus loin, de grosses

sources rencontrées entre 4.548 et 4.620 furent captées et cuvelées en ces deux points.

De la position primitive de la turbine Pelton et de la dynamo génératrice (2.900) à la position de l'avancement (4.640), il y avait alors 1.740 mètres. Nous décidâmes, au lieu de placer des transformateurs aux extrémités de la ligne, de transporter turbine et dynamo à la cote 4.575 sur les nouveaux cuvelages. La position de la turbine conduisant la traction par câble ne fut pas modifiée; mais la poulie de retour fut portée à la cote 4.500. Les 4.500 mètres étant franchis aller et retour en une heure et les manœuvres demandant une demi-heure, on pouvait transporter $16 \times 5 = 80$ mètres cubes de déblais par jour.

Comme le mètre d'avancement ne fournit que 9 mètres cubes de déblais, le système de trainage suffisait pour un avancement quotidien de $\frac{80}{9} = 9$ mètres, que l'on n'a jamais atteint.

Les dessins d'ensemble de ces appareils dans la galerie sont figurés sur la Pl. X, *fig.* 1.

En 1898, la locomotive électrique, dont l'emploi avait été prévu lors de l'installation de la dynamo génératrice, a commencé son service entre l'avancement et le point terminus 4.500 de la traction par câble.

Cette locomotive électrique se compose dans ses parties essentielles (Voir Pl. XI, *fig.* 1, 2, 7, 8, 9 et 10) d'un moteur à courant triphasé de la force de 15 chevaux, portant sur l'arbre de son induit, d'une part, un collecteur dont les trois balais en charbon sont en relation avec un rhéostat de résistance, et, d'autre part, un manchon d'accouplement.

Par le manchon, l'arbre du moteur fait corps avec un arbre portant une vis sans fin. Cette vis sans fin commande une roue dentée calée sur un des deux essieux de la locomotive.

Au début, l'autre essieu était commandé par deux chaînes de Galle; mais ces deux chaînes ont été supprimées; elles n'étaient pas nécessaires pour l'entraînement de la charge et elles étaient une gêne continuelle dans les manœuvres; elles occasionnaient aussi un entretien supplémentaire.

Pour la manœuvre de la locomotive, le conducteur a à sa portée un petit appareil de mise en train. L'appareil de mise en train est en communication, d'une part, avec les trois trolleys qui prennent le courant sur la ligne, d'autre part, avec le moteur et un rhéostat. Il porte trois crans: celui du milieu correspond à la position neutre, sans courant sur le moteur; celui de droite correspond à la marche en avant; celui de gauche à la marche en arrière. Pour mettre en marche, le conducteur pousse la manivelle de l'appareil dans un sens ou dans l'autre, en n'avancant que graduellement. Ce mouvement a pour effet de faire passer les curseurs de l'appareil sur une série de touches en communication avec le rhéostat.

La disposition est telle que, pour le démarrage, le circuit de l'induit est d'abord fermé sur l'inducteur, le circuit de l'induit étant ouvert. A la touche suivante, le circuit de l'induit est fermé à travers une résistance, ce qui a pour but de réduire l'intensité du courant de démarrage.

Enfin, à la dernière touche, le circuit de l'induit est fermé sur lui-même sans interposition de résistance, et le moteur prend alors sa vitesse normale. Pour l'arrêt, le conducteur ramène graduellement la manivelle de l'appareil à zéro.

Il serait peu prudent, au point de vue de la dynamo génératrice, de passer brusquement de la position normale à la position d'arrêt.

Le conducteur a aussi à portée de sa main un frein agissant sur les roues de la locomotive.

Cette locomotive remorque des trains de douze wagonnets

portant 5 mètres cubes de déblais et d'un poids de 13 tonnes et demie à la vitesse de 9 kilomètres à l'heure, y compris les manœuvres dans les gares, fort longues, parce que le conducteur doit refouler à la main les wagonnets qu'on y amène.

Du puits de la Mure (6.635), distant de 2.100 mètres environ du point terminus (4.500) de la traction par câble, la locomotive peut amener 90 mètres cubes de déblai en chiffres ronds, supérieur à celui de 80 mètres cubes que peut enlever la traction par câble jusqu'au jour.

En terminant cette description de notre installation électrique, j'ajouterai qu'il serait à souhaiter qu'on pût trouver des appareils électriques encore plus maniables que ceux que nous employons, avec suppression du chariot, comme dans le cas de la perforation avec l'air comprimé, ce qui permettrait de revenir percer les trous à l'avancement pendant le déblayage, comme nous le faisons dans le tertiaire.

La vis porte-outil devrait être munie d'un pas assez long pour que le filet soit assez résistant; mais on devrait aussi pouvoir, dans une roche dure, conserver la même vitesse de rotation que dans la roche tendre, en diminuant la vitesse d'avancement dans la roche, sans diminuer l'épaisseur du filet. Un système de vis différentielles pourrait résoudre le problème.

Nous allons expérimenter un système dans lequel la vis a un pas de 60 millimètres; mais l'écrou dans lequel elle tourne peut être rendu plus ou moins mobile, suivant que l'on agit plus ou moins énergiquement sur un frein qui le maintient en place.

On se propose, paraît-il, pour le percement du Simplon, où l'on emploiera les perforatrices Brandt et où on dispose de quantités considérables d'eau sous haute pression, de provoquer l'évacuation des déblais en arrière du front de

taille, par l'emploi de jets énergiques de cette eau sous pression. On débarrasserait ainsi le front de taille, qui serait toujours libre pour la perforation des coups de mine.

Nous souhaiterions, en outre, de pouvoir employer notre eau sous pression à un travail de bosseyage pour diminuer la grosse dépense de dynamite que nous sommes obligés de faire et qui atteint avec les accessoires, mèches, capsules de fulminates, etc., près de 40 francs par mètre d'avancement. Jusqu'ici il ne nous a pas paru que nous puissions rien faire en ce sens, sans diminuer l'avancement journalier, ce à quoi nous ne saurions nous résoudre.

J'entrerai maintenant dans quelques développements sur notre méthode de travail et sur les résultats obtenus.

Nous avons rencontré des calcaires de duretés différentes : des calcaires à *Chama* dans l'Urgonien, des calcaires dolomitiques, des calcaires marneux dans le Néocomien.

Dans l'Urgonien, les perforatrices portaient des mèches de 35 millimètres et foraient des trous de 45 millimètres de diamètre, marchant à leur vitesse normale de 53 tours et demi par minute; on a même pu atteindre la vitesse de 65 tours.

Dans les calcaires dolomitiques, les mèches s'usaient rapidement et calaient souvent leurs moteurs électriques.

Pour obvier à ces inconvénients, nous avons dû alors remplacer les forets de 35 millimètres par des forets de 28 à 30 millimètres et diminuer de $\frac{1}{3}$ la vitesse de rotation des perforatrices en augmentant le diamètre de l'engrenage calé sur le fourreau porte-outil, sans augmenter celui du pignon qui le commande, et employer de l'acier chromé fourni par la Société des Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons.

Désireux de diminuer le nombre de trous par volée, nous avons essayé aussi de nous servir de taillants don-

nant des trous de 60 millimètres de diamètre; mais les moteurs devenaient insuffisants, dès que les taillants étaient un peu usés. Il n'est pas certain, d'ailleurs, que ce système, qui aurait pu diminuer le temps employé à la perforation, n'ait pas conduit à une dépense plus grande de dynamite. Nous reprendrons ces essais.

Nous donnons ci-dessous (*fig. 14*) la disposition des quinze trous de 0^m,038 de diamètre, qu'il est nécessaire de percer dans le front de taille, lorsque la roche est

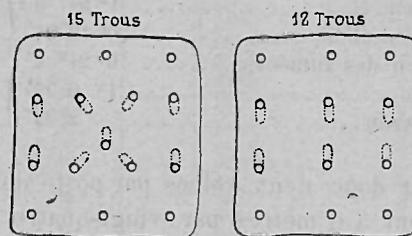


FIG. 14.

FIG. 15.

très dure; et, de même (*fig. 15*), la disposition des douze trous à percer dans le front de taille lorsque la roche est peu dure. On allume les étoupilles de tous les coups à la fois, laissant moins longues les étoupilles des trous du centre que celles de la périphérie, pour que les mines du centre explosent les premières, dégageant les coups de la périphérie.

Depuis le 1^{er} janvier 1898, le nombre de trous par volée a varié entre dix et quatorze; la profondeur des trous entre 1^m,08 et 1^m,30, et les culots laissés au fond des trous de mine ont varié entre 0^m,06 et 0^m,15.

Lorsque nous n'avons été gênés par aucune difficulté extérieure (eau, etc.), nous avons pu obtenir, comme en juin 1898, dans du terrain sec et du calcaire de dureté moyenne, un avancement quotidien moyen de 5^m,70 par jour de travail; on a même obtenu, le 5 juin, un avance-

ment de 6^m,70. Malgré quelques repos réduisant le nombre de jours de travail à vingt-six, nous avons fait 148 mètres d'avancement dans le mois.

Le travail à main, à la masse couple, ou avec les perforatrices Berthet, n'a jamais donné plus de 2^m,40 en moyenne, par vingt-quatre heures, dans les mêmes roches.

Voici le temps employé, en juin 1898, pour une volée :

Mise en batterie.....	0 ^h 24'	} Total : 4 ^h 4' 42"
Perforation.....	1 ^h 57' 5"	
Chargement et tir	0 ^h 19' 24"	
Evacuation des fumées.....	0 ^h 21' 4"	
Déblayage	1 ^h 0' 36"	
Temps perdu.....	2' 33"	

On faisait donc deux volées par poste de huit heures correspondant à 6 mètres par vingt-quatre heures, environ.

Comme on le voit, le déblayage prend le quart du temps employé par volée. On a donc plus d'intérêt à le réduire, comme Fives-Lille veut le faire au Simplon, qu'à chercher à augmenter la rapidité du forage des trous de mine.

Les hommes travaillent pendant huit heures et se relèvent au chantier.

Chaque poste se compose : d'un chef mineur, de quatre mineurs pour la perforation, de deux mineurs travaillant à la rigole et de deux manœuvres.

L'emplacement et la direction des trous de mine sont désignés par le chef mineur, et pendant la perforation quatre hommes sont occupés à la machine. Le déblayage occupe six hommes ; les deux hommes restants sont employés au graissage et au nettoyage des machines.

Nous n'avons obtenu des hommes une pareille intensité de travail qu'en les intéressant à l'avancement par une prime progressive.

Le mode de paiement est le suivant : le chef mineur a une journée fixe de 5 fr. 20 ; les mineurs ont une journée fixe de 3 fr. 50.

En sus de cette journée, les uns et les autres touchent une prime calculée sur la base suivante :

AVANCEMENT par poste de 8 heures	PRIME par centimètre supplémentaire	PRIME par journée de 8 heures
Jusqu'à 1 ^m ,00 d'avancement	Néant	Néant
De 1 ^m ,00 à 1 ^m ,10	0',01500	Entre 0',000 et 0',150
do 1',20	0',01875	0',206 0',375
do 1',30	0',02250	0',473 0',675
do 1',40	0',02625	0',814 1',050
do 1',50	0',03000	1',230 1',500
do 1',60	0',03375	1',721 2',025
do 1',70	0',03750	2',287 2',625
do 1',80	0',04125	2',929 3',300
do 1',90	0',04500	3',615 4',050
do 2',00	0',04875	4',436 4',875
do 2',10	do	4',923 5',362
do 2',20	do	5',410 5',850
do 2',30	do	5',898 6',337
do 2',40	do	6',386 6',815

De sorte qu'avec un avancement de 2 mètres par poste le chef mineur gagne 5 fr. 20 + 4 fr. 875 = 10 fr. 075 par jour ; et le mineur, 3 fr. 50 + 4 fr. 875 = 8 fr. 375 par jour.

Dans les premiers mois de fonctionnement de l'installation, nous n'obtenions qu'un avancement quotidien moyen de 3 mètres à peine. Peu à peu, alléché par les primes, tout le personnel a donné son plein et produit les résultats signalés, et tandis que dans le même terrain on n'eût obtenu qu'un avancement moyen de 2 mètres à 2^m,40 avec un prix de revient de 148 fr. 00 (Voir le tableau, ci-après, p. 422).

PRIX DE REVIENT POUR UN AVANCEMENT DE 2 MÈTRES PAR 24 HEURES
EN TRAVAILLANT A LA MAIN.

DÉSIGNATION DES TRAVAUX	PRIX de revient	OBSERVATIONS
Avancement	60',00	Ce chiffre pourrait être trop bas toutes les fois qu'on aurait des roches ne se perçant pas facilement avec les perforateurs à main. Et dans ce cas on pourrait bien ne pas obtenir 2 ^m .00 d'avancement par jour. S'il fallait travailler à la masse-couple, on n'obtiendrait guère que 1 ^m .50 à 1 ^m .60.
Rigole, creusement	5',00	
— pour plancher pour soutenir voie	1',87	
Entretien galerie et rigole	1',54	
— matériel et outillage	5',00	
Roulage à bras	2',25	
2 treuils hydrauliques. Conducteurs treuils	6',00	En installant un deuxième treuil hydraulique où est actuellement le dynamo.
Conducteurs-trains	3',75	En ne comptant qu'un poste d'extraction.
Entretien treuils	2',00	
— voie, câbles, rouleaux, poulies, etc.	7',37	Ce chiffre serait sans doute plus élevé, le trainage s'allongeant toujours de plus en plus.
Entretien wagonnets	1',33	Ce chiffre serait sans doute plus élevé, le trainage s'allongeant toujours de plus en plus.
Décharge des déblais	3',25	
Eclairage	1',00	
Entretien divers, commissionnaire ..	2',40	
Prolongement voie, gares, etc.	4',28	
Boisage	0',30	
Prolongement téléphone et entretien ..	0',35	
Réparation plancher du roulage	1',75	Il faudrait changer le même nombre de traverses par mois qu'actuellement.
Ventilation : Conducteur, ventilateur, graissage et entretien	3',00	
Tuyaux d'aérage	17',00	
Surveillance : Intérieur	9',00	Il faudrait toujours un chef de poste par poste, le maître mineur seul pourrait être économisé.
— Extérieur	4',00	
Maçonnerie	6',20	
	147',64	Le chiffre de 150',00 serait certainement atteint, si, au lieu d'un deuxième treuil hydraulique, on voulait se servir de la locomotive électrique; le transport coûterait certainement davantage, et l'établissement de la ligne coûterait plus que l'établissement du trainage. Avec des chevaux, le coût serait aussi plutôt plus que moins élevé.

PRIX DE REVIENT POUR UN AVANCEMENT DE 5^m.586 PAR 24 HEURES
EN TRAVAILLANT AVEC LES PERFORATRICES.

DÉSIGNATION DES TRAVAUX	PERSONNEL		MAIN-D'OEUVRE		FOURNITURES		TOTAL
	anormal	normal	normal	anormal	normal	anormal	
Perforation électrique à l'avancement et rigole	"	27	33.386	"	34.246	"	67.632
Régularisation de la rigole (banquette, fer et bois)	"	2	1.070	"	1.064	"	2.134
Conduite station génératrice ..	"	2	1.337	"	"	"	1.337
Entretien des appareils électriques ..	"	1	1.790	"	"	"	1.770
et de perforation. Divers	"	1	1.069	"	1.048	"	2.117
Prolongement colonne d'injection (tubes à gaz de 0,04) ..	"	Néant	"	"	1.877	"	1.877
Prolongement ligne électrique (isolateur triple et 3 fils de 8 millimètres)	"	id.	1.260	"	5.530	"	6.790
Entretien, galerie et rigole ..	"	5	1.219	"	"	"	1.219
Entretien, matériel et outillage ..	"	2	1.257	"	4.200	"	5.457
Roulage entre 4.500 et l'avancement. Conduite treuil	"	3	2	4.296	"	0.850	5.146
— trains	"	2	1.030	"	"	"	1.030
Transport des déblais	"	2	1.494	"	"	"	1.494
— des wagonnets	"	"	"	0.903	0.229	"	0.229
Entretien, voies, câbles, rouleaux, etc.	"	1	0.824	"	0.841	"	1.665
Décharge des déblais	"	2	2.434	"	3.503	"	5.937
Chargement des déblais versés en arrière, de l'avancement. Entret. div. commissionnaire ..	"	6	3.409	"	"	"	3.409
Eclairage intérieur et extérieur. Prolongement voie et déplacement des gares	"	2	"	1.012	"	"	"
Boisage	"	1	0.870	"	"	"	0.870
Entretien du plancher de roulage (traverses)	"	"	"	0.658	"	"	0.658
Ventilation: Conduit ventilateur et entretien colonnes tuyaux. Fers pour supports, étoupe, suif, etc.	"	"	0.888	"	4.035	"	4.923
Tuyaux tôle d'acier de 0,6). Maçonnerie	"	2	"	2.034	"	0.792	"
Surveillance intérieure	"	"	"	"	0.235	"	0.235
— extérieure	"	"	"	"	"	"	"
	"	"	1.181	"	"	"	"
	"	"	"	"	0.759	"	"
	"	"	"	"	15.590	"	17.530(*)
	"	9	"	4.803	"	1.927	"
	"	4	7.349	"	"	"	7.349
	"	2	2.053	"	"	"	2.053
	21	57	68.216	8.752	74.665	2.719	142.881
					A retrancher		8.000
							134.881(**)

(*) Ces tuyaux serviront une seconde fois.

(**) Ce prix de revient ne comprend pas les frais généraux de comptabilité et de direction.

Tandis qu'avec la perforation électrique on a obtenu, en juin et juillet 1898, un avancement journalier moyen de 5^m,586, avec un prix de revient de 135 francs (Voir le tableau ci-dessus, p. 423).

Avancement et cuvelage, partie en fonte et béton de ciment, partie en béton de ciment seul. — Je reprends l'historique de l'avancement de la galerie.

En novembre 1895, on avait installé la turbine et la dynamo génératrice dans le cuvelage (2.902 — 2.910).

Le 1^{er} février 1896, l'installation électrique fonctionnait.

Au 31 décembre 1896, l'avancement atteignait 4.272^m,50. L'avancement fait dans l'année a été de 725^m,05 et obtenu pour la majeure partie avec la perforation électrique fonctionnant depuis le mois de février.

En mars, à 3.730, rencontre d'une faille limite du calcaire à *Chama*; on passe dans un calcaire dolomitique, très dur, appartenant probablement au Valanginien.

En juillet, on installe dans le grand cuvelage, vers 2.880, la turbine actionnant le ventilateur Geneste-Herschel et ce ventilateur lui-même.

Le 2 décembre, à 4.194^m,50, la galerie quitte le calcaire dolomitique pour entrer dans une brèche contenant des fragments de calcaire dolomitique, empâtés dans de l'argile rouge et la chaux carbonatée; à 4.250, aux cailloux de calcaire dolomitique succèdent des cailloux de calcaire à *Chama*.

Au 31 décembre 1897, la galerie atteint le kilomètre 4.841,50.

En 1897, nous avons fait un avancement de 568^m,97. Grâce à la perforation électrique, nous avons fait 115 mètres en janvier et 3^m,831 par jour de travail. Dans le cours de l'année, malheureusement, alors que nous laissons la brèche à 4.438, nous rentrons de nouveau dans

le calcaire dolomitique, et nous y demeurons jusqu'à 4.779,50. Ce calcaire dolomitique donne passage à l'eau par une série de cavernes de 4.551 à 4.623, et nous sommes obligés de cuveler en tout ou partie de 4.548 à 4.633, ce qui nous empêche de travailler à l'avancement de fin mars à octobre.

Nous captons 11 à 12 mètres cubes d'eau.

Nous avons, dans le courant de l'année, installé le treuil hydraulique à 2.910.

Cuvelage en ciment (4.548 — 4.632,75). — Forts de l'expérience acquise, nous avons résolu de construire ce cuvelage en ciment (Pl. VIII, *fig. 2 bis* et *fig. 3*).

Pour quelques mètres seulement, la partie inférieure a été faite en fonte, à cause de l'impossibilité où nous étions d'enlever complètement l'eau sortant par les fissures du sol. Le raccordement du ciment avec la fonte ou avec la paroi calcaire s'est bien opéré, et aucune fuite ne s'est manifestée par les surfaces de raccordement.

J'ai indiqué (p. 385) comment on calcule l'épaisseur du béton; mais, grâce à l'expérience que nous avons acquise de cette sorte de travail, nous avons supprimé la chemise de briques et réduit à 0^m,80 l'épaisseur du béton, la charge d'eau étant toujours supposée être de 100 mètres.

Le béton est fait avec des cailloux de calcaire de Septèmes (Oxfordien) cassés, lavés et passés à la maille de 6 centimètres, mélangés avec un mortier de ciment.

Pour	Mortier.	350 kilogrammes ciment artificiel Vicat.
1 de béton		
on a :	Cailloux.	1.000 litres de cailloux.

Le béton est coulé par couches de 20 centimètres et fortement damé.

Pendant la durée des travaux, on a fait régulièrement,

toutes les semaines, sur des briquettes, des essais d'arrachement du mortier employé.

Ce mortier composé de :

87^{kg},5 ciment artificiel Vicat,
87^{lit},5 sable de Saint-Raphaël,

suivant les indications de M. Vicat, a donné comme résistance à l'arrachement :

Au bout de 8 jours.....	23 kilogrammes.
— 14 —	27 —
— 28 —	30 —
— 3 mois.....	39 —
— 6 —	41 —

La résistance du béton est sensiblement égale à celle du mortier qui a servi à le former.

Connaissant la résistance à l'arrachement, on en déduit la résistance à l'écrasement, en multipliant les chiffres ci-dessus par 7, qui sera donc :

Au bout de 8 jours.....	161 kilogrammes.
— 6 mois.....	287 —

Or, dans notre calcul de l'épaisseur à donner aux cuvelages en maçonnerie, nous avons pris : $R = 30$ kilogrammes par centimètre carré.

D'après les données qui nous ont été fournies par la Société des Portlands méridionaux, le ciment artificiel Vicat qu'elle fabrique à Valdonne, employé pur sous l'eau douce, donnerait pour la résistance à l'écrasement :

$$R = 600.000 \times 7 = 4.200.000 \text{ ou } 420 \text{ kilogr. par centim. carré.}$$

Nous sommes donc dans de très bonnes conditions.

Les cuvelages en béton de ciment coûtent au mètre courant environ les $\frac{7}{12}$ des cuvelages en fonte et procurent une économie de temps de $\frac{1}{3}$.

On en jugera par le tableau ci-après, en notant que les cuvelages en fonte, boulons compris, nous revenaient à 32fr. 50 les 100 kilogrammes, 10 francs de plus que dans le Nord (certaines conditions du travail nous obligeaient à faire établir les anneaux à Marseille); que le sable porphyrique vaut 7 francs le mètre cube; les cailloux valent 3 francs, et le ciment vaut 50 francs la tonne, le tout à l'entrée de la galerie.

A la suite du calcaire dolomitique et jusqu'à 4.843,75, nous traversons une brèche, puis jusqu'à 5.168,50 des bancs d'un calcaire gris bleu plus ou moins foncé, plus ou moins marneux, quelquefois pyriteux sous faible épaisseur.

Entre 5.168,50 et 5.336, calcaire gréseux très dur, puis calcaire à cassure vive avec veines d'argile bleue, puis un calcaire concrétionné humide, puis une brèche à gros éléments.

De 5.336 à 5.368, la galerie a été traversée par une faille argileuse.

Entre 5.368 et 5.915, bancs de calcaire plus ou moins marneux, gris, jaunes, bleuâtres ou roses; puis bancs de calcaires gris bleuâtre, jaune clair ou jaune bleuâtre.

De 5.915 à 5.984, série de bancs de calcaires roussâtres contenant beaucoup de rognons de silex.

Au delà, d'abord un calcaire cristallin, puis du calcaire grisâtre gréseux, et enfin une série de bancs de calcaire gris bleu foncé, fossilifère.

Au 31 décembre 1898, la galerie atteint le kilomètre 6,074,26. En 1898, nous avons fait un avancement de 1.232^m,74, soit, pour 82 et $\frac{1}{3}$ journées de travail à la main, 177^m,16; et pour 204 et $\frac{1}{3}$ journées de perforation mécanique, 1.054^m,58, ce qui représente pour la perforation mécanique une moyenne d'avancement de 5^m,161 par vingt-quatre heures de travail, en 1898.

Nous avons dû suspendre la perforation électrique en

GALERIE DE LA MER. — Comparaison des prix de revient du mètre courant des divers cuvelages exécutés.

DÉSIGNATION DES OBJETS	CUVELAGE en fonte de 3 ^m ,27 de diamètre intérieur fait entre 2802,47 et 2820,87 soit 18 ^m ,40 de longueur	CUVELAGE en fonte de 3 ^m ,27 de diamètre intérieur fait entre 2816,47 et 2892 soit 45 ^m ,53 de longueur	CUVELAGE en fonte de 3 ^m ,27 de diamètre intérieur fait entre 2897,915 et 2909,75 soit 11 ^m ,835 de longueur	CUVELAGE en maçonnerie de 3 ^m ,27 de diamètre intérieur fait entre 2827,30 et 2846,47 soit 18 ^m ,87 de longueur	CUVELAGE en maçonnerie de 2 ^m ,70 de diamètre intérieur fait entre 3682,25 et 3970,40 soit 8 ^m ,15 de longueur (1)	CUVELAGE en maçonnerie de 2 ^m ,70 de diamètre intérieur fait entre 4547,99 et 4556,11 soit 8 ^m ,22 de longueur (a)	CUVELAGE en maçonnerie et fonte de 2 ^m ,70 de diamètre intérieur fait entre 4556,11 et 4570,64 soit 14 ^m ,53 de longueur	CUVELAGE en maçonnerie de 2 ^m ,70 de diamètre intérieur fait entre 4591 et 4605,17 soit 14 ^m ,17 de longueur (A)	OBSERVATIONS
Emplacement.....	170,50	287,30	322,88	228,47	214,72	212,68	247,87	290,01	(1) Le cuvelage n'a eu l'épaisseur de 0,80 que sur 2 mètres de long seulement.
Transport des déblais et matériaux, décharge et charge desdits.....	134,94	83,66	50,19	85,00	143,05	143,47	112,09	121,05	
Béton pour garniture derrière la fonte, main-d'œuvre et fournitures.....	77,51	67,99	10,92	"	"	"	"	"	(a) Ce cuvelage n'a eu l'épaisseur de 0,80 que sur 4 mètres de long seulement.
Montage du cuvelage.....	188,55	152,19	172,51	"	"	"	"	"	
Préparation et réparation matériel et outillage, main-d'œuvre et fournitures.....	105,96	117,97	90,36	47,00	100 "	100,32	102,78	78,01	(A) Ce cuvelage est à peu près complet sur 6 ^m ,40 de long avec 0,80 d'épaisseur, et il n'a que la partie inférieure jusqu'à peu près au centre sur 7 ^m ,77, de sorte que nous l'avons compté complet sur 6 ^m ,40 + 3 ^m ,90 = 10 ^m ,30 et c'est avec cette longueur, et non avec 14 ^m ,17 que nous avons établi le prix de revient.
Cuvelage : fonte et boulons, plomb.....	1.153,68	1.402,09	1.255,35	"	"	"	"	"	
Mastic, rondelles, chanvre, etc.....	19,17	7,07	6,97	"	"	330,25	"	"	
Lambourdes peuplier, plâis coins, picots, mousse et divers.....	60,65	45,22	89,40	"	"	"	"	"	
Couronne et raccordement en bois de chêne.....	22,26	17,20	12,36	"	"	"	"	"	
Maçonnerie briques et béton : Main-d'œuvre.....	"	"	"	222,00	96,31	80,84	152,97	167,03	
Matériaux.....	"	"	"	370,00	107,26	196,53	225,71	312,14	
Plancher du cuvelage, main-d'œuvre et fournitures.....	61,35	40,52	54,66	"	25 "	25 "	24,91	11,08	
Epuisement.....	26,38	23,99	48,24	"	9,55 "	6,20 "	50,62	21,37	
Surveillance intérieure et extérieure.....	60,43	104,36	121,29	"	115 "	115 "	118,23	100,97	
— spéciale (Ingénieur d'Anzin).....	53,60	"	114,07	"	"	"	"	"	
Gratification au personnel.....	13,93	"	"	"	"	"	"	"	
Nettoyage cunette, plancher, galerie et entretien, voie et téléphone.....	"	12,93	44,88	"	"	"	"	"	
Dépenses faites après la fin du cuvelage, mâtage joints, partie inférieure.....	"	105,31	"	"	"	"	"	23,14	
Ventilation.....	"	"	"	"	5 "	5 "	3,83	12,16	
	2.182,91	2.467,90	2.403,08	1.112,95	815,92	885,04	1.428,26	1.147,79(*)	
Durée d'exécution du cuvelage.....	75 jours	194 jours	48 jours	110 jours	24 jours	21 jours	52 jours	32 jours	
Temps employé pour l'exécution d'un mètre de cuvelage.....	3 j. 1/2	4 j. 1/4	4 —	6 —	3 —	2 j. 1/2	3 j. 1/2	3 —	

(*) Avec 3^m,27 diamètre intérieur ce cuvelage serait revenu entre 1.300 et 1.400 francs le mètre courant restant le même, soit 324,50 les 100 kilos à l'entrée de la galerie, à cause de l'augmentation des transports, eût pu avoir la fonte à 10 fr. de moins les 100 kilos ; comme il y a 4.194 kilos de fonte et boulons par mètre courant, le cuvelage en fonte aurait dû avoir 14^m,17, tandis que nous ne comptons que sur 10^m,30 pour celui en maçonnerie.

Avec les cuvelages en maçonnerie on profite des parties de terrain solide qu'on ne cuvelle pas, sous le cercle, le cuvelage doit être complet.

Un cuvelage en fonte de 2^m,70 de diamètre intérieur, avec de la fonte à 10 francs meilleur marché que celle en maçonnerie, le cuvelage en fonte et d'un cuvelage en maçonnerie sera toujours au moins de 60 francs en faveur de la maçonnerie.

mais pas davantage, tandis qu'en fonte il serait revenu à 2.500 francs le mètre au moins, le prix de la fonte des matériaux ; soit donc une différence en plus de 1.100 à 1.200 par mètre courant. Et, en admettant que l'on comptait, le prix de revient d'un cuvelage en fonte aurait encore été de 2.100, contre 1.300 à 1.400 ; sans compter en maçonnerie.

Sur lequel on appuie la maçonnerie, tandis qu'avec les cuvelages en fonte, comme il faut toujours compléter

celle-ci payée jusqu'ici, reviendrait encore à 1.800 francs contre 1.150 en maçonnerie. — La différence de 650 francs en faveur de la maçonnerie.

mai, dans la traversée d'une partie argileuse, de même en août et septembre, alors que tous les cuvelages furent ouverts en vue d'une expérience de débit des eaux demandée par la ville et qu'il n'y avait plus de force motrice, et encore en novembre et décembre, dans la traversée des calcaires à silex.

Le 2 mai 1899, nous percions au point 6.543,35, dans les travaux faits au bas du puits de la Mure en 1896, et, de ce fait, l'avancement de la galerie est passé au point 6.658. Comme entre Saint-Joseph et la Madrague, le percement s'est effectué avec une précision mathématique tant pour la direction que pour la pente, ce qui montre une fois de plus le soin et l'habileté avec lesquels M. Long a conduit ses travaux.

La série des bancs de calcaire gris bleu fossilifère s'est prolongée jusqu'à 6.316.

De 6.316 à 6.324, nous avons traversé une brèche avec blocs de calcaire à silex.

De 6.324 à 6.397, calcaire jaunâtre d'abord découpé par des filets d'argile jaune, puis régulier et compact, assez humide.

A 6.397, la galerie est traversée par une faille qui limite le Néocomien marneux (Hauterivien) et nous met en présence des calcaires de l'Urgonien.

Mais, dès que nous entrons dans ces calcaires, nous rencontrons de l'eau sous pression qui jaillit par les plans de stratification. Elle nous suit jusque vers 6.500.

Le débit total est d'environ 8.400 litres par minute.

Ces calcaires de l'Urgonien, réguliers d'abord, dérangés ensuite, se poursuivent jusqu'à 6.628. Ils sont suivis d'une brèche, calcaire d'abord, marneuse ensuite, de 6.628 à 6.648.

Après cette brèche, qui doit représenter le Hauterivien, nous avons encore rencontré des calcaires dolomitiques que nous avons suivis jusqu'à 6.700, point que nous attei-

gnons le 30 juin 1899 et où nous trouvons une grosse source débitant 13 mètres cubes à la minute.

L'eau jaillit par une cassure entraînant de grandes quantités de sable fin et d'argile rouge, au point de couvrir nos voies d'une épaisseur de sable de 0^m,30 moyenne sur 700 mètres, et de remplir la rigole jusqu'au kilomètre 5.000. L'eau était tellement rouge qu'elle a teinté en rouge pendant trois ou quatre jours les eaux de l'avant-port Nord.

Nous devons cuveler entre 6.400 et 6.515, et au-delà du point 6.700.

Transformateurs et câble isolé à fort voltage. — La dynamo génératrice est actuellement installée au kilomètre 4.580; l'avancement est au kilomètre 6.700; la distance de la dynamo à l'avancement est donc de 2.120 mètres.

Dans notre traité du 15 mai 1895, il avait été prévu que l'on emploierait des transformateurs, lorsque la distance de l'avancement à la génératrice dépasserait 1.800 mètres; qu'on installerait un transformateur auprès de la génératrice, élevant la tension à 200 volts, et un second transformateur près de l'avancement, ramenant la tension de 200 à 110 volts sur les moteurs pour permettre à la génératrice et aux moteurs de travailler dans leurs conditions normales. La ligne proprement dite devait travailler ainsi sous une tension de 200 volts, tension que l'on considérait comme nullement dangereuse en cas de contact, et permettant de pousser l'avancement jusqu'à une distance de 6 kilomètres de la génératrice, tout en ne dépassant pas 20 p. 100 de perte.

Alors que nous allions commander nos transformateurs devant fonctionner dans les conditions sus-indiquées, nous apprenions qu'un accident était arrivé en Allemagne dans une usine d'électro-chimie, où l'on employait des

courants alternatifs à 250 volts. Il y avait donc lieu de penser que cette tension n'était pas si inoffensive qu'on le croyait jusqu'ici, dans certaines conditions (contacts humides).

Nous nous sommes alors résolus à poser un câble isolé à trois conducteurs sous plomb en employant un transformateur élévateur de tension à la dynamo et un autre réducteur au bout du câble (Pl. XII, *fig.* 1 et 2), la ligne à fils nus devant être simplement branchée sur le circuit secondaire de ce dernier transformateur.

Il est clair que nous avons intérêt à porter la tension dans le câble à un taux élevé, 1.900 volts composés, par exemple, puisque, par l'emploi d'un câble isolé, on élimine les questions de sécurité, et qu'avec cette tension de 1.900 volts on peut transporter toute l'énergie produite par le générateur au bout de la ligne par un câble triple de 20 millimètres carrés de section avec une perte de 2,5 p. 100 à 2 kilomètres.

Les ateliers d'Oerlikon nous ont donc fourni deux transformateurs avec leurs accessoires d'une puissance chacun de 45 kilovolt-ampères, l'un pour élever la tension proposée de 190 à 1.900 volts, l'autre pour l'abaisser de 1.900 à 190 volts; et la Société française des câbles électriques de Lyon nous a fourni les 2 kilomètres de câble triple; la section de chaque conducteur étant de 20 millimètres, sous double plomb, ruban en fer et toiles asphaltées, le câble peut supporter une tension de service de 2.000 volts.

Comme la dynamo génératrice est installée en un point où règne une grande humidité, le transformateur sera installé dans une niche fermée et dans un endroit absolument sec vers 4.830. Là des isolateurs spéciaux permettront de couper la ligne à fils nus en deux parties, en interposant une matière isolante de 2 ou 3 centimètres entre les extrémités des fils coupés.

Le courant viendra de la dynamo au transformateur élévateur par la ligne à fils nus de 255 mètres de longueur, traversera le transformateur et passera de 190 à 1.900 volts, suivra le câble isolé de 2.000 mètres environ de longueur pour aboutir au transformateur réducteur, traversera ce dernier en reprenant la tension de 190 volts pour aboutir à la ligne à fils nus qui le portera, d'une part, à l'avancement et, d'autre part, en arrière, jusqu'à 4.830 pour le service de la locomotive. Nous avons dessiné (Pl. XII, *fig.* 9, 10, 11, 12) la disposition des transformateurs dans la galerie (Pl. XII, *fig.* 3 et 7), les boîtes de jonction et d'extrémité pour câble à haute tension.

Prix des appareils électriques et de perforation. — Il ne me paraît pas inutile de faire connaître les prix que nous avons dû payer pour les appareils de perforation et de transport électrique :

Turbine à action directe de la force de 50 chevaux effectifs, à 600 tours, avec 7 kilogrammes de pression.....	5.100 »
Accouplement genre Raffard avec anneau en cuir...	300 »
Dynamo génératrice à courant triphasé, de 33.000 watts à 600 tours, sous la tension de 110 à 120 volts, avec excitatrice.....	6.200 »
Rhéostat à manette et tableau de connexions comprenant : voltmètre de 150 volts; 3 ampèremètres de 120 ampères; interrupteur tripolaire de 150 ^A ; 3 interrupteurs de 30 ^A ; coupe-circuits de 150 ^A ; 9 coupe-circuits de 50 ^A ; 15 fils fusibles pour 150 ^A ; 45 fils fusibles de 50 ^A ; 3 lampes témoins; bornes d'arrivée et de sortie.	
Tableau pour 3 circuits distincts.....	1.300 »
— Conducteurs :	
Fil de cuivre nu non recuit de 8 millimètres le mètre.....	0,90
Support à 3 isolateurs (1 tous les 8 mètres), l'un.	22 »

Manchons de connexion, l'un.....	3 »
Etain pour soudures, le kilogramme.....	3 »
— Chariot de 3 perforatrices pour voie de 526 millimètres, comprenant : 3 perforatrices Bornet à injection d'eau ; 3 moteurs triphasés de 3 chevaux avec tiges extensibles à joints universels ; 1 tambour ; 40 mètres de câble souple à 3 conducteurs de 20 millimètres carrés enroulés sur le tambour ; 1 bêche d'injection avec robinets et manomètres ; 4 bras de calage ; 3 appareils de mise en marche et d'inversion pour les moteurs.....	10.800 »
— Acier creux pour fleurets, le kilogramme.....	2,50
— Une perforatrice isolée vaut 1.000 francs. Un moteur isolé, 1.150 francs. Un appareil de démarrage, 200 francs. Le câble souple, 9 franc le mètre, etc.	
— Lampes de 33 bougies, avec lanternes étanches, fils de dérivation à 2 conducteurs, l'une.....	15 »
— Montage et frais généraux :	
Station génératrice.....	600 »
La ligne, par kilomètre.....	700 »
Surveillance et mise en marche.....	450 »
— Une locomotive électrique pour voie de 526 millimètres, capable de remorquer 12 wagonnets de 1 tonne chacun à la vitesse de 9 à 12 kilomètres à l'heure, moteur triphasé de 15 chevaux, appareils de réglage, transmissions par vis sans fin aux essieux, pesant environ 2.500 kilogrammes.....	6.500 »
— Un transformateur triphasé de 45 kilovolt-ampères pour élever la tension proposée de 190 à 1.900 volts ; rendement en pleine charge, 96,5 p. 100 ; pesant 1.550 kilogrammes, avec interrupteurs tripolaires primaire et secondaire, coupe-circuits tripolaires primaire et secondaire.....	3.786,80
— Un transformateur, avec appareils comme dessus, pour baisser la tension de 1.900 à 190 volts.....	3.786,80
— Câble à 3 conducteurs de 20 millimètres carrés chacun (3 × 20), de 1.857 mètres de longueur, destiné à réunir les deux transformateurs ci-dessus. Câble pouvant supporter d'une façon continue une densité de courant de 3 ampères par millimètre carré. Les conducteurs isolés au moyen de cellulose, imprégnée à chaud de matière isolante	

Berthoud, Borel et C^{ie}, sont recouverts de deux enveloppes de plomb continues et sans soudures, mises à chaud à la presse hydraulique, séparées l'une de l'autre par une couche de brai hydrofuge, puis d'une armature composée d'un matelas de fil de jute bien goudronné, de deux rubans d'acier de 1 millimètre d'épaisseur chacun, enroulés à recouvrements, et de deux toiles asphaltées enroulées de même, avec boîtes de jonction et d'extrémité (5.587 francs le kilomètre). 10.375,05

Ce câble est garanti avec absence complète de tout danger au contact de l'enveloppe extérieure pendant le passage du courant.

(La fin à la prochaine livraison.)

NOTE

SUR

LA RUPTURE D'UN TUBE A FUMÉE

SURVENUE

LE 26 NOVEMBRE 1898, DANS LA SUCRERIE DE MM. BRABANT FRÈRES

A ONNAING (NORD)

Par M. LÉON, Ingénieur des Mines.

Le 26 novembre 1898, vers 11^h 45^m du matin, un tube à fumée d'une chaudière semi-tubulaire, portant le n° 6 de la sucrerie Brabant frères, à Onnaing, s'est déchiré sur une longueur de 0^m,49; la vapeur, s'échappant par cette fissure, ne put passer ni par le devant de la chaudière (les portes de la façade étant solidement maintenues) ni par la cheminée (le registre étant fermé). Elle souleva la plaque de regard de la boîte à fumée arrière et se répandit sur le massif des générateurs, où elle brûla à la main et aux jambes (soixante-dix jours d'incapacité de travail) un des ouvriers de l'usine. Les dégâts matériels furent nuls.

L'enquête du Service des Mines a permis d'établir qu'il n'y avait eu ni excès de pression, ni manque d'eau; la rupture doit être attribuée à une corrosion par les eaux d'alimentation, qui avait réduit le tube de fer rompu de 3^{mm},5 à 0^{mm},5 d'épaisseur. Nous donnons ici le détail des constatations faites à l'intérieur, après détubage, sur les diverses parties des chaudières semi-tubulaires 6 et 7; ces chaudières étaient habituellement alimentées par les

eaux de retour des appareils à cuire, alors que les chau-

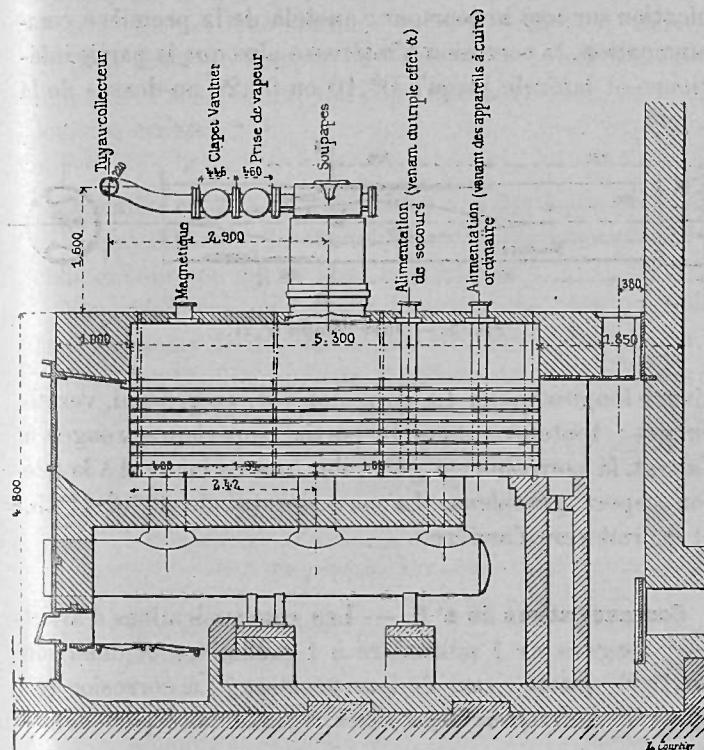


FIG. 1. — Coupe longitudinale.

dières 1 à 5 de la batterie (ordinaires à deux bouilleurs) recevaient les eaux de retour du triple effet, de la carbonatation, de la saturation, de la diffusion.

Toute la tuyauterie d'alimentation est en cuivre.

Bouilleurs du n° 6. — L'avant est corrodé à partir

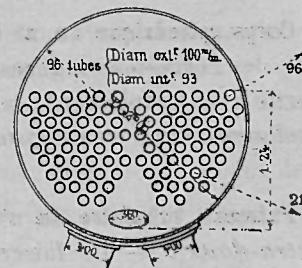


FIG. 2. — Plaque tubulaire avant.

de 0^m,40 de la rivure de tête jusqu'à la première communication sur tout le pourtour; au-delà de la première communication, la corrosion n'intéresse plus que la partie inférieure et latérale jusqu'à 0^m,10 ou 0^m,20 au-dessus de la

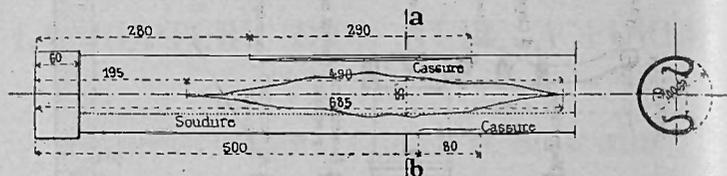


FIG. 3. — Tube rompu n° 21.

rivure longitudinale. La corrosion est, en général, vermiculaire; toutefois, dans la partie supérieure rongée à l'avant, la corrosion est générale, tout en laissant à la tôle son aspect granuleux. La corrosion est de 1^{mm},0-1^{mm},5, et décroît vers l'arrière.

Communications du n° 6. — Les communications d'avant sont rongées de 1 millimètre à 1 millimètre et demi sur les trois quarts avant de leur pourtour. La corrosion est générale à l'endroit des congés, vermiculaire partout ailleurs.

Les deuxièmes et troisièmes communications sont rongées sur leurs moitiés antérieures, mais moins fortement.

Corps cylindrique du n° 6. — Le corps cylindrique n'a que des corrosions légères ou taches de corrosion et à la partie avant seulement; la plaque tubulaire avant a aussi quelques taches très légères.

Faisceau tubulaire du n° 6 (tubes Bèrendorf en acier extra-doux). — Le faisceau tubulaire est profondément corrodé à l'avant; la corrosion, que nous avons soigneu-

sément fait relever, est générale sur une longueur de 1^m,10; elle est très marquée sur 0^m,75 environ. Sur ces 0^m,75 il suffit de frapper un léger coup de marteau pour emboutir l'acier doux, qui constitue ces tubes, ou même pour les crever.

Chaudière n° 7. — La chaudière n° 7 est à peu près dans le même état que la chaudière n° 6; toutefois ses tubes résistent un peu mieux sous le marteau.

Nous donnons également l'analyse de l'eau prélevée par nos soins le 12 décembre, en fin de fabrication, à l'avant des bouilleurs de la chaudière n° 6 et à la partie inférieure de l'avant de la chaudière n° 7.

CHAUDIÈRE N° 6.

Composition du résidu de l'évaporation à 120°
(en grammes par litre).

Carbonate de chaux.....	0,110
Sulfate de chaux.....	0,280
Sulfate de magnésie.....	0,029
Chlorure de sodium.....	0,028
Alumine et oxyde de fer.....	0,009
Silice.....	0,016
Matières organiques.....	1,007
TOTAL.....	1,479

Cette eau est colorée en jaune clair; sa réaction est acide, et l'acidité, exprimée en acide sulfurique, correspond à 0^{gr},719 par litre.

L'analyse y décèle des acides oxalique, citrique, malique, tartrique et d'autres acides organiques provenant de la décomposition des matières sucrées; on y a dosé encore:

Matières glucosides.....	0 ^{gr} ,048
Et oxyde de cuivre.....	0 ^{gr} ,020

CHAUDIÈRE N° 7.

*Composition du résidu de l'évaporation à 120°
(exprimé en grammes par litre).*

Carbonate de chaux.....	0,073
Sulfate de chaux.....	0,471
Sulfate de magnésie.....	0,030
Chlorure de sodium.....	0,016
Alumine et oxyde de fer.....	0,064
Silice.....	0,027
Oxyde de cuivre.....	0,018
Matières organiques.....	1,100
TOTAL.....	1,799

Cette eau est colorée en jaune foncé, nettement acide, et son acidité, exprimée en acide sulfurique, correspond à 0^{sr},882. Elle tient 0^{sr},021 de glucosides.

Il résulte pour nous de ces analyses que des entrainements de jus sucrés se sont produits dans les appareils à cuire de MM. Brabant ; et que les acides développés par la caramélisation du sucre ont fortement attaqué les chaudières 6 et 7, particulièrement dans leurs parties les plus chauffées. L'attaque a pu être encore exagérée par la présence dans la solution de l'oxyde de cuivre emprunté aux tuyauteries d'alimentation, ou aux tubes des appareils à cuire ; nous avons remarqué, en effet, sur le tube n° 96, en dehors des parties corrodées, une tache brillante de cuivre (de la limaille prise à cet endroit a donné à l'analyse 0,95 pour 100 de cuivre), et l'on sait avec quelle facilité le fer métallique décompose certains sels, comme le sulfate ou le chlorure de cuivre.

L'accident d'Onnaing doit à nouveau appeler l'attention des fabricants de sucre et des ingénieurs sur les faits déjà signalés à plusieurs reprises dans les Congrès d'associations d'appareils à vapeur ou dans les Congrès de Sucrerie, notamment par MM. Schmidt et Vivien. Les

matières sucrées entrainées dans les chaudières s'y transforment, par un séjour prolongé, en acides organiques, qui attaquent énergiquement les tôles de fer des générateurs. Une saturation exacte des eaux, ou tout au moins de fréquentes chasses, paraîtrait le remède indiqué. Un autre danger, l'attaque du fer par les sels de cuivre (ce dernier entraîné par les eaux ammoniacales), est, comme on sait, utilement combattu par l'addition de rognures de zinc.

NOTE

SUR

L'EXPLOSION D'UN RÉCIPIENT DE VAPEUR

SURVENUE

LE 4 JANVIER 1898, DANS UNE FABRIQUE DE CAOUTCHOUC

A HALLUIN

Par M. HERSCHER, Ingénieur des Mines.

MM. Olry et Polonceau, dans une note publiée par les *Annales des Mines* en 1891, ont appelé l'attention sur les dangers présentés par l'emploi des boulons à charnière pour maintenir les obturateurs amovibles de certains récipients de vapeur. En 1897, dans une nouvelle étude sur le même sujet, insérée dans les *Annales des Mines* et les *Annales des Ponts et Chaussées*, MM. Polonceau et Walckenaer ont signalé une nouvelle série d'accidents dus aux mêmes causes et indiqué les moyens à prendre pour en éviter le retour. L'utilité de ces mesures de précaution, malheureusement encore trop souvent ignorées, vient d'être à nouveau démontrée par l'explosion d'un vulcanisateur survenue, le 4 janvier 1899, dans une fabrique de caoutchouc à Halluin (Nord) et qui a causé la mort de l'ouvrier chargé de la conduite de l'appareil. Les causes en ont été entièrement analogues à celles de certains accidents énumérés dans les études ci-dessus rappelées. La seule différence à noter réside dans le mode de fermeture du récipient en question, l'obturateur amovible étant maintenu par des boulons libres et non par des boulons à charnière. L'enquête, à laquelle a donné lieu cet accident, a permis

d'en déterminer les circonstances que la présente note a pour but d'exposer.

L'appareil en question (*fig. 1, 2*) était composé d'un cylindre horizontal de 1^m,380 de diamètre et 2^m,660 de longueur fermé à la partie antérieure par un couvercle amovible mobile autour d'une charnière verticale. Ce fond était constitué par une plaque en fer de 0^m,017 d'épaisseur emboutie en forme de calotte sensiblement sphérique. La flèche primitive n'a pu être déterminée exactement, à cause de l'ovalisation subie par le couvercle. Le pourtour formait une couronne plane de 0^m,12 de largeur venant s'appliquer sur une collerette en fonte qui terminait le corps de l'appareil et dépassait le bord de celle-ci de 0^m,012 environ.

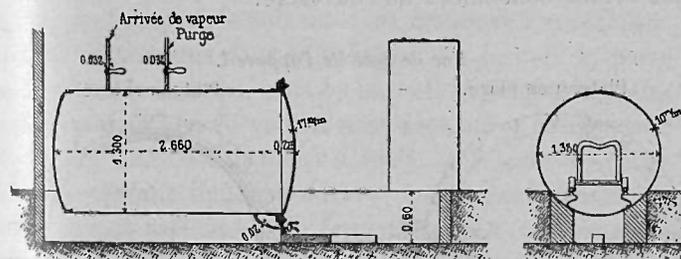


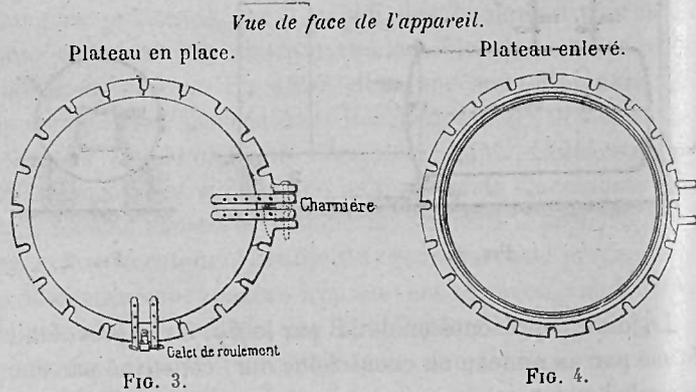
FIG. 1.

FIG. 2.

Le joint, représenté en détail par la *fig. 5* ci-après, était formé par un anneau en caoutchouc dur, constitué par une série de bandes superposées et logé dans une rainure circulaire de 0^m,040 de large et 0^m,012 de profondeur sur la collerette. La partie de la collerette où était pratiquée cette rainure était en saillie de 4 millimètres environ par rapport au bord de la bride. Le serrage était obtenu au moyen de vingt boulons amovibles serrés par des écrous tournant sur leurs tiges filetées et appuyant sur le plateau au moyen de contre-écrous. On les logeait dans des entailles

correspondantes de la bride et du plateau (fig. 3, 4). Ces entailles avaient respectivement 0^m,065 et 0^m,080 de profondeur. Dix-huit des boulons étaient à section carrée de 0^m,035 de côté, de façon à ne pouvoir tourner dans les entailles. Deux étaient à section ronde, de 0^m,027 de diamètre, et, pour les empêcher de tourner lors du serrage, on les entourait de chiffons. Aucun de ces boulons n'avait de place déterminée.

La porte s'ouvrait en tournant autour d'un boulon de charnière vertical engagé dans des œils venus de fonte avec la collerette, en ce qui concernait le corps principal, et, pour le couvercle, fixés à des brides boulonnées sur la tôle. Dans son mouvement, elle était soutenue par un galet inférieur roulant sur un rail demi-circulaire et porté par des brides boulonnées au couvercle.



Deux tuyaux de 0^m,032 de diamètre servant, l'un à l'arrivée de la vapeur, l'autre à l'expulsion de l'air contenu dans l'appareil, débouchaient à la partie supérieure de la calandre. Un manomètre y était également placé. Un tuyau purgeur de 0^m,025 de diamètre avec robinet pour l'évacuation de l'eau condensée était fixé à la partie inférieure de l'appareil. Les matières à vulcaniser étaient

introduites sur un chariot roulant sur deux rails fixés à l'intérieur du cylindre.

La vapeur était fournie à ce récipient par une chaudière Babcock et Wilcox timbrée à 8 kilogrammes. Elle était détendue entre les deux par son passage à travers un réducteur de pression ou « soupape de réduction », réglé, d'après les déclarations recueillies, de façon à maintenir la pression à 3 kilogrammes au maximum dans la calandre. Le réglage de l'appareil ayant pu être modifié avant l'enquête, aucune vérification n'a pu être faite sur ce point, qui n'a d'ailleurs pas, en l'espèce, une grande importance, le récipient qui n'avait pas été déclaré ayant été mis en fonctionnement sans avoir subi l'épreuve réglementaire pour une pression déterminée.

Le mode d'emploi de l'appareil était, d'après les déclarations de l'usager, le suivant : les matières à vulcaniser, une fois introduites dans la calandre, on fermait la porte en serrant les boulons, puis on ouvrait le purgeur en laissant entrer un peu de vapeur pour réchauffer le cylindre ; on serrait alors les boulons à fond, le robinet de purge inférieur restant toujours ouvert ; quand l'eau cessait de couler par ce robinet, on le fermait à moitié, puis on montait progressivement en pression pendant une demi-heure pour atteindre 2 kilogrammes 1/2. Cette pression était ensuite maintenue pendant un temps variant de quarante minutes à deux heures. Pour la bonne conduite de l'opération, la température de la vapeur devait rester aux environs de 140° et la pression être comprise entre 2^{kg},5 et 3 kilogrammes.

Le jour de l'accident, l'appareil avait été chargé avant l'heure du diner (midi) et les boulons serrés. La vapeur avait été admise dans l'appareil à une heure et demie. La pression était, paraît-il, entre 2^{kg},500 et 3 kilogrammes, la pression de la chaudière étant à ce moment de 5^{kg},200, quand le couvercle de l'appareil fut violemment projeté

en avant, vers 2^h,10 environ. L'ouvrier, chargé spécialement de la conduite de la calandre, se trouvait à ce moment devant elle. Les témoignages recueillis n'ont pas permis de savoir à quoi il était occupé. Il eut la tête et la partie supérieure du corps broyées et fut tué sur le coup.

Le couvercle alla heurter le mur de l'atelier situé à quelques mètres de l'appareil et retomba sur le sol sans avoir causé de dégâts bien sensibles. Il avait arraché avec lui le boulon de charnière et les œilletons en fonte de la collerette de la calandre dans lesquels il était engagé. Le reste de l'appareil ne souffrit pas de l'accident.

Les boulons de fixation furent retrouvés tous, sauf deux ou trois, dans la fosse profonde de 0^m,60 dans laquelle l'appareil était placé. Un seul était rompu, celui situé au voisinage de la charnière verticale; c'était un des deux boulons à tige ronde. L'autre, qui était placé à la partie inférieure du plateau, quoique dégagé des entailles où il avait été logé, était resté pris entre le plateau et le galet de roulement et avait été projeté sans se rompre. Tous les autres étaient tombés au voisinage immédiat de l'appareil, soit dans la fosse, soit au bord de celle-ci. Certains d'entre eux présentaient aux coins de leurs têtes parallépipédiques des traces fraîches de matage dues à un frottement énergique du métal.

Le plateau s'était ovalisé dans son choc contre le mur et sa chute. Son diamètre vertical avait, après coup, 1^m,760, tandis que le diamètre horizontal n'avait que 1^m,725. La tôle était criquée à peu près suivant l'axe d'un certain nombre de rondelles. Une seule crique paraissait fraîche et affectait toute l'épaisseur du métal sur une longueur de 2 centimètres. Les autres, qui partaient de la surface extérieure, n'avaient que quelques millimètres de profondeur. Le bord circulaire primitivement plat avait pris une forme grossièrement tronconique. C'est ainsi que l'arête circulaire intérieure de la couronne était d'un côté

à 12 millimètres, de l'autre à 13 millimètres au-dessus du bord extérieur sur le diamètre horizontal, à 3 et 7 millimètres sur le diamètre vertical. Cette déformation était certainement, en partie tout au moins, antérieure à l'accident. La preuve en était en quelque sorte écrite sur le plateau lui-même. Celui-ci portait en effet, sur la face tournée vers la calandre et sur une partie de la circonférence, l'impression très nette du bord de la collerette de celle-ci. D'autre part, les contre-écrous de certains boulons ont profondément mordu le métal du couvercle vers le fond des entailles dans lesquelles ils étaient logés et dans cette région seule. Ces deux constatations matérielles prouvent bien que, depuis longtemps sans doute, le bord du plateau avait cessé d'être plan pour s'infléchir sous l'action de la pression à laquelle l'appareil était soumis.

Assemblage du plateau et du cylindre.

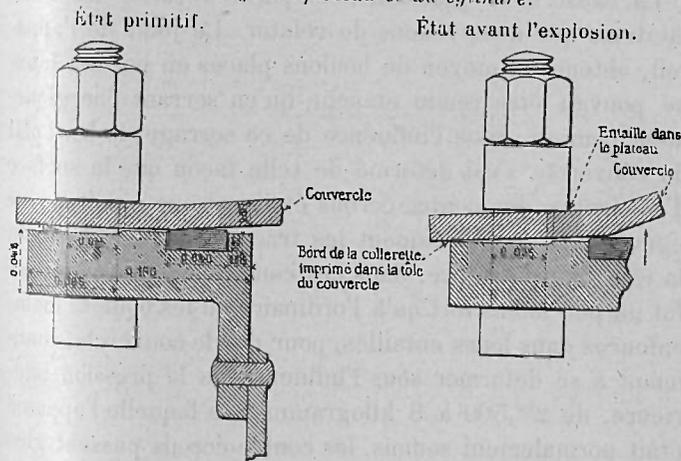


FIG. 5.

FIG. 6.

L'anneau constituant le joint, formé, comme il a été dit, de caoutchouc très dur, faisait saillie au-dessus du

bord supérieur de la rainure dans laquelle il était logé. C'était nécessaire pour obtenir l'étanchéité du joint, ainsi qu'il a été reconnu au cours de l'enquête. La déformation du plateau l'explique. Il convient de remarquer que, même dans son état primitif, le bord plat du couvercle ne portait que sur une partie de la surface de l'anneau, une couronne de 1 centimètre à 1 centimètre et demi environ, la partie emboutie commençant au delà. Avec cette faible portée, le joint devait être, dès le début, difficile à tenir étanche et, dès ce moment, on a dû avoir tendance à serrer énergiquement les boulons. Ceux-ci, agissant en porte-à-faux, ont progressivement déformé le couvercle. Au fur et à mesure que la conicité de celui-ci s'accroissait, l'arête intérieure du bord primitivement plat se relevant, il a fallu augmenter l'épaisseur de la bande de caoutchouc pour maintenir le contact. C'est là la raison de la surépaisseur constatée de l'anneau de caoutchouc.

La cause de l'explosion nous paraît résulter des constatations que nous venons de relater. Le joint de l'appareil, obtenu au moyen de boulons placés en porte-à-faux, ne pouvait être rendu étanche qu'en serrant énergiquement ceux-ci. Sous l'influence de ce serrage, le bord plat du couvercle s'est déformé de telle façon que la surface d'adhérence des contre-écrous était presque réduite à une ligne, ainsi que l'indiquent les traces d'usure que portait la tôle. Il a pu suffire, dans ces conditions, que le serrage fût un peu moins fort qu'à l'ordinaire ou les boulons moins enfoncés dans leurs entailles, pour que le couvercle, continuant à se déformer sous l'influence de la pression intérieure, de 2^{kg},500 à 3 kilogrammes, à laquelle l'appareil était normalement soumis, les contre-écrous pussent glisser sur sa surface inclinée et les boulons se renverser. Le fait que tous les boulons, sauf un seul, ont été retrouvés intacts, alors que les témoins sont d'accord pour affirmer qu'ils étaient en place quand l'accident s'est produit, est

une confirmation très nette de cette explication de l'accident.

En résumé, celui-ci doit être attribué à la défectuosité du mode d'attache du fond du récipient, insuffisant pour résister sans déformation de nature à amener le renversement des boulons à la pression de marche relativement élevée, variant de 2^{kg},500 à 3 kilogrammes, à laquelle l'appareil était soumis.

Lille, le 4 octobre 1899.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SUÈDE
POUR L'ANNÉE 1897.

La statistique de l'industrie minérale pour l'année 1897 fournit les renseignements suivants sur la production des mines et usines métallurgiques :

I. — Minerais.

	Production en 1897. Tonnes.	Différence par rapport à 1896. Tonnes.	Valeur en 1897. Francs.
Minerai de fer en roche.....	2.086.119	+ 48.025	13.903.322
Minerai d'or.....	1.662	+ 926	47.435
Minerai d'argent et de plomb..	10.068	— 5.313	324.969
Minerai de cuivre.....	25.207	+ 856	477.294
Minerai de zinc.....	56.636	+ 12.595	2.032.190
Minerai de manganèse.....	2.749	+ 693	65.434
Pyrite de fer.....	517	— 492	7.703

Les minerais de lacs et de marais, montant à 1.047 tonnes, ne sont pas compris dans les chiffres précités, de sorte que l'ensemble de la production du minerai de fer s'est élevé, en réalité, à 2.087.166 tonnes.

II. — Usines à fer.

	Production en 1897. Tonnes.	Différence par rapport à 1896. Tonnes.	Valeur en 1897. Francs.
Fonte.....	538.197	+ 43.779	48.227.106
Massiaux et fers bruts en barres..	189.632	+ 1.236	25.976.035
Lingots Bessemer.....	107.679	— 6.441	15.913.487
Lingots Siemens-Martin.....	165.836	+ 23.535	23.931.886
Lingots de fusion au creuset.....	691	+ 87	378.596
Fer et acier en barres.....	155.991	— 20.386	30.679.926
Fer et acier en bandes, verges, etc.	74.285	+ 3.938	15.163.443
Fil laminé en boucles (wire-rods).	24.234	+ 1.094	4.837.465
Tôle grosse.....	16.367	+ 926	3.959.830
Tubes et massiaux perforés.....	33.660	+ 10.833	10.532.158

La production par haut-fourneau a été de 3.737 tonnes en moyenne, pour l'année.

Le charbon de bois est, au point de vue pratique, le seul combustible employé dans les hauts-fourneaux; c'est seulement dans des cas très rares, par exemple pour la fabrication du Spiegel, qu'on le mélange avec un peu de coke anglais.

III. — Métaux autres que le fer.

	Production en 1897. Kilogrammes.	Différence par rapport à 1896. Kilogrammes.	Valeur en 1897. Francs.
Or.....	113,3	— 1,2	388.773
Argent.....	2.218	+ 135	213.498
Plomb.....	1.479.809	— 49.710	395.774
Cuivre.....	288.595	+ 40.989	353.394
Zinc sulfuré.....	24.583.000	+ 1.583.000	1.845.200

IV. — Houille.

Les mines de charbon exploitées sont situées exclusivement dans la Scanie, province la plus méridionale du royaume. On en a extrait, en 1897, une quantité totale de 224.343 tonnes, soit 1.505 tonnes de moins que l'année précédente. La valeur de ce combustible ressort à 2.237.951 francs.

L'exploitation de ces mines a fourni, en outre, 112.283 tonnes d'argile, d'une valeur de 250.564 francs.

V. — Autres substances.

	Production en 1897. Kilogrammes.	Valeur en 1897. Francs.
Sulfate de cuivre.....	1.315.357	511.520
Sulfate de fer.....	231.525	16.655
Alun.....	130.148	19.696
Plombagine.....	99.170	16.680
Oxyde de cobalt.....	700	12.649
Pyrolusite réduite en poudre.	343.000	22.885

VI. — Personnel ouvrier.

Le nombre des ouvriers employés, en 1897, à l'exploitation des mines et usines, a été de 28.332, soit 543 de plus qu'en 1896. Ces ouvriers se répartissent de la manière suivante :

	PERSONNEL OUVRIER				TOTAUX
	Souterrainement		A la surface		
	Hommes	Enfants (au-dessous de 18 ans)	Hommes	Femmes et enfants (au-dessous de 18 ans)	
Mines de fer.....	3.484	136	4.232	945	8.797
Autres mines métallifères.....	926	3	667	401	1.997
Mines de charbon.....	4.127	86	384	32	4.629
Usines à fer.....	»	»	13.953	1.151	15.104
Autres usines.....	»	»	751	54	805
Totaux.....	5.537	225	19.987	2.583	28.332

VII. — Moteurs.

Le nombre des moteurs en activité, pendant l'année 1897, ainsi que la puissance motrice déclarée par les industriels, font l'objet du tableau ci-après :

	MOTEURS EMPLOYÉS				TOTAUX	
	Dans les mines		Aux autres exploitations minérales		Nombre	Puissance en chevaux
	Nombre	Puissance en chevaux	Nombre	Puissance en chevaux		
Machines à vapeur..	491	4.828	143	8.130	334	12.958
Moteurs à eau.....	153	2.722	984	45.882	(*)1.137	48.604
Autres moteurs.....	139	771	4	120	(**)143	891
Totaux.....	483	8.321	1.131	54.132	1.614	62.453

VIII. — Accidents.

La statistique des accidents signalés dans les mines et usines comprend le nombre total des tués et celui des blessés qui sont restés deux semaines au moins sans travailler. Elle est résumée ci-après :

(*) Pour 5 de ces moteurs la puissance n'a pas été connue.

(**) Dont 102 manèges à colliers et autres moteurs sans puissance déclarée.

	NOMBRE des accidents	NOMBRE DES VICTIMES		
		Tués	Blessés ayant subi un chômage de deux semaines au moins	Total
Dans les mines.....	306	12	299	311
Dans les usines.....	397	9	390	399
Totaux.....	703	21	689	710

Il y a eu 7 tués de moins qu'en 1896 et, au contraire, 68 blessés de plus.

(Extrait de la *Sveriges officiella Statistik*.)

PRODUCTION DU PLOMB, DU CUIVRE, DU ZINC, DE L'ÉTAÏN, DU NICKEL, DE L'ALUMINIUM ET DU MERCURE DANS LE MONDE EN 1897 ET 1898 (*).

PRODUCTION DU PLOMB BRUT EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne.....	118.900	132.700
Espagne.....	169.000	179.000
Grande-Bretagne.....	40.360	49.000
Italie.....	20.500	22.500
Grèce.....	15.600	19.600
Belgique.....	14.800	14.700
Autriche-Hongrie.....	12.200	12.000
France.....	9.900	10.000
Autres pays d'Europe.....	4.500	4.500
Etats-Unis.....	179.400	195.900
Mexique.....	70.000	71.000
Canada.....	18.000	16.000
Australie.....	22.000	48.000
Amérique du Sud.....	1.200	1.200
Totaux.....	696.300	777.100

(*) Les nombres en italiques sont donnés, au moins pour partie, par estimation.

Pour les années 1890 à 1895, voir les *Annales des Mines*, 2^e volume de 1897, page 350.

PRODUCTION DU CUIVRE BRUT EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne.....	29.408	30.695
Grande-Bretagne.....	75.000	69.300
France.....	7.400	7.000
Autriche-Hongrie.....	1.296	1.418
Italie.....	2.980	3.000
Russie.....	6.100	6.100
Autres Etats d'Europe.....	1.300	1.300
<i>Importation en Europe.</i>		
Du Japon.....	11.100	12.200
D'Australie.....	10.400	14.100
D'Amérique (*).	159.430	172.000
<i>Production de ou pour l'Europe.</i>		
Production des Etats-Unis, non compris l'exportation (**).	98.798	95.172
Japon (consommation en Asie) (***).....	13.700	15.600
Production totale.....	416.912	427.885

PRODUCTION DU ZINC BRUT EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mét.	ton. mét.
Etats allemands de l'ouest, Belgique, Hollande.....	187.406	191.836
Silésie.....	95.550	99.233
Grande-Bretagne.....	23.805	27.625
France et Espagne.....	32.634	32.649
Autriche.....	8.316	7.228
Russie.....	5.852	5.664
Etats-Unis.....	89.618	104.033
Production totale.....	443.181	468.268

(*) Chili et États de l'Amérique du Sud, États-Unis, Mexique, colonies anglaises du nord de l'Amérique.

(**) Production des États-Unis : 1896, 249.328 ; 1897, 230.185 ; 1898, 245.000 tonnes.

(***) Quantités auxquelles il y a lieu, pour avoir la production réelle d'ajouter l'importation en Europe précédemment indiquée.

PRODUCTION DE L'ÉTAIN EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mét.	ton. mét.
Angleterre.....	4.523	4.267
Expéditions des Détroits en Europe et en Amérique.....	42.367	44.044
Expéditions d'Australie.....	3.521	2.459
Vente Banka en Hollande.....	9.042	9.183
Vente Billiton en Hollande et à Java.....	5.182	5.427
Importation de Bolivie en Europe.....	5.594	4.535
Vente Singkep.....	813	—
Production totale.....	71.042	69.915

PRODUCTION DU NICKEL EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mét.	ton. mét.
Suède et Norvège.....	?	?
Allemagne (*).	898	900
Etats-Unis et Canada.....	1.900	2.800
Nouvelle-Calédonie (**).	1.960	2.500
Production totale.....	?	?

PRODUCTION DE L'ALUMINIUM EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	kilogr.	kilogr.
Suisse.....	800.000	800.000
Angleterre.....	800.000	800.000
France.....	500.000	500.000
Etats-Unis.....	1.814.400	2.358.704
Production totale.....	3.414.400	3.958.704

(*) Production de la Prusse seulement, à laquelle il y aurait lieu d'ajouter le nickel produit dans le royaume de Saxe.

(**) Cette production est obtenue en France et en Angleterre au moyen des minerais de la Nouvelle-Calédonie. Elle ne comprend pas l'importation des minerais de la Nouvelle-Calédonie en Allemagne.

PRODUCTION DU MERCURE EN 1897 ET 1898.

	1897	1898
	ton. mél.	ton. mél.
Etats-Unis.....	905	1.076
Espagne.....	1.728	1.681
Autriche-Hongrie.....	532	500
Russie.....	617	633
Italie.....	192	192
Production totale.....	3.974	4.082

(Extrait des Statistische Zusammenstellungen über Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Silber, Nickel, Aluminium und Quecksilber von der Metallgesellschaft und der Metallurgischen Gesellschaft A.-G., 1899.)

NOTICE

SUR LA

CONSTRUCTION D'UNE GALERIE SOUTERRAINE

DESTINÉE

A RELIER LA CONCESSION DES MINES DE LIGNITE DE GARDANNE A LA MER

PRÈS MARSEILLE

Par M. DOMAGE, Directeur de la Société nouvelle de Charbonnages
des Bouches-du-Rhône.

(Suite et fin) (*).

DEUXIÈME PARTIE (suite).

II. — Puits E. BIVER ET ATTAQUE GARDANNE.

Ainsi que j'ai déjà eu occasion de le dire, dès 1891, au moment où nous attaquions vivement la galerie de la Mer, à la Madrague, nous nous préoccupions de créer à Gardanne un nouveau siège d'exploitation.

Convaincus que le puits desservant ces nouveaux travaux pouvait être avantageusement placé sur l'axe de la galerie, vers son extrémité, nous prîmes le parti de l'implanter en ce point et de le foncer immédiatement; il nous permettait d'attaquer la galerie de la Mer par l'extrémité opposée à la Madrague.

Le puits E. Biver, commencé le 19 mars 1891, a été achevé le 12 novembre 1892.

Deux galeries marchant vers la Madrague ont été prises à partir du puits E. Biver: l'une part de la cote 18

(*) Voir *supra*, p. 307 à 316 et p. 349 à 435.

à laquelle doivent arriver les deux galeries : inférieure (d'écoulement), supérieure (de roulage) à proximité du puits; elle a une pente descendante vers la Madrague de 1/2 millimètre par mètre; l'autre part de la cote 10,50 avec une pente légèrement montante, calculée pour qu'elle rencontre la galerie supérieure à 4 kilomètres du puits; cette distance est la longueur extrême de ces deux galeries, que l'on estime pouvoir faire du côté de Gardanne.

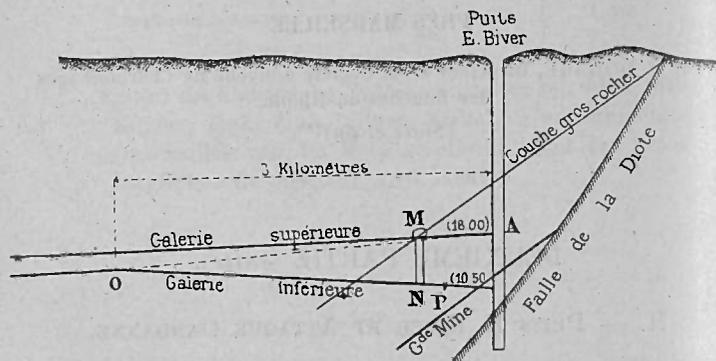


FIG. 16.

Supposons que les deux galeries ne soient poussées qu'à 3 kilomètres, par exemple, du puits E. Biver : la galerie inférieure venant de la Madrague, qui se serait prolongée suivant OA jusqu'au puits E. Biver (*fig. 16* ci-dessus), rencontrera en O la galerie inférieure à contre-pente venant du puits E. Biver.

Plus tard, les eaux afflueront des travaux de Gardanne et de Gréasque-Fuveau dans la galerie de la Mer par une galerie dans la couche Gros-Rocher, à la cote 18 au point de rencontre avec la galerie supérieure, point M. Grâce à un puits MN, elles descendront dans la galerie inférieure et de là reflueront vers le puits et vers le point O. Du côté de la galerie inférieure Madrague, le passage sera libre, mais du côté du puits l'eau sera arrêtée par

un barrage P; les matières solides qu'elle transporte se déposeront entre N et P. De temps à autre on ouvrira le barrage P et on nettoiera la galerie.

D'ailleurs, en poussant ces deux galeries simultanément, nous parons aux difficultés d'aérage et d'écoulement des eaux au front de taille pendant la période de leur exécution.

Il ne nous a jamais paru possible de pouvoir percer plus de 4 kilomètres de galerie par Gardanne sans que le débit des sources rencontrées, joint à celui des venues d'eau dans les travaux, n'excède nos moyens d'exhaure, à moins de les rendre excessivement onéreux.

Il suffit que ces 4 kilomètres soient exécutés quand l'attaque Madrague ne sera plus qu'à 4 kilomètres du puits E. Biver. Nous nous exposerions par une exécution plus hâtée à des frais d'exhaure inutiles.

Nous pouvions aussi, dans la période de percement des galeries, craindre une surprise, la rencontre d'une venue d'eau supérieure à nos moyens d'exhaure, d'où paralysie de nos travaux d'extraction. Pour parer à cette éventualité, nous avons placé des barrages dans la galerie supérieure à 305 mètres du puits E. Biver, dans la galerie inférieure à 300 mètres du même puits. Je reviendrai plus loin sur l'exécution de ces barrages.

D'après la coupe de M. Dieulafait, nous devions rencontrer, à 1.025 et 1.225 mètres du puits, des failles verticales probablement aquifères; nous avons poussé la galerie jusqu'à 1.200 mètres du puits; à ce moment, les terrains de la galerie, composés de calcaire marneux et des schistes ne donnaient pas plus de 250 litres par minute. Cependant nous les avons arrêtées à la fin de 1896; nous les avons murillées, en 1897, sur 190 mètres pour la galerie supérieure à son extrémité, et sur 260 mètres pour la galerie inférieure à son extrémité; nous étions en plein Bégudien.

Les barrages établis dans la galerie ont été fermés, et

l'eau s'est élevée jusqu'à 165 mètres au-dessus du barrage de la galerie inférieure.

Nous montons une grosse pompe capable d'exhauser 3 à 4 mètres cubes d'eau par minute de 275 mètres de profondeur (hauteur du puits E. Biver); et, au commencement de l'année 1900, nous reprendrons l'avancement de ces galeries.

Barrages. — Comme je l'ai dit en citant M. Oppermann (p. 335 et suiv. de ce mémoire), on avait dû, avant 1888, exécuter dans la section de Gréasque-Fuveau une série de barrages; j'ai donné (Pl. V) la position de ces barrages. Ils avaient été calculés par M. Michel, ingénieur des Arts et Manufactures, depuis longtemps déjà attaché à la Société des Charbonnages. C'est lui qui a étudié ceux de Gardanne, et je reproduis ci-dessous ses calculs :

Ici, surtout, où la pression de l'eau pouvait atteindre 400 mètres, les barrages devaient être placés en plein rocher solide et sain. La galerie devait avoir, au point choisi pour la construction du barrage une section aussi réduite que possible, afin de réduire la pression totale de l'eau; nous avons creusé une galerie de 1^m,20 de largeur et de 1^m,80 pour chaque barrage de hauteur sur une longueur de 15 mètres, et nous l'avons placée à peu près au milieu de cette galerie en l'encastrant solidement dans des entailles au rocher.

« *Épaisseur de béton du barrage.* — Le barrage de doublage en briques, niveau Léonie (cote 122), a une forme cylindrique à génératrices verticales; ceux de Gardanne ont une forme sphérique qui est préférable.

« Le rayon intérieur r' de la sphère étant de 1^m,50, l'épaisseur E du barrage est donnée par la formule de Combes :

$$E = -r' \pm r' \sqrt{\frac{10 \cdot q}{10 \cdot q - H}}$$

dans laquelle q est la pression par centimètre carré que l'on veut faire subir aux matériaux employés, et H la hauteur d'eau en mètres derrière le barrage : $H = 400$ mètres.

« Cette formule de Combes n'est applicable qu'à des barrages soumis à de faibles pressions, car elle entraînerait à cette conséquence que, pour une certaine pression limite, telle que $10q - H = 0$, E est infini (ce qui est inadmissible).

« Nous ne nous sommes donc pas servis de la formule de Combes pour le calcul de l'épaisseur du barrage.

« Nous avons employé la même méthode que pour le barrage en briques construit en 1888 au niveau Léonie (cote 122), qui nous avait donné pleine satisfaction, car ce barrage était sous pression depuis cinq ans, sans qu'il se fût produit la moindre fuite. Cette méthode, dans laquelle nous avons assimilé le barrage à une voûte chargée sur son extradors de la pression de l'eau et où nous avons appliqué les épures de Méry et de Durand-Claye, est décrite en détails dans la note ci-après annexée : *Considérations techniques qui m'ont servi dans l'établissement des barrages de Castellane-Léonie et de Gardanne.*

« L'épure ci-jointe (Pl. XII, fig. 8), dans laquelle nous avons pris $r' = 1^m,50$, $E = 3^m,80$ à l'échelle de 0^m,01 par mètre pour les longueurs et de 0^m,0001 par tonne pour le poids, nous prouve, par les surfaces communes $xmyn$ et $x'm'y'n'$, que les trois conditions générales d'équilibre du barrage sont satisfaites. Nous avons supposé seulement la moitié de droite de la voûte, que nous avons divisée en six voussoirs par des joints fictifs 01, 02, 03, etc., 07; nous avons supposé que la pression de l'eau ne se faisait sentir seulement que sur les trois premiers voussoirs, soit sur une longueur de la demi-voûte de $MR = 0,56 \times 3 = 1^m,68$, car au-delà de R le rocher n'a pas été enlevé, et les entailles sont en redans, ainsi que l'indique l'épure. En ne con-

Le tuyau rond de 0^m,60 de diamètre en fonte a été calculé par la formule :

$$e = \frac{r \times 1.000H}{R - 1.000H}, \quad R = 8 \times 10^6,$$

$$e = \frac{0,30 \times 1.000 \times 400}{7.600.000} = 0,0158.$$

On a fait :

$$e = 0^m,020.$$

Ce tuyau est muni, du côté de l'avancement, d'un clapet et d'une ailette, établis de façon à ce que le clapet se ferme de lui-même en cas d'une venue d'eau subite.

A l'arrière, on place après la fermeture du clapet un bouche-trou.

« *Barrage de la galerie supérieure (cote 18).* — Charge, 400 mètres d'eau. — Le barrage de la galerie supérieure se compose d'un serrement en béton, traversé par un tube rond en fonte de 1^m,80 de diamètre avec nervures et de 48 millimètres d'épaisseur.

L'épaisseur de la fonte a été calculée comme si le tube devait supporter directement toute la pression de l'eau.

Les dessins (Pl. XII, fig. 4, 5 et 6) montrent les détails de la porte de forme elliptique et dont les axes sont 1^m,80 et 1 mètre. Elle peut laisser passer un cheval et un wagonnet.

Je donne ci-dessous les calculs qui ont servi à l'établissement de ce barrage.

« *Calcul de l'épaisseur du béton.* — On a procédé, comme il a été dit, au moyen d'une épure.

On a trouvé :

$$E = 4^m,05.$$

« *Calcul de l'épaisseur du tuyau cylindrique en fonte :*

$$e = \frac{r \times 1.000H}{R - 1.000H}, \quad r = 0^m,90, \quad H = 400 \text{ mètres}, \quad R = 8 \times 10^6;$$

$$e = \frac{0,90 \times 400.000}{7.600.000} = 0^m,048.$$

« *Effort de compression du béton.* — Supposons que la pression de l'eau se fasse sentir sur toute la surface circulaire de la bride de

$$1^m,80 + 0,27 = 2^m,07 \text{ de diamètre,}$$

Surface supportant la pression : 33.653 centimètres carrés,

$$\text{Pression : } 33.653 \times 40 = 1.346.200 \text{ kg.,}$$

qui sont répartis sur quatre brides ayant chacune une surface annulaire de :

$$\begin{array}{r} 207 \dots\dots\dots 33.653 \text{ cm}^2 \\ - 190 \dots\dots\dots 28.353 \end{array}$$

$$5.302 \times 4 = 21.208 \text{ cm}^2$$

plus la surface d'arrière = 8.800 ;

$$\text{Pression par centimètre : } \frac{1.346.200}{30.008} = 44^{\text{kg}},800.$$

« *Cisaillement d'une bride :*

$$\text{Section : } 5.966 \text{ mm}^2 \times 48 = 288.000 \text{ millimètres carrés.}$$

$$\text{Travail par millimètre carré : } \frac{1.346.200}{288.000} = 4^{\text{kg}},5.$$

« *Écrasement d'un tuyau :*

$$\text{Section : } 5.834 \text{ mm}^2 \times 48 = 280.000 \text{ millimètres carrés.}$$

$$\text{Travail par millimètre carré : } \frac{1.346.200}{280.000} = 4^{\text{kg}},8.$$

« *Porte.* — Sphérique; de rayon $r = 1^m,40$.

$$R = 10^6, \quad e = \frac{1.000Hr}{2R},$$

$$e = \frac{400.000 \times 1,40}{20.000.000} = 0,028$$

pour pression intérieure, mais pour pression extérieure :

$$e' = 1,5 \times e = 0^m,042.$$

« *Nervures de la bride formant battant de la porte.* — Pièces encastrées d'un bout et soumises à l'autre à un

pois P :

$$h^2 = \frac{6pl}{Rb} \text{ (Parabole),}$$

P, pression de la porte sur une nervure = 50.000 kilogrammes,
R = 6×10^6 — b l'épaisseur de la nervure = 40 millimètres.

On trouve $h = 0^m,85$ au bout, et $0^m,65$ au milieu.

Poids du métal : 13.000 kilogrammes environ.

Le serrement est traversé par un tuyau de $0^m,150$ de diamètre portant à l'extrémité arrière un robinet-vanne.

Ce robinet-vanne est fermé par une plaque de tôle boulonnée sur la bride et, lorsque la pression s'exerce sur le barrage, on tient la vanne légèrement ouverte. La pression étant égale des deux côtés de la vanne, un homme peut, tous les huit jours, la manœuvrer, et l'on est sûr ainsi que le robinet pourra être ouvert, au moment où il conviendra de faire écouler l'eau accumulée devant le serrement.

Le joint de la porte se fait au moyen d'un anneau en fer entouré de flanelle, toujours en place.

Ces sernements sont fermés depuis la fin de 1897. La pression derrière celui de la galerie inférieure, a atteint 16 kilogrammes et demi. Tout fonctionne bien.

Les détails de construction de ces sernements, pour la maçonnerie en particulier, sont semblables à ceux donnés pour la construction des cuvelages de la galerie. »

RÉGIME ET IMPORTANCE DES EAUX RENCONTRÉES DANS LA GALERIE.

Utilisation des eaux comme eau potable et comme force motrice. — C'est le 11 juin 1892 que nous avons trouvé de l'eau pour la première fois dans la galerie, au kilomètre 2,811, au contact du terrain tertiaire et de l'infra-crétacé, et dans ce dernier terrain.

C'est par un trou de sonde qu'elle a été rencontrée;

elle jaillit alors sous une forte pression, que nous avons, d'après la section du trou et le volume d'eau débitée par seconde, évaluée à 81 mètres en hauteur d'eau, en appliquant la formule :

$$Q = K\Omega \sqrt{2gh},$$

le débit étant de 2.000 litres par minute, et Ω connu.

Depuis cette époque, à plusieurs reprises, nous avons rencontré de nouvelles sources sous pression dans la roche calcaire; nous les avons captées et cuvelées, ou nous les capterons ou cuvelerons de façon à pouvoir les utiliser.

La nomenclature en est donnée dans les tableaux des pages 468 et 469.

Les sources du premier cuvelage, dont le débit est de 6 mètres cubes, ont toujours coulé depuis qu'elles ont été rencontrées, c'est-à-dire depuis juin 1892.

A partir du 17 décembre 1892, jusqu'au 29 janvier 1893, le débit de l'eau s'est élevé à 16 mètres cubes par minute.

Du 29 janvier 1893, jusqu'au 29 août 1894, le débit a varié entre 31 et 50 mètres cubes, et a été en moyenne de plus de 40 mètres cubes.

Malgré cet écoulement constant pendant plus de deux ans et pendant une période de sécheresse remarquable, le niveau de la nappe ne s'est pas abaissé.

En effet, le 29 août 1894, après avoir fermé les tubulures du cuvelage compris entre 2.846,45 et 2.891,48, on a constaté sur le cuvelage 80 mètres de hauteur d'eau (8 kilogrammes), soit la même hauteur que celle trouvée en juin 1892, quand on découvrit la première source, et à un demi-kilogramme près la même que l'on avait trouvée lors du premier essai de fermeture des cuvelages, le 13 décembre 1893.

Toutes les eaux rencontrées sont d'une limpidité parfaite, sans couleur, sans odeur, relativement fraîches,

POSITION des sources	NATURE DU TERRAIN	POSITION des cuvelages	COTE DES SEUILS des cuvelages
Entre 2.806 et 2.816	Eboulis de calcaire à Chama avec argile rouge et calcaire à Chama.	Entre 2.802,45 et 2.820,87	2.632
A 2.830	Calcaire à Chama.	Non captée.	
Entre 2.850 et 2.890	Eboulis de calcaire à Chama avec argile rouge et calcaire à Chama.	Entre 2.829,50 et 2.846,45 Entre 2.846,45 et 2.891,68	2.680
Entre 2.898,50 et 2.907,50	Calcaire à Chama.	Entre 2.897,91 et 2.909,75	2.600
A 2.917 A 2.930 A 2.950 A 2.993 A 3.000 A 3.040 A 3.078	Calcaire à Chama. <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i>	Munie d'un tuyau. <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i> Obstruée. <i>id.</i>	
A 3.964,70	Calcaire dolomitique en bancs stratifiés.	Entre 3.962,20 et 3.970,40	4.590
Entre 4.553,50 et 4.570 A 4.597 Entre 4.619 et 4.622	Calcaire dolomitique en bancs stratifiés. <i>id.</i> <i>id.</i>	Entre 4.547,89 et 4.570,64 Entre 4.591 et 4.605,50 Entre 4.614 et 4.633	5.351 5.351 5.351
A 6.334	Calcaire jaunâtre peu gréseux à cassure vive.	Non captée.	
Entre 6.403 et 6.512,50	Calcaire blanc laiteux à fond roussâtre (calcaire à Chama).	Cuvelage à faire entre 6.400 et 6.515.	7.025 à 7.134
A 6.656,50	Calcaire dolomitique jaunâtre peu compact, un peu cristallisé et sablonneux.	A faire un bouchon en maçonnerie muni d'un tuyau.	7.268
A 6.700	Calcaire dolomitique jaunâtre en petits bancs, poches à sable.		7.322

SORTE de cuvelage	DÉRIT D'EAU captée par minute	PRESSION manométrique	HAUTEUR du terrain au-dessus des sources	
En fonte.	mètres cubes 6,000	Ouvert	mètres 97	Le 2 janvier 1893; 8 kil.
	0,300			
En maçonnerie. En fonte.	32,700	8 kil. 1/4 le 13 déc. 1893 entre 8 kil. et 11 kil. (cette dernière, atteinte en juin 1897).	101	La pression était descendue à 7 kil. fin octobre 1898, après 2 mois d'écoulement en grand de toutes les sources.
En fonte.	5,000	Entre 8 kilog. et 11 kilog. (comme dessus).	102	
	0,570 2,000 1,450 0,480 0,200 0,150 0,150		Entre 102 et 107 110	
En maçonnerie.	5,700	Entre 8 kilog. et 11 kilog. (comme dessus).	240	
En maçonnerie et partie inférieure en fonte. En maçonnerie.	9,300 3,200	Entre 8 kilog. et 11 kilog. (comme dessus et 7 kil. fin octobre 1898 après 2 mois d'écoulement en grand de toutes les sources).	270	Toutes ces sources sont en communication.
	0,500		300	
En maçonnerie et partie inférieure en fonte.	8,000		308	
En maçonnerie.	1,200		318	
	13,200		303	
	90.100			

exemptes de microbes. Ce sont d'excellentes eaux, répondant à toutes les exigences de l'hygiène.

Aussi, dès la rencontre des sources, M. Rietsch, le savant professeur à l'École de Médecine de Marseille, membre du Conseil d'Hygiène, publiait-il l'analyse ci-dessous des eaux de la galerie; je mets en regard de son analyse celle faite au Bureau d'essai de l'École supérieure des Mines de Paris.

ANALYSE FAITE PAR M. RIETSCH		ANALYSE FAITE AU BUREAU D'ESSAI DE L'ÉCOLE DES MINES	
<i>Qualité de l'eau.</i> — Eau relativement fraîche (16°), agréable au goût, d'une limpidité parfaite; un peu calcaire, mais dans une proportion très admissible pour une bonne eau potable.			
Degré hydrotimétrique, 20°.			
Résidu fixe à 120°.....	millig. 313	Résidu fixe à 180° par litre	millig. 330
Perte par calcination du résidu	97		
Oxygène emprunté au permanganate.....	1	Oxygène absorbé.....	2,8
Chaux	114,6	Chaux	120,4
Magnésie.....	30,4	Magnésie.....	22,0
Alcali dosé à l'état de chlorure	15,0		
Acide sulfurique des sul- fates.....	14,9	Acide sulfurique.....	32,8
Chlore des chlorures....	12,3	Acide chlorhydrique...	7,7
Acide carbonique total..	128,0	Acide carbonique des bi- carbonates	201,4
Silice	5,8	Silice	10,0
Ammoniaque	3,2	Potasse.....	traces
Azotate	traces	Soude.....	9,1
	324,2		403,4
Exempte de microbes.			
Excellente eau potable répondant à toutes les exigences de l'hygiène.			

Cette découverte des premières sources émut la municipalité de Marseille qui, en 1892, songea à utiliser les eaux trouvées dans la galerie de la mer comme eau potable pour la population, en les substituant, dans sa double canalisation, à l'eau de la Durance.

Une Commission nommée par la municipalité fut chargée d'examiner cette question; mais deux objections en firent ajourner la solution.

La première de ces objections portait sur la qualité de l'eau.

Quelques membres de la Commission technique pour l'adduction d'eau potable à Marseille émirent la crainte que : « étant données les relations de ces sources avec la zone de bordure du bassin de Marseille, des contaminations éventuelles se produisissent par suite de l'établissement d'agglomérations de maisons d'habitation, de la création d'exploitations agricoles et d'industries insalubres de tous genres. »

Pendant plus d'un an (de janvier 1897 à fin d'avril 1898), MM. Rietsch, professeur à l'École de Médecine, Coreil, directeur du Laboratoire municipal de Toulon, et Raybaud, préparateur à l'École de Médecine, ont fait des analyses chimiques et bactériologiques des eaux de la galerie de la mer, avant et après les fortes pluies, qui ne sont pas rares à Marseille.

Nous ne pouvons donner ici que les conclusions de leur important et consciencieux travail, ainsi formulées :

« Nous pouvons donc conclure que les eaux du tunnel de la Madrague doivent être considérées comme d'excellentes eaux potables, aussi bien d'après leur analyse chimique que d'après leur analyse bactériologique. Nous devons même ajouter qu'à ce dernier point de vue elles sont absolument remarquables.

« Souvent on a pu ensemercer 2 centimètres cubes d'eau et même plus sans qu'il y ait formation d'aucune colonie.

« Cette pureté est très constante, quand on réussit à supprimer les causes d'erreur accidentelles, telles que prises d'eau au contact des boiseries, contamination par l'air, très chargé en microbes, du tunnel, stagnation de l'eau derrière un robinet habituellement fermé.

« Les pluies, même très abondantes, n'ont aucune influence sur cette pureté des eaux. Par conséquent, les eaux de surface sont soumises à une filtration naturelle aussi parfaite qu'on peut le désirer, et l'on chercherait vainement à réaliser un aussi bon résultat par des installations artificielles coûteuses. On ne voit pas comment ces eaux pourraient être contaminées par la surface.

« Les eaux du tunnel de la Madrague offrent donc toutes les garanties désirables au point de vue hygiénique. »

Ces conclusions font définitivement justice de la première objection.

La deuxième objection portait sur la quantité d'eau que les sources pourraient fournir, d'une façon continue.

Dans la conférence faite à la Société scientifique et industrielle de Marseille, en mars 1894, M. Oppermann, Ingénieur en chef des Mines, qui faisait partie de la Commission technique pour l'adduction d'eau potable, a dit en substance ceci :

« La surface du sol sur laquelle tombe l'eau pouvant être drainée par la galerie peut s'évaluer à 135.000.000 de mètres carrés.

« La moyenne d'eau tombée par an, de 1867 à 1892, est de 0^m,558, et, en admettant un coefficient d'absorption par le sol de 50 p. 100, on arrive à un volume total de 37.800.000 mètres cubes reçus tous les ans par la nappe de la chaîne de l'Étoile, ce qui correspond à un débit moyen de 1^m,200 par seconde.

« Le volume d'eau débité par la galerie, en 1893, avait été de 17.000.000 de mètres cubes; le débit

moyen de l'année de 32 mètres cubes par minute ou plus de 500 litres par seconde, ce qui permettrait de donner 1 hectolitre d'eau par tête d'habitant.

« Quel pourra être le débit moyen annuel de toutes les sources, lorsque la galerie aura traversé tout le massif calcaire de la chaîne de l'Étoile ?

« J'ai tout lieu de croire qu'il sera supérieur à 500 litres à la seconde, car il est probable que la nappe souterraine a encore, actuellement, malgré le drainage énergique qu'opère la galerie de la mer, un écoulement notable vers la mer du côté de l'Estaque, et toute cette eau viendra affluer dans la galerie; mais ce ne sont là que des présomptions.

« Si le débit moyen ne devait pas dépasser 500 litres à la seconde et si le débit minimum s'abaissait, comme à la source de Vaucluse, jusqu'au tiers du débit moyen, il ne faudrait pas compter, pour alimenter la ville de Marseille, avec les eaux de la galerie de la mer, sur un débit supérieur à 170 litres par seconde, et personne ne pourrait, sans imprudence, garantir, dès maintenant, un débit minimum de 200 litres. »

Plus de cinq ans se sont écoulés depuis la conférence de M. Oppermann, et les faits sont venus détruire les appréhensions consciencieuses qu'il avait émises sur la quantité d'eau qui peut être fournie par la galerie et les causes de variation de la nappe.

En effet, depuis lors, la galerie, qui était au point 2.890, a été avancée de 3.810 mètres, et a atteint le kilomètre 6.700.

Du côté de Gardanne, il a été fait 1.200 mètres, de sorte que la galerie est percée sur 7.900 mètres.

Dans ce parcours de 3.810 mètres, on n'a rencontré que quatre régions aquifères de peu d'étendue, dont deux sont captées ou cuvelées, et les deux autres le seront dans un avenir prochain.

La première partie aquifère, rencontrée en juin 1892, qui s'est poursuivie jusqu'à 3.078, a été cuvelée jusqu'à 2.910 environ, et les sources isolées, au delà, simplement captées.

En somme, sur les 7.900 mètres de galerie exécutée, il n'y a eu à cuveler que 271^m,89, soit environ la trentième partie de la totalité, ce qui n'a rien d'excessif.

Il est aujourd'hui démontré que le captage des sources peut se faire sans de trop grandes difficultés, parce que le siège de chacune d'elles n'occupe pas une grande longueur et qu'elles sont assez distantes les unes des autres.

De 3.078 à 3.964 il n'y en a pas eu ;

De même entre 3.964 et 4.553,50 ;

De même encore entre 4.622 et 6.334 ;

De même enfin, entre 6.512,50 et 6.656,50.

Les sources rencontrées et à rencontrer étant toutes captées ou cuvelées, on pourra en régler le débit à volonté, soit que l'on veuille employer cette eau pour l'alimentation de la ville de Marseille, soit que l'on veuille s'en servir comme eau motrice, soit que l'on veuille réduire le débit aux environs de zéro.

Quel pourra être le débit à obtenir, sans porter atteinte au niveau de la nappe ?

Examinons, à cet effet, le débit constaté des sources depuis mars 1894.

Au moment de la conférence de M. Oppermann, le débit des sources rencontrées jusqu'alors était de 40 mètres cubes à la minute.

Ce débit atteignit 50 mètres cubes pour descendre, le 1^{er} février 1895, aux environs de 15 mètres cubes, après la fermeture des cuvelages compris entre 2.829,50 et 2.909,75 et d'une partie des sources comprises entre 2.917 et 3.078.

Ce débit est resté sensiblement constant jusqu'en

juin 1896, pour passer à 19, puis à 24^m3,7 au commencement du mois d'août suivant, à la rencontre de la source de 3.964,70.

Il est redescendu à 19 mètres cubes à la fin de septembre suivant, à la suite de la fermeture du cuvelage entre 3.962,20 et 3.970,40, et s'est maintenu à ce chiffre jusqu'au 30 mars 1897.

De fin mars à fin mai 1897, il s'est successivement élevé jusqu'à 32^m3,500, à la rencontre des sources comprises entre 4.553,50 et 4.622, et s'est maintenu à ce chiffre jusqu'au 5 novembre suivant, où il est redescendu à 20 mètres cubes, à la suite de la fermeture des cuvelages compris entre 4.547,89 et 4.633 ; il se maintint à ce chiffre jusqu'au 29 août 1898.

Le 29 août 1898, on ouvrit toutes les tubulures de tous les cuvelages et tous les tuyaux des sources isolées captées, pour un essai de deux mois d'écoulement en grand, demandé par la ville de Marseille ; le débit total fut alors de 57 mètres cubes ; ce débit descendit successivement et était de 51 mètres cubes le 29 octobre 1898, jour où tous les cuvelages et tous les tuyaux furent refermés.

Au moment de l'ouverture, la pression était de 8^{kg},5 ; au moment de la fermeture, cette pression ne fut plus que de 7 kilogrammes, mais elle s'éleva à 8^{kg},8 en quarante jours.

Du 29 octobre 1898 au 17 mars 1899, le débit est de 21^m3,600 ; il passe à cette dernière date à 30 mètres cubes, par suite de la rencontre d'eau à 6.403 ; il descend à 24 mètres cubes dans les premiers jours de mai, après le percement avec le puits de la Mure et à la suite de l'arrêt des turbines du ventilateur et du treuil, et reste à ce chiffre jusqu'au 22 juin, jour où l'on a découvert la grosse source de 6.700, source de 13^m3,2, qui fait atteindre, au débit, le chiffre de 37^m3,2 (620 litres à la seconde).

Si nous faisons la moyenne de l'eau qui s'est écoulée par minute depuis le moment de la conférence de M. Oppermann (mars 1894) jusqu'au 30 juin dernier, nous trouvons 24^m3,3, soit 405 litres par seconde.

Nous joignons à ces données des graphiques (Pl. XIII) où sont mis en regard journallement, de juin 1892 au 30 juin 1899, l'eau tombée à Marseille, la pression derrière les cuvelages, le niveau de l'eau dans le puits de la Mure et l'eau débitée par la galerie de la Mer.

Ce débit n'a pas du tout influé sur le niveau de la nappe, et très certainement un débit de 500 litres n'y influencerait pas davantage; d'ailleurs, l'expérience de juin 1892 à fin août 1894 est là pour le confirmer; malgré le soutirage d'une moyenne de plus de 32 mètres cubes par minute, soit de 533 litres par seconde, la hauteur de l'eau, qui était de 81 mètres en juin 1892, a été de 85 mètres le 13 décembre 1893 et de 80 mètres le 29 août 1894; entre le 1^{er} janvier et le 29 août 1894, il s'était écoulé une moyenne de 750 litres par seconde, et il n'était tombé que 219 millimètres d'eau.

D'ailleurs, l'expérience d'écoulement en grand, de septembre et octobre 1898, est aussi là pour le confirmer, malgré un écoulement de plus de 900 litres par seconde; si la hauteur de l'eau a un peu baissé (15 mètres environ), ce n'est en tout cas pas uniquement de ce fait; en effet, cette hauteur aurait sans doute fléchi de la même quantité par suite de la sécheresse, puisque, avant l'ouverture des cuvelages, elle avait déjà baissé de 7 mètres (de 9^m2 à 8^m5). Dans l'espace de dix jours seulement, du 19 au 29 août, elle avait baissé de 4 mètres. En 1897, le 1^{er} octobre, la hauteur de l'eau était aussi descendue au-dessous de 8 kilogrammes sous le seul effet de la sécheresse.

Il n'y a donc plus de doute à avoir sur le débit continu possible et la qualité de l'eau de la galerie.

On peut largement soutirer de la galerie un débit de 500 litres par seconde, sans influer sur le niveau de la nappe d'une eau d'une pureté exceptionnelle qui semble avoir été placée, par la Providence, à la portée d'une grande cité, en raison même de son utilité.

Si la ville de Marseille, dont les vues semblent s'être tournées vers les eaux de Fontaine-Lévêque, ne veut pas utiliser les eaux de la galerie de la mer, la Société de Charbonnages, tout en ne modifiant en rien le régime des eaux de la surface, peut utiliser comme force motrice les eaux captées le long de la galerie.

Il résulte du tableau (p. 468 et 469) que la quantité d'eau rencontrée à ce jour représente un débit de 90 mètres cubes à la minute ou 1.500 litres par seconde.

Nous savons par expérience que, pour que l'eau travaille avec toute sa hauteur de chute, à cause des étranglements des conduits, il ne faut soutirer d'une source qu'un peu moins du tiers de son débit à zéro de pression. Pour plus de sécurité, n'admettons même que le quart, soit 375 litres par seconde.

A la pression minima de 8 kilogrammes, cela représente une force en chevaux-vapeur de 400 chevaux pour les sources captées entre 0 et 6.700.

PRÉVISIONS RELATIVES A L'ACHÈVEMENT DE LA GALERIE INFÉRIEURE.

Je terminerai ce mémoire sur les procédés d'exécution de la galerie inférieure en estimant le temps nécessaire pour son achèvement, toutes réserves faites sur les aléas pouvant résulter de la rencontre de sources.

Il est évident, toutes choses égales d'ailleurs, que la durée du travail restant à faire sera d'autant moindre que l'on pourra faire par Gardanne une plus grande longueur de galerie.

M. Dieulafait avait figuré sur sa coupe une faille verticale limitant le Bégudien dans la galerie, à 1.200 mètres du puits E. Biver.

Si nous admettions l'exactitude de cette coupe, il serait peut-être imprudent de pousser la galerie au-delà de cette faille, soit au-delà du point kilométrique 13.500, distant de 1.200 du puits E. Biver, car nous nous exposerions à rencontrer, en traversant la faille, une quantité d'eau que nos moyens d'épuisement ne nous permettraient pas de monter au jour. Il faudrait refermer les barrages.

Heureusement il résulte des travaux de MM. Oppermann, Vasseur, Zurcher et Bertrand que, si l'on peut considérer la coupe de M. Dieulafait comme sensiblement exacte entre le puits de la Mure et la faille du Pilon-du-Roi sur 4.400 mètres, espace où le terrain sera un calcaire du jurassique, probablement marneux, on doit envisager, d'une manière toute différente de celle de M. Dieulafait, la disposition des terrains compris entre cette faille du Pilon-du-Roi et le puits E. Biver, voisin de la faille de la Diote.

J'ai donné, Pl. V, *fig. 1 bis*, une coupe de terrains à Valdonne (concession Saint-Savournin Sud), mise en évidence par les travaux de mine, et que MM. Oppermann et Bertrand ont publiée.

Les couches et tout le terrain à lignite viennent se plisser sous les terrains plus anciens qui les débordent.

A Gardanne, Pl. V, *fig. 2*, la coupe de la partie faite dans la galerie montre qu'on n'a pas trouvé la faille indiquée par M. Dieulafait, et que là aussi le terrain supérieur au terrain à lignite déborde sur celui-ci. La coupe Pl. IV, *fig. 2*, montre comment M. Bertrand interprète la disposition des terrains dans les zones que nous considérons.

Les géologues que nous avons nommés sont d'accord pour admettre que les terrains compris entre le puits E. Biver et la faille du Pilon-du-Roi ont été énergique-

ment plissés, de telle sorte que le Bégudien et le Fuvélien, très étirés, sont venus se placer sous les terrains qui, chronologiquement, devraient se trouver au-dessous d'eux.

J'ai donné la coupe dessinée par M. Bertrand entre le puits de la Mure et le puits E. Biver, et je transcris ici les conclusions de M. Bertrand.

« Dès qu'on aura dépassé le puits de la Mure, le percement se fera presque constamment des deux côtés dans des calcaires tendres et marneux.

« Je ne vois au Nord que trois points où la présence de grosses sources soit à craindre :

« Le Grand-Vallon (point 8.650) ;

« Le voisinage de la faille du Pilon-du-Roi entre 10.900 et 11.100, et la cuvette de Saint-Germain entre 12.300 et 12.600.

« Tout en indiquant ces possibilités, je ne crois pas à l'existence des sources au second de ces points, et je crois qu'au troisième, si on ne passe pas au-dessous du niveau des sources, elles ne donneront pas un cube d'eau qui constitue un danger sérieux pour la mine. »

Sans adopter comme certaines ces conclusions, quoique provenant d'une telle autorité, il n'est pas téméraire d'admettre que la galerie demeure dans le Bégudien sur une longueur de 2.500 à 3.000 mètres au moins au-delà du Puits E. Biver, soit entre 11.700 et 14.700.

Or ce terrain est sec et marneux, et l'avancement devra y être rapide.

D'après ce que je viens de dire, on peut calculer approximativement le laps de temps nécessaire pour achever la galerie.

Au 30 juin 1899, nous sommes du côté de la Madrague à 6.700 mètres de son entrée et, du côté de Gardanne à 1.200 du Puits E. Biver (14.700) ou au kilomètre 13.500.

Reste à faire 13.500 — 6.700 = 6.800 mètres
 dont 1.800 seront faits par le
 puits E. Biver 1.800 —
 Reste à faire au maximum.... 5.000 mètres

par l'attaque Madrague, qui, à raison d'un avancement moyen de 125 mètres par mois, peuvent être franchis en $\frac{5.000}{125} = 40$ mois.

On peut donc espérer que la galerie sera terminée en 1902.

A cette époque, nous aurons des données plus certaines sur la géologie et l'hydrologie de la contrée traversée par la galerie; il pourra être intéressant d'en faire l'objet d'un complément au présent Mémoire.

Marseille, le 17 juillet 1899.

ANNEXE.

Considérations techniques appliquées dans l'établissement des barrages de Castellane-Léonie et de Gardanne.

Répartition de la pression totale sur la face d'appui de deux solides considérés dans le cas le plus simple et le plus usuel, ou Loi du Trapèze. — Lorsque des forces telles que F', F'' , (fig. 17) agissant sur un corps solide, ont une résultante, on sait que, pour que le corps reste en équilibre, il faut que cette résultante tombe à l'intérieur de la face d'appui; mais, quelle est la répartition de cette pression totale sur les différentes parties de la base?

Lorsqu'on a deux points d'appui A, B (fig. 18), la statique montre que les deux composantes P', P'' sont $\frac{P'}{OB} = \frac{P''}{OA}$.

Pour trois points d'appui A, B, C (fig. 19), les composantes

$$\frac{P'}{BOC} = \frac{P''}{AOC} = \frac{P'''}{AOB}$$

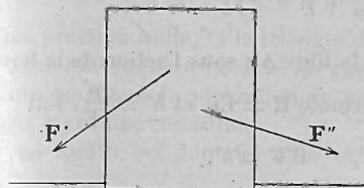


FIG. 17.

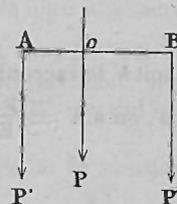


FIG. 18.

Mais, lorsqu'on dépasse trois points d'appui, la statique est impuissante, et il faut faire intervenir la théorie de la résistance des matériaux.

Supposons deux parallépipèdes rectangles, reposant l'un sur l'autre par une base d'appui bien dressée, et admettons que leur pres-

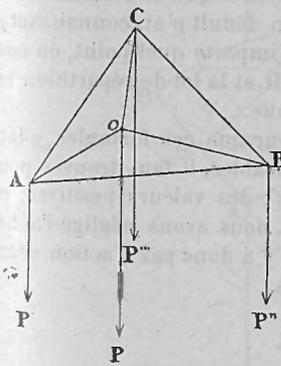


FIG. 19.

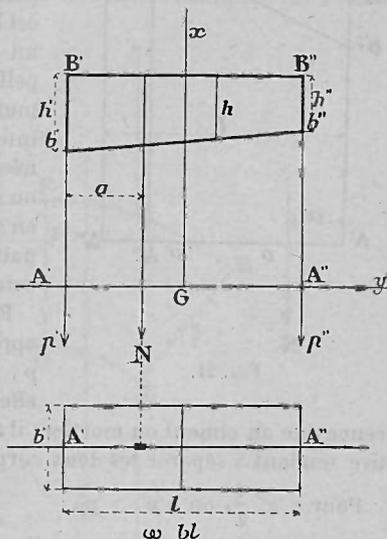


FIG. 20.

sion mutuelle N soit normale à cette base d'appui qui est un rectangle.

La sixième formule fondamentale de la flexion plane donne pour valeurs p' et p'' des compressions en A' et A'' (fig. 20) des

Supposons (fig. 22) une portion de voûte comprise entre deux plans parallèles au plan de tête et distants de 1 mètre, et cherchons les conditions d'équilibre de la portion de voûte ainsi détachée : CF joint à la clef, et AD, BE, joints aux naissances.

Poussée à la clef Q. — C'est la poussée mutuelle des deux portions de voûte en contact suivant le plan vertical CF ; soit Q cette poussée.

Ici nous ne connaissons pas la loi de déformation des différentes parties, et nous sommes obligés de nous donner arbitrairement les points de passage de certaines actions mutuelles. Il suffit de se donner trois de ces points de passage. Nous nous donnerons γ , α , β .

Les constructeurs admettent en général *avec incertitude* que le point γ est au 1/3 de FC en haut, et α , β le milieu des joints (fig. 4).

Soit X la résultante de la pression de l'eau sur la portion de gauche, et Y sur la portion de droite. Considérons seulement l'équilibre de la portion de gauche ; elle est en équilibre sous l'action de XQ et la réaction du joint DA sur la portion CFDA. Cette réaction se trouve en remarquant que les trois forces, étant en équilibre, se coupent au même point O ; donc O α sera la direction de la pression de voûte sur le pied-droit, et la réaction sera la suivante α O.

Il faut déterminer Q en grandeur et direction, car X est connu. Prenant les moments par rapport à α :

$$Qq = Xx.$$

La voûte étant symétrique, Q est horizontal, et sa valeur est :

$$Q = \frac{Xx}{q}.$$

Conditions d'équilibre. — Il y en a trois :

- 1° La première répond à la stabilité proprement dite ;
- 2° La deuxième se rapporte au *danger de glissement* ;
- 3° La troisième se rapporte à la *résistance des matériaux employés*.

Première condition. — Nous connaissons Q, partageons la demi-voûte en voussoirs à l'aide de plans convergeant au centre O (fig. 23). Soit P₁ la pression totale de l'eau sur le premier voussoir (quantité connue). La résultante totale sur le premier voussoir est la résultante de P₁ et de Q, soit O₁, O₂ que je compose avec la pression

P₂ sur le deuxième voussoir ; on a O₂O₃ etc... On a finalement R donnant α (milieu du joint environ). Le polygone γ O₁O₂O₃ α est le *polygone des pressions*.

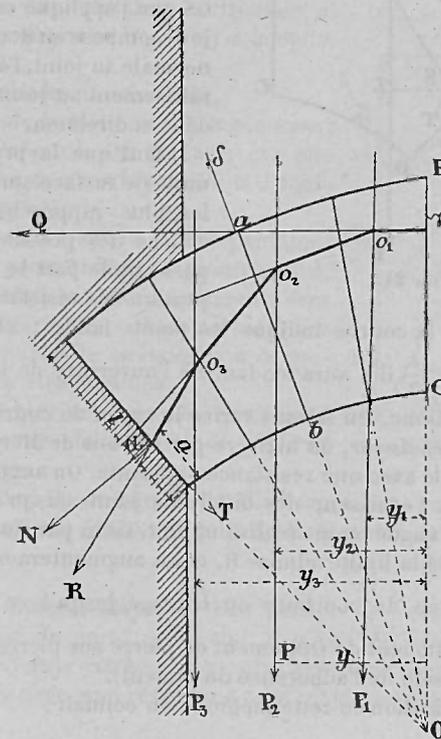


FIG. 23.

Pour que la première condition d'équilibre soit remplie, il faut que *tout le polygone de pression soit compris à l'intérieur de la demi-voûte*.

En effet, admettons par exemple O₂ en dehors de la voûte : le point de passage de la résultante O₂O₃ sur le joint *ab* sera aussi en dehors et quelque part en δ , ce qui indique que l'on a des forces divergentes en sens contraire, *positives* d'une part, et *négligées* d'autre part (cela d'après la loi du Trapèze). On a donc compression d'un côté, et extension de l'autre ; et le joint tendra à s'ouvrir à l'intrados.

Deuxième condition d'équilibre. — Soit ADCF (fig. 24) une portion de voûte Q poussée à la clef; P, pression de l'eau sur cette portion. La résultante R est OS que j'applique en δ et que je décompose en deux, l'une N normale au joint, l'autre T parallèlement au joint, en grandeur et direction.

Il faut que la pression par unité de surface sur les arêtes les plus rapprochées de la courbe des pressions ne dépasse nulle part le coefficient pratique de résistance R.

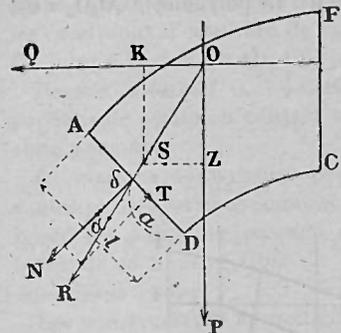


FIG. 24.

On voit que la courbe indique les points faibles; chaque fois qu'on aura $a < \frac{l}{3}$, il y aura tendance à l'ouverture de la voûte de l'autre côté. Donc, en faisant varier le rayon de courbure de la voûte et son épaisseur, on arrivera par les lois de Méry à la plus grande légèreté avec une résistance suffisante. On augmentera ou on diminuera l'épaisseur des différents joints jusqu'à ce qu'au joint le plus fatigué on ait réalisé une pression par unité de surface voisine de la limite admise R, et on augmentera ou on diminuera le rayon de courbure du barrage jusqu'à ce que $\frac{T}{N} < f$, f étant le coefficient de frottement de pierre sur pierre (en tenant compte au besoin de l'adhérence du ciment).

Dans l'application de cette méthode on connaît :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{fig. 23}).$$

Pour avoir la position de P, on prend les moments par rapport à CF; on a :

$$PY = P_1Y_1 + P_2Y_2 + P_3Y_3$$

et

$$Y = \frac{P_1Y_1 + \dots + P_3Y_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

P et Q se coupent en O (fig. 24); la pression totale doit passer par δ et par O, c'est donc Oδ en direction et, comme P est connu, on le porte en OZ, et SZ est la poussée, OS la pression totale R.

On compose R avec P₂, et ainsi de suite pour tous les joints; la dernière résultante R doit passer par α milieu de l.

Les directions des différentes résultantes R, R₁ sur les joints peuvent être données par le théorème de Varignon, ou polygone funiculaire, en prenant Q horizontale et P₁P₂P₃ sur verticales (fig. 25); à la suite, on a R₁R₂R₃.

Cette méthode est très juste.

La méthode de Méry est très ingénieuse; mais elle présente des lacunes, car elle prouvera simplement la possibilité d'équilibre du barrage.

En effet, on a tracé la courbe par tâtonnement en prenant trois points au hasard, et, si ces points satisfont, la stabilité sera assurée; mais, si la poussée ne passe pas par γ, la courbe de pression qui se produira pourra être modifiée.

Pour combler ces lacunes, nous nous sommes servis de la méthode d'Alfred Durand-Claye.

Il y a aussi la méthode de M. Peaucellier, parue dans le *Mémorial du Génie* (1875), — celle de M. Gaubert (E. C. P.) (*Génie civil*, 1875).

Méthode Durand-Claye. — Une portion de voûte étant donnée à partir du joint à la clef, il s'agit de déterminer par rapport aux joints extrêmes toutes les pressions compatibles avec l'équilibre et avec une résistance convenable imposée aux matériaux.

On admettra que la deuxième condition d'équilibre est satisfaite, et on vérifiera les première et troisième conditions.

Première condition relative à l'équilibre proprement dit. — Soit C₀d₀cd la portion de voûte dont le poids-surcharge P est supposé connu, ainsi que Q.

Poussées à la clef compatibles avec l'équilibre de la voûte. — Ce sont toutes celles qui, composées avec P, donnent des pressions totales dont le point d'application est à l'intérieur du joint Cd. Pour les avoir, nous allons supposer (fig. 26) que la poussée à la clef parcourt tout le joint C₀d₀, tandis que la pression totale passe toujours par le joint δ, et nous ferons ensuite varier δ à son tour.

Prenons d'abord d₀δ, et portons la valeur connue de P en As.

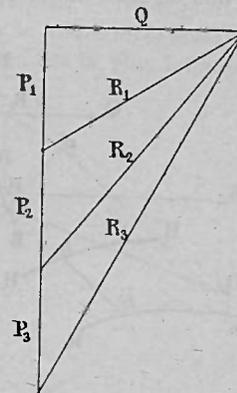


FIG. 25.

On a AD comme résultante R, et AB comme poussée. De même pour γ , C_0 on a A_1B_1 et A_0B_0 .

Pour déblayer l'épure, on porte ces poussées à la clef en $d_0m = AB$, $\gamma m_1 = A_1B_1$, et $c_0n = A_0B_0$. On a la courbe mn qui est le lieu des extrémités des poussées à la clef, δ restant fixe.

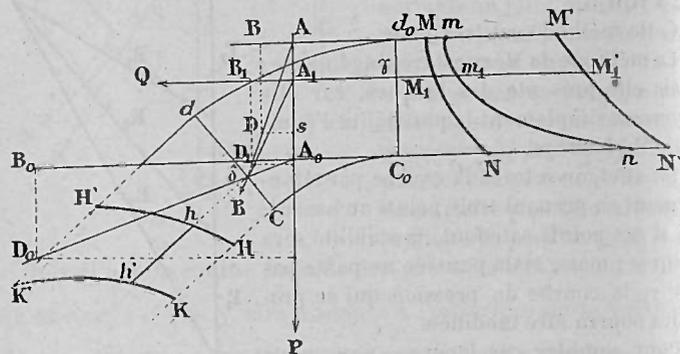


FIG. 26.

On peut en δ mener une normale au joint cd et porter, dessus, à partir de δ , les valeurs des composantes normales au joint des pressions totales. Cette pression normale augmente quand γ descend, et, δ étant fixe, le lieu des extrémités de ces composantes normales sera une droite hh' .

Nous allons maintenant faire varier δ depuis c jusqu'en d . Quand δ s'éloigne de c , il y a augmentation de la poussée à la clef, car l'angle de la pression totale avec la verticale augmente.

Quand δ est en C , le lieu des extrémités de la poussée est MN ; quand δ est en d , on a $M'N'$.

Pour qu'il y ait équilibre, il faut que l'extrémité de la poussée de la clef tombe dans l'intérieur de $MNM'N'$.

Quand la poussée est en c_0 , l'extrémité de la composante normale est la plus petite, cH , et l'extrémité de cette composante parcourt HK .

En d_0 c'est $H'K'$, et on a les courbes $H'H$, $K'K$; c'est à l'intérieur de cette figure $H'HK'K$ que doit tomber l'extrémité de la pression normale sur le joint.

Importance qui existe entre les figures $HKH'K'$ et $MNM'N'$. — Les arcs d'un contour répondent point par point aux côtés rectilignes de l'autre.

Côté HK	correspond à	MN
Côté H'K	—	M'N'
HH'	—	côté MM'
KK'	—	côté NN'

Conditions relatives à la résistance des matériaux. — Soit le joint cd divisé en trois parties égales (fig. 27); en α le milieu. Si la pression normale tombe dans $\alpha\alpha_1$, c'est l'arête c qui est la plus fatiguée, soit $c\delta = x$; la pression sera $\frac{2N}{3x}$.

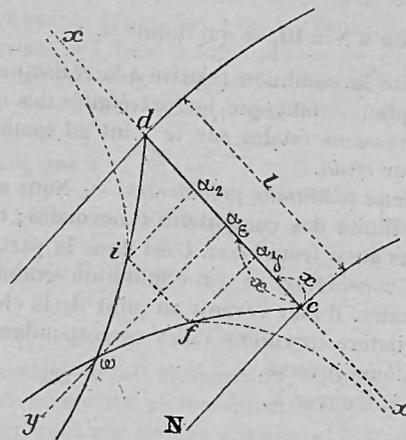


FIG. 27.

Le point d'application étant ϵ , $c\epsilon < \frac{l}{2}$, la pression maximum en c est $\frac{2N}{l} \left(2 - \frac{3x}{l} \right)$. La pression est la même pour ad que pour ac .

R, coefficient pratique à ne pas dépasser.

Dans le premier tiers $\alpha\alpha_1$, on devra avoir:

$$\frac{2N}{3x} < R \quad \text{ou} \quad \frac{2N}{3x} = R,$$

ou

$$N = \frac{3}{2} Rx,$$

équation d'une droite, pour $x = 0$, $N = 0$:

$$\text{pour } x = \frac{l}{3}, \quad N = \frac{Rl}{2} \text{ (droite } cf).$$

Plaçons-nous dans le deuxième tiers, $ce = x$, on devra avoir :

$$\frac{2N}{l} \left(2 - \frac{3x}{l} \right) \leq R,$$

ou

$$Nx - \frac{2}{3}lN + \frac{Rl^2}{6} = 0,$$

de la forme $xy + ay + c = 0$ (équation d'une hyperbole équilatère). L'axe des x est une asymptote, l'autre est parallèle à l'axe des N .

Pour $x = \frac{l}{2}$, on a $N = Rl$, ce qui donne ω .

Donc, pour que la condition relative à la résistance des matériaux soit remplie, il faut que les extrémités des composantes normales des pressions totales sur le joint cd tombent à l'intérieur du contour $cfoid$.

Réunion des deux conditions précédentes. — Nous avons trouvé $HH'KK'$ comme limite des composantes normales; mais, d'autre part, nous avons aussi trouvé cwd . C'est donc la partie commune $\lambda\rho\sigma\theta$ qu'il faut considérer, ce qui élimine un grand nombre de pressions normales. Il faut revenir au joint de la clef et y construire le quadrilatère curviligne $\lambda'\rho'\sigma'\theta'$ correspondant à $\lambda\rho\sigma\theta$.

C'est le problème inverse.

Connaissant λ , trouver λ' .

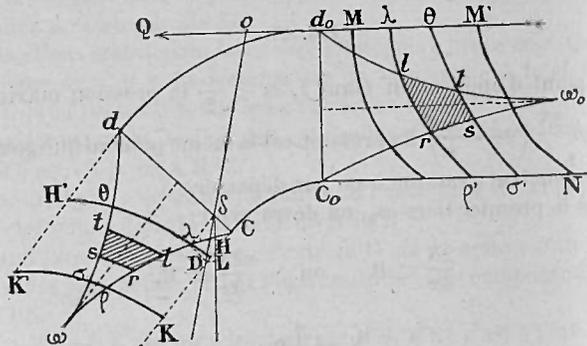


FIG. 28.

λ est sur HH' (fig. 28) correspondant à MM' . Soit $d_0o = Q$, on a $o\delta$ la direction de la pression totale, et λD parallèle à cd donne D et DL comme poussée que l'on porte en $d_0\lambda'$.

A la clef, on ne doit considérer que les poussées dont les extrémités tombent dans l'intervalle $\lambda'\rho'\sigma'\theta'$. Mais il faut aussi, pour le joint à la clef, tenir compte de la résistance des matériaux et construire l'aire limitative $\omega_0 d_0 c_0$, et ne considérer que la partie commune $lrst$ qui a son correspondant en $l'r's't'$.

Si nous considérons un point quelconque des deux contours $lrst$, $l'r's't'$, ce point déterminera sur l'une des arêtes extrêmes la pression limite de R kilogrammes, soit à l'extrados, soit à l'intrados.

Donc, il n'y a que les sommets conjugués des deux contours qui sont les points dangereux pour les deux joints à la fois.

La composante T tend à faire glisser les deux parties de la voûte l'une sur l'autre par rapport au joint AD (fig. 3), et l'action de cette force est contre-balançée par le frottement de glissement du joint, qui est fN .

Il faut donc que $T < fN$, ou

$$N \tan \alpha < N \tan \varphi, \quad \text{car } f = \tan \varphi.$$

φ étant l'angle de frottement, ou

$$\alpha < \varphi.$$

Il faut donc que α soit inférieur ou, au plus, égal à l'angle de frottement de pierre sur pierre, qui est $f = 0,76$ ou $\varphi = 37^\circ 14'$.

Donc, pour qu'il n'y ait pas glissement suivant un joint quelconque, il faut que la pression totale qui correspond à ce joint fasse avec la normale à ce joint un angle $\alpha < f$ (en négligeant l'adhérence du ciment).

Troisième condition. — On applique la loi du Trapèze, en ne considérant sur chaque joint que la composante normale N .

Il y a trois cas à considérer :

- 1° $a < \frac{l}{3}$;
- 2° $\frac{l}{2} > a > \frac{l}{3}$;
- 3° $a > \frac{l}{2}$.

On détermine, pour chaque cas, la pression maximum, comme nous l'avons vu dans la loi du Trapèze, et il faut que cette pression par unité de surface au joint le plus comprimé soit plus petite

que R, limite pratique de résistance admise dans les matériaux. C'est là l'ensemble des lois de Méry.

Résumé. — Quand on s'est donné les trois points γ, α, β , on construit la *courbe des pressions*, qui doit être à l'intérieur de la voûte. Il faut qu'elle coupe tous les joints sous des angles plus grands que $(90^\circ - \varphi)$, et enfin on est conduit à tracer les courbes.

S'il n'y a pas d'aire commune, la voûte ne résiste pas.

S'il n'y a qu'un point commun, c'est limite. Si le quadrilatère est grand, la voûte est trop forte. On trace les quatre courbes de pressions par les quatre sommets l, v, t, s , pour juger des parties faibles de la voûte.

On prend les points extrêmes l, s , qui donnent :

Q maximum pour l et minimum pour s .

L'épure de Durand-Claye faite pour le barrage en briques du niveau Léonie, coté 122 à l'échelle de 0^m,05 par mètre pour les longueurs et de 0^m,0005 par tonne pour les poids, a donné comme valeur de Q :

Q maximum en $l = 140.000$ kilogrammes;
Q minimum en $s = 60.000$ —

La pression à laquelle a à résister ce barrage est de 110 mètres d'eau, soit 11 kilogrammes par centimètre carré.

Nous nous sommes donnés comme valeur de R, résistance pratique des briques à l'écrasement, $R = 10$ à 11 kilogrammes par centimètre carré.

Nous considérons seulement la demi-voûte de droite sur une hauteur de 1 mètre, que nous décomposons en six voussoirs par des joints fictifs normaux à l'intrados.

La charge de l'eau agit seulement sur les trois premiers voussoirs avec une intensité sur chacun d'eux égale à :

$$40 \times 100 \times 11 = 44.000 \text{ kilogrammes.}$$

La résultante des pressions agissant sur cette demi-voûte est donc :

$$P = 44.000^{\text{kg}} \times 3 = 132.000 \text{ kilogrammes.}$$

Épure de Méry. — Connaissant les deux poussées extrêmes Q et Q', données par l'épure de Durand-Claye, traçons les deux courbes de pression leur correspondant, en composant ces poussées avec les surcharges de $44.000^{\text{kg}} = P$ agissant sur les trois pre-

miers voussoirs; en joignant tous les joints de rencontre de ces résultantes avec les joints correspondants, on obtient les deux courbes des *centres de pression*.

Décomposons chacune des résultantes formant le polygone des pressions en une pression normale N au joint et une pression tangente T à ce même joint, et évaluons ces pressions à l'échelle du dessin. Le rapport $\frac{T}{N}$ montrera que la deuxième condition d'équilibre, relative au danger de glissement, est elle-même satisfaite.

L étant la longueur constante de chaque joint, on évalue sur l'épure la distance a du point d'applique de la composante normale N à l'extrémité du joint qui est la plus rapprochée, et on calculera la *pression maximum* R, qui s'exerce sur l'arête la plus rapprochée, par la *loi du Trapeze*.

Cette pression R sera donnée par :

$$R = \frac{2N}{l} \left(2 - \frac{3a}{l} \right) \quad \text{pour } a > \frac{l}{3},$$

et par

$$R = \frac{2N}{3a} \quad \text{pour } a < \frac{l}{3}.$$

- On vérifiera ainsi si, en tous les points les plus fatigués, la pression maximum R dépasse la limite adoptée de 10 kilogrammes par centimètre carré ou 100.000 kilogrammes par mètre carré.

- Les résultats ainsi fournis par l'épure de Méry pour les deux polygones des pressions sont consignés dans les deux tableaux ci-dessous :

COURBE DES PRESSIONS $\gamma\lambda\gamma'$.

NUMÉROS DES POINTS	ÉPAISSEUR l des joints	PRESSIONS normales N	DISTANCE à l'arête la plus rapprochée a	PRESSION	PRESSION	RAPPORTS
				maximum R	tangente T	$\frac{T}{N}$
1	mètres 3.000	kil. 140.000	1,040	kil. 89.600		
2	—	142.000	1,070	88.040	36.000	0,253
3	—	150.000	1,170	81.950	70.000	0,466
4	—	166.000	1,300	77.350	104.000	0,626
5	—	171.000	1,500	57.000	91.000	0,592
6	—	176.000	1,380	72.688	80.000	0,454
7	—	180.000	1,300	83.880	68.000	0,377

COURBE DES PRESSIONS XXX'.

NUMÉROS DES POINTS	ÉPAISSEUR l	PRESSIONS normales N	DISTANCE à l'arête la plus rapprochée a	PRESSION maxima R	PRESSION tangente T	RAPPORTS $\frac{T}{N}$
	mètres	kil.		kil.	kil.	
1	3.800	60.000	0,440	90.000		
2	—	64.000	0,550	77.500	40.000	0,625
3	—	70.000	0,850	55.000	78.000	1,110
4	—	84.000	1,200	45.000	118.000	1,400
5	—	91.000	1,400	36.400	112.000	1,230
6	—	98.000	1,060	61.800	106.000	1,080
7	—	106.000	0,780	90.000	100.000	0,940

Nous voyons que la pression maximum ne dépasse pas sur les joints 10 kilogrammes par centimètre carré et que le rapport $\frac{T}{N}$ tendant à reproduire le glissement ne dépasse pas 1.400, qui est bien inférieur à l'adhérence que produit un bon ciment. Les trois conditions d'équilibre sont ainsi vérifiées.

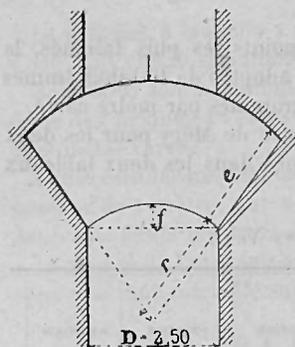


FIG. 29.

Ce barrage cylindrique (fig. 29), construit à la cote 122 niveau Léonie a, comme dimensions : ouverture de la voûte ou largeur de la galerie, $D = 2^m,500$:

$$r, \text{ rayon de l'intrados} = 3^m,00;$$

$$f, \text{ flèche à l'intrados} = \frac{D}{8};$$

$$e, \text{ épaisseur voûte} = 3^m,00$$

L'épure montre que, si f diminue r augmente, la composante normale N à chaque joint diminue, et, au contraire, si la composante tangentielle T augmente, le rapport $\frac{T}{N}$ augmente et, pour qu'il n'y ait pas *danger de glissement*, il faut augmenter l'épaisseur de la voûte.

Au contraire, si f augmente, r diminue, et l'épure montre que

N augmente et T diminue ; le rapport $\frac{T}{N}$ diminue, il n'y a plus danger de glissement, mais il y a *danger d'écrasement*, car $R = \frac{2N}{3a}$ (pour $a < \frac{l}{3}$) dépasse bientôt la limite adoptée de 10 kilogrammes par centimètre carré et, pour qu'il n'y ait pas danger d'écrasement, il faut encore augmenter l'épaisseur de la voûte.

On comprend qu'il y ait une épaisseur de voûte minimum pour une valeur de r convenablement appropriée, et c'est ce que permettent de vérifier les épures de Durand-Claye et de Méry.

TABLE DES MATIÈRES.

Introduction.	
	Pages.
Objet de la Notice	307
PREMIÈRE PARTIE.	
Classification géologique du bassin de Fuveau.....	309
Situation du bassin de Fuveau :	
Vue d'ensemble.....	311
Région de Valdonne, Fuveau, Trets.....	312
Région de Gardanne.....	313
Concessions du bassin de Fuveau.....	313
Couches du bassin de Fuveau :	
Classification des couches.....	317
Direction et pente.....	319
Failles.....	320
Analyse du lignite.....	320
Essai du lignite à la bombe Malher.....	321
Production du Bassin de Fuveau et évaluation de ses richesses.	321
Tableau donnant la production du Bassin de Fuveau de 1872 à 1898.....	322
Caractère du bassin de Fuveau au point de vue hydrologique...	324
De l'épuisement dans le bassin de Fuveau.....	330
Genèse du projet de la galerie.....	338
Décret d'utilité publique du 28 février 1889.....	341

DEUXIÈME PARTIE.

	Pages.
Exécution de la Galerie souterraine.....	349
PROCÉDÉS D'EXÉCUTION DE LA GALERIE INFÉRIEURE.....	355
I. — <i>Attaque Madrague.</i>	
Traversée du tertiaire.....	360
Disposition des coups de mine.....	360
Prix de revient pour 1 mètre courant de galerie d'avancement..	364
Transport des déblais.....	367
Aérage.....	369
Tableau donnant le résultat d'essais concernant le ventilateur Ser installé à l'entrée de la galerie.....	371
Traversée des calcaires secondaires.....	372
Nappes souterraines dans les massifs calcaires, sources qui en jaillissent.....	374
Nappes de la chaîne de l'Etoile.....	377
Rencontre des eaux dans la galerie.....	379
Avancement dans les roches calcaires et cuvelages.....	381
Exécution du tronçon de cuvelage de 2.802,45 à 2.820,85.....	384
Montage des pièces du cuvelage.....	387
Emploi de l'eau sous pression et de l'électricité pour le creusement de la galerie.....	392
Description des appareils de perforation électrique.....	399
Description de la turbine.....	399
— de l'accouplement Raffard.....	403
— de la dynamo génératrice.....	403
— des tableaux et appareils.....	407
— des isolateurs.....	407
— des moteurs.....	411
— des perforatrices et appareils accessoires.....	411
— des appareils de commande.....	412
Aérage et transport des déblais en employant l'eau sous pression comme force motrice.....	413
Mise en service d'une locomotive électrique.....	415
Primes d'avancement données aux ouvriers.....	421
Tableau du prix de revient pour un avancement de 2 mètres par vingt-quatre heures, en travaillant à la main.....	422
Tableau du prix de revient pour un avancement de 5 ^m ,586 par vingt-quatre heures, en travaillant avec les perforatrices.....	423
Exécution d'un cuvelage, partie en fonte et béton de ciment, partie en béton de ciment seul.....	424
Cuvelage en ciment de 4.548 à 4.632,75.....	425
Tableau comparatif des prix de revient, au mètre courant, des divers cuvelages exécutés et de leur durée d'exécution.....	428

	Pages.
Transformateurs et câbles isolés à fort voltage.....	431
Prix des appareils électriques et de perforation.....	433

II. — Puits E. Biver et attaque Gardanne.

Puits E. Biver et galeries exécutées par l'attaque Gardanne.....	457
Barrages établis sur ces galeries.....	460
Calcul de l'épaisseur du béton des barrages :	
Par la formule de Combes.....	460
Au moyen d'une épure.....	461
Barrage de la galerie inférieure devant supporter une charge d'eau de 400 mètres (cote 10,50).....	463
Calcul de l'épaisseur du béton.....	463
Calcul de l'épaisseur du tuyau en fonte le traversant.....	464
Barrage de la galerie supérieure devant supporter une charge de 400 mètres d'eau (cote 18,00).....	464
Calcul de l'épaisseur du béton.....	464
Calcul de l'épaisseur du tuyau cylindrique en fonte le traversant.....	464
Effort de compression du béton.....	465
Cisaillement d'une bride.....	465
Ecrasement d'un tuyau.....	465
Porte.....	465
Nervures de la bride formant battant de la porte.....	465

RÉGIME DES EAUX.

Régime et importance des eaux rencontrées dans la galerie.....	466
Utilisation des eaux comme eau potable et comme force motrice.....	466
Analyse des eaux rencontrées dans la galerie.....	470

PRÉVISIONS RELATIVES

A L'ACHÈVEMENT DE LA GALERIE INFÉRIEURE.....	477
--	-----

Annexe.

Considérations techniques appliquées dans l'établissement des barrages de Castellane-Léonie et de Gardanne.....	480
Répartition de la pression totale sur la face d'appui de deux solides considérés dans le cas le plus simple et le plus usuel, ou Loi du Trapèze.....	480
Stabilité des voûtes.....	483
Conditions d'équilibre.....	484
Méthode Durand-Claye.....	487
Résumé.....	492
Epure de Méry.....	492

NOTE

SUR LA

DÉTERMINATION DES CHARGES

REMORQUÉES PAR LES LOCOMOTIVES
ET SUR CELLE DES QUANTITÉS DE VAPEUR CONSOMMÉES
AUX DIFFÉRENTES CONDITIONS DE LA MARCHÉ

Par M. F. MAISON, Ingénieur au Corps des Mines.

I. — Préliminaires.

Le problème de la détermination *a priori* des charges que peut remorquer une locomotive est, comme on le sait, déterminé lorsqu'on sait calculer le travail \bar{c} produit par la vapeur par coup de piston pour un degré d'admission z donné.

Si, en effet, F désigne l'effort de traction à la jante de la locomotive, supposée à deux cylindres par exemple, D le diamètre des roues motrices en mètres, on a d'abord la relation

$$F = \frac{4\bar{c}}{\pi D}$$

\bar{c} étant une fonction de z , le second membre de cette équation sera lui-même une fonction de z . Soit $f(z)$ cette fonction. Le premier membre dépend du poids du train remorqué Q , de l'inclinaison de la voie i et de la vitesse de marche v . On peut le représenter par une fonction de ces trois quantités, $\varphi(Q, i, v)$. On a donc une première équation :

$$(1) \quad \varphi(Q, i, v) = f(z)$$

entre les quantités Q , i , v et z , qui permet de voir comment varient la charge et la vitesse sur une voie d'inclinaison donnée i , en fonction de l'admission z , quand on ne tient pas compte de la puissance de production de vapeur du générateur.

Or cette puissance est limitée et ne peut pas dépasser un certain chiffre, qui dépend à la fois de la surface de chauffe, de la surface de grille, de la puissance du tirage et de la qualité du combustible. Désignons par K cette puissance, c'est-à-dire la quantité de vapeur que le générateur peut produire dans une heure. Bien qu'il semble que la puissance de vaporisation soit plus élevée aux grandes vitesses qu'aux faibles vitesses, probablement parce que le tirage est plus régulier, nous admettrons, comme on le fait généralement en France, avec Couche et Marié, que K est constant pour une machine et un combustible donnés. La vapeur consommée par coup de piston dépend de l'ouverture z des lumières d'admission, et aussi des espaces nuisibles, des condensations qui se produisent pendant la marche du piston et de la vitesse du piston. On conçoit que toutes ces quantités puissent être déterminées en fonction de z , en sorte que cette consommation est elle-même une fonction de z . L'expérience montre que l'on peut très approximativement représenter cette fonction par une expression du 1^{er} degré. La quantité de vapeur consommée par kilomètre C n'est autre chose que la précédente multipliée par $\frac{4000}{\pi D}$, puisqu'il y a quatre coups de piston par tour de roue, et elle est également une fonction de l'admission. Désignons-la par $\psi(z)$, que nous supposons donc du 1^{er} degré. Si v est évaluée en kilomètres par heure, la consommation de vapeur à l'heure est $v\psi(z)$, et l'on a :

$$(2) \quad C = \psi(z),$$

$$(3) \quad v\psi(z) \leq K.$$

Les valeurs de v et de z , qui satisfont à la première équation, doivent également vérifier l'inégalité qui précède. En supposant que l'on remplace, dans cette inégalité, le signe \leq par le signe d'égalité, on aura une nouvelle relation :

$$(4) \quad v \cdot \psi(z) = K,$$

que les valeurs de v et de z devront vérifier, et qui correspondra au cas où la machine déploie toute sa puissance de production de vapeur. La détermination des charges remorquées en fonction de la vitesse, à travail complet, est donc donnée par les deux équations :

$$(1) \quad \left. \begin{array}{l} \varphi(Q, i, v) = f(z) \\ (4) \quad v \cdot \psi(z) = K. \end{array} \right\}$$

Ces formules permettent de déterminer théoriquement Q et z en fonction de v , ou v et z en fonction de Q , c'est-à-dire d'avoir, d'une part, les valeurs de Q et de v qui se correspondent sur une voie d'inclinaison donnée i , et, d'autre part, les consommations kilométriques correspondantes.

En éliminant z entre les équations (1) et (4), on obtient l'équation fondamentale de la détermination des charges :

$$(5) \quad \varphi(Q, i, v) = f_1(v),$$

$f_1(v)$ désignant ce que devient $f(z)$ quand on y remplace z par sa valeur tirée de (4). Elle établit la corrélation entre les charges et les vitesses sur une rampe donnée i , quand la machine donne toute sa puissance. La consommation kilométrique de vapeur correspondante est évidemment représentée par :

$$C = \psi(z) = \frac{K}{v}.$$

Mais la machine ne peut pas exercer toute sa puissance sur tout son parcours; il faudrait pour cela qu'elle modifiât

sa vitesse suivant le profil, de manière à vérifier continuellement l'équation (5); on serait amené à donner au train une marche totalement désordonnée, et d'ailleurs, dans certains cas, sur les pentes faibles on serait conduit à des vitesses excessives, et, sur les pentes un peu plus fortes, à une impossibilité absolue. Sur les points où la machine n'exerce pas toute sa puissance, on doit considérer v comme déterminée par d'autres considérations; la consommation de vapeur s'obtient alors en résolvant l'équation (1) par rapport à z et substituant sa valeur dans l'équation (2).

Au point de vue théorique, le problème de la détermination des charges et des consommations de vapeur est donc complètement résolu par l'ensemble des trois équations (1), (2) et (5).

En fait, la solution reste purement théorique, à cause de la forme de la fonction $f(z)$. Le travail de la vapeur par coup de piston, en fonction de l'admission, s'évalue *a priori* à l'aide de formules dans lesquelles il entre des expressions transcendantes. L'une des plus simples, mais d'une approximation un peu insuffisante, est celle de Poncelet, dont se sont servies plusieurs Compagnies, la Compagnie de Lyon en particulier, pour établir leurs *livrets de charges*. M. l'ingénieur en chef des Mines Ledoux l'a transformée, en tenant compte de l'expérience, et en a donné une plus exacte. L'une et l'autre de ces formules renferment une expression logarithmique. On ne peut donc plus algébriquement résoudre l'équation (1) par rapport à z et trouver la consommation de vapeur correspondant à une marche donnée sur une rampe donnée. Mais le problème est susceptible d'une solution simple par les méthodes graphiques, et c'est cette solution que nous nous proposons de faire connaître.

Avant d'en commencer l'exposé, je m'empresse d'exprimer toute ma profonde gratitude à M. l'inspecteur géné-

ral des Mines Vicaire, qui a bien voulu me guider de ses conseils pour la rédaction de ce travail.

II. — Exposé de la méthode.

Reprenons les équations primitives de la question, (1), (2) et (4):

$$\begin{aligned} (1) \quad & \varphi(Q, i, v) = f(z) \\ (4) \quad & v \cdot \psi(z) = K \\ (2) \quad & C = \psi(z). \end{aligned}$$

Désignons par V le premier membre de l'équation (1), et par U la fonction $f(z)$.

L'équation (1) équivaut aux trois équations suivantes:

$$\begin{aligned} (6) \quad & V = \varphi(Q, i, v) \\ (7) \quad & U = f(z) \\ (8) \quad & V = U. \end{aligned}$$

La fonction φ , qui définit l'effort de traction nécessaire pour remorquer une charge Q sur une rampe i à la vitesse v , dépend de l'expression adoptée pour définir la résistance par tonne de train. Si nous prenons une expression de la forme $a + bv$, comme l'ont fait plusieurs Compagnies, et qui donne des résultats suffisamment exacts, φ sera du 1^{er} degré par rapport à v , et l'équation (6), dans laquelle on considère V et v comme des coordonnées rectangulaires, représente une droite.

L'équation (2), qui donne la consommation de vapeur C par kilomètre, représente également une droite, lorsqu'on considère C et z comme des coordonnées rectangulaires, puisque nous avons supposé que la fonction $\psi(z)$ était du 1^{er} degré en z .

Ceci posé, construisons, pour des valeurs de Q et de i données, sur des axes de coordonnées rectangulaires OV et Oz , la droite (V) représentée par l'équation (6); puis,

sur les mêmes axes, la courbe (U), représentée par l'équation (7), et la droite (C), représentée par (2); en portant les z sur l'axe Ov , les U et les C sur l'axe OV (fig. 1).

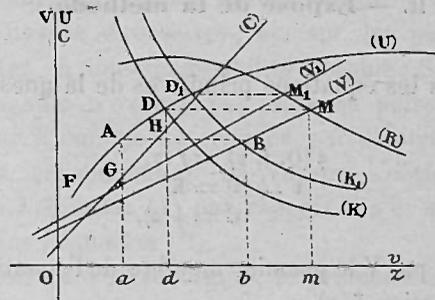


FIG. 1.

En tirant une horizontale quelconque AB , on obtient deux points A et B , de la courbe (U) et de la droite (V), dont les abscisses Oa et Ob donnent deux valeurs de z et de v qui satisfont à l'équation $V = U$, c'est-à-dire à l'équation (1). On peut ainsi avoir toutes les valeurs de z et de v qui satisfont à cette équation. Si, par exemple, on veut l'admission qui correspond à une vitesse donnée v , il suffit d'élever la perpendiculaire bB à Ov et de tracer l'horizontale BA qui donnera le point A et l'abscisse $Oa = z$. De plus, l'ordonnée aG de la droite (C), correspondant au point d'abscisse Oa , fera connaître la consommation kilométrique correspondante. On peut donc, avec ces deux droites (V) et (C) et la courbe (U), étudier les variations des trois quantités z , v et C , et voir comment, pour une charge et une rampe données, varient l'admission z et la consommation C en fonction de la vitesse v .

Mais v et z ne sont pas complètement indépendantes; leurs valeurs doivent vérifier l'inégalité (3)

$$v\psi(z) \leq K,$$

et les valeurs limites qui satisfont à l'égalité, c'est-à-dire

à l'équation (4), correspondent au travail maximum de la machine. Ces valeurs limites doivent également vérifier les équations (6) et (7) de la droite (V) et de la courbe (U). Résolvons l'équation (6) par rapport à v ; soit:

$$v = g(Q, i, V)$$

l'expression qu'on en déduit, et portons-la dans l'équation (4); celle-ci deviendra:

$$(9) \quad g(Q, i, V) \cdot \psi(z) = K.$$

Construisons sur les mêmes axes que précédemment la courbe représentée par cette équation en prenant V et z pour coordonnées, et soit (K) cette courbe. Aux valeurs de v et de z qui vérifient l'équation (1) et l'inégalité (3) correspondent des valeurs de V et z qui doivent rendre inférieur à K le premier membre de l'équation (9), et les valeurs limites qui vérifient cette dernière équation donnent les valeurs limites de v et z qui vérifient l'équation (1). Soit D le point de rencontre des courbes (U) et (K); ses coordonnées vérifient l'équation (9), ainsi que les équations (7) et (8). En tirant l'horizontale DM , on a, sur la droite (V), un point M dont les coordonnées vérifient (6). Le point M donne les valeurs limites Om , Od et dH , de v , z et C , qui correspondent à une charge et une inclinaison données. Pour les points du plan situés au-dessous de la courbe (K), le premier membre de l'équation (9) est inférieur à K ; il est supérieur à K pour ceux situés au-dessus de la courbe. Pour étudier la marche de la machine à travail incomplet, il faudrait donc considérer seulement la portion FD de la courbe (U), située en dessous de la courbe (K).

L'ensemble de ces courbes et des droites (V) et (C) permet donc de voir, pour une charge et une inclinaison données, comment varient l'admission et la consommation

de vapeur en fonction de la vitesse, et, en outre, d'obtenir la vitesse maxima de marche. Cette dernière est donnée par le point M.

Si nous supposons maintenant que l'on fasse varier Q et i , pour chaque système de valeurs adopté, il correspondra une nouvelle droite (V) et une nouvelle courbe (K), la courbe (U) et la droite (C), dont les équations sont indépendantes de Q et i , restant les mêmes; il suffira donc de les construire pour étudier le problème dans ces nouvelles conditions. Soient (K_1) et (V_1) la courbe et la droite correspondant aux valeurs Q_1 et i_1 de la charge et de l'inclinaison de la voie. La courbe (K_1) coupe la courbe (U) en un point D_1 auquel correspond un nouveau point M_1 donnant la vitesse maximum v_1 à laquelle la machine peut remorquer la charge Q_1 sur une rampe i_1 . La portion de la courbe (U), qui permettra d'étudier le travail incomplet de la machine, sera FD_1 . A chaque système de valeurs pour Q et i correspond donc un point M, bien déterminé, qui donne le travail maximum de la machine. Quand on fait varier Q et i , ce point décrit un lieu géométrique qu'il est intéressant de rechercher. Ce lieu une fois connu, il suffit, en effet, de prendre ses points de rencontre avec le système des droites (V) que l'on obtient en faisant varier Q et i pour avoir, sur chacune d'elles, le point M qui donne la vitesse maxima de marche. En menant d'ailleurs par M une horizontale, on obtient le point D de la courbe (U), qui limite la portion de cette courbe permettant d'étudier le travail incomplet de la machine pour une charge et une inclinaison données. Le lieu (R) dispense donc de construire les courbes (K) et (K_1) , en sorte que, pour étudier toutes les questions relatives à la traction des locomotives, il suffit de construire la courbe (U) et le lieu géométrique (R), et de déterminer le système des droites V qui correspondent à des charges et à des inclinaisons variables.

Pour trouver le lieu géométrique du point M, calculons ses coordonnées V et v .

Le point M étant sur la droite (V), on a d'abord :

$$V = \varphi(Q, i, v).$$

Son ordonnée étant la même que celle du point D qui est sur la courbe (U), on a :

$$V = f(z).$$

Enfin, le point D étant sur la courbe (K), les valeurs de V et z vérifient l'équation de cette courbe (9) et, par conséquent, l'équation (4), puisque $v = g(Q, i, v)$. On a donc :

$$v\psi(z) = K.$$

Soit

$$z = h\left(\frac{K}{v}\right)$$

la valeur que l'on déduit pour z de la dernière équation; en la portant dans la seconde, on élimine z , et l'on voit que les coordonnées V et v de M sont les racines des deux équations

$$(10) \quad \begin{aligned} V &= \varphi(Q, i, v), \\ V &= f\left[h\left(\frac{K}{v}\right)\right]. \end{aligned}$$

La dernière équation, ne contenant ni Q ni i , représente évidemment le lieu cherché du point M. Il y a lieu de remarquer que ce lieu n'est autre chose que la transformée de la courbe (U)

$$U = f(z),$$

en prenant pour module de transformation

$$z = h\left(\frac{K}{v}\right).$$

Il en résulte qu'il n'est pas nécessaire d'avoir l'équation de ce lieu pour le construire; il suffit d'avoir établi d'abord la courbe (U), puis de porter les ordonnées qui correspondent aux valeurs de z sur les ordonnées dont les abscesses sont déterminées par la formule

$$v = \frac{K}{\psi(z)}$$

La seule condition nécessaire pour pouvoir appliquer cette méthode c'est donc de pouvoir construire la courbe (U). On peut pour cela se servir de l'équation qui la représente; mais on doit remarquer qu'il n'est pas non plus nécessaire d'avoir cette équation; la solution convient également bien si, au lieu d'employer pour $f(z)$ une expression analytique, on dispose d'une table de valeurs $f(z)$, obtenues par l'expérience directe.

Les termes de la fonction $f(z)$ dépendent des éléments du moteur de la locomotive; en principe, il faut donc une courbe (U) et une courbe (R) pour chaque machine. Mais il est possible de grouper dans le premier membre de l'équation (1) tous les termes qui ne renferment pas z et d'obtenir ainsi, au second membre, une fonction $f(z)$ qui varie peu quand on passe d'une machine à l'autre. On verra même que l'on peut se contenter très approximativement des mêmes courbes (U) pour toutes les machines qui accomplissent un service analogue et même pour toutes les machines indistinctement.

III. — Application de la méthode générale avec la formule de M. Ledoux.

Nous allons maintenant faire l'application de cette méthode en prenant d'abord, pour représenter le travail par coup de piston, la formule ou plutôt les formules de M. Ledoux donnant le travail et la consommation de vapeur

(*Annales des Mines* de 1877: *De la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres des machines*; — et *Annales des Mines* de 1883: *Annexe au Rapport de la sous-commission du matériel des chemins de la Corse*). Cette formule permet, par des constructions simples, d'établir, pour chaque machine, un *graphique de charges* donnant la solution complète du problème de la détermination des charges que peut remorquer une machine et de ses consommations de vapeur aux différentes conditions de la marche. Nous verrons ensuite que la formule de Poncelet conduit encore à des constructions plus aisées.

§ 1. — SOLUTION EXACTE.

Désignons par :

- d , le diamètre du cylindre d'une locomotive, en mètres;
- d' , le diamètre de la tige du piston, ou de la fausse tige quand elle existe, également en mètres;
- p , la pression absolue de la vapeur dans le cylindre en kilogrammes par centimètre carré;
- l , la course du piston, en mètres;
- z , le degré d'admission, en centièmes de la course;
- λ , l'espace nuisible, évalué en centièmes de la course;
- δ , la densité de la vapeur à la pression d'admission;
- t , le timbre de la chaudière;
- C , la quantité de vapeur consommée par kilomètre;
- C' , — — — — — par coup de piston;
- D , le diamètre des roues motrices, en mètres;
- \bar{C} , le travail de la vapeur par coup de piston.

Les formules données par M. l'Ingénieur en chef Ledoux sont les suivantes :

$$\bar{C} = 2,300\pi(d^2 - d'^2)lp \left[\frac{z}{100} + \frac{z+\lambda}{100} 2,303 \log \frac{100+\lambda}{z+\lambda} - \frac{1,0334}{p} \left(1,60 - 0,75 \frac{z}{100} \right) \right]$$

$$C' = 0,3\pi (d^2 - d'^2) \frac{lp}{100} \left(1 + 0,53 \frac{\lambda}{100} \right) \cdot \delta,$$

formules qui, en simplifiant, se réduisent à :

$$\begin{aligned} \bar{c} &= 23\pi(d^2 - d'^2)lp \left[z + (z + \lambda) \cdot 2,303 \log \frac{100 + \lambda}{z + \lambda} - \frac{1,0334}{p} (160 - 0,75z) \right] \\ C' &= \frac{3}{10^5} \pi (d^2 - d'^2) l \cdot z (100 + 0,53\lambda) \cdot \delta. \end{aligned}$$

La machine étant supposée à deux cylindres, l'effort de traction F à la jante sera

$$F = \frac{4\bar{c}}{\pi D},$$

et la consommation de vapeur par kilomètre

$$C = \frac{4.000}{\pi D} \cdot C'.$$

En remplaçant \bar{c} et C' par leurs valeurs, on obtiendra les deux fonctions que nous avons précédemment désignées par $f(z)$ et $\psi(z)$.

Prenons d'abord $f(z)$:

$$f(z) = 92 \frac{d^2 - d'^2}{D} lp \left[z + (z + \lambda) \cdot 2,303 \log \frac{100 + \lambda}{z + \lambda} - \frac{1,0334}{p} (160 - 0,75z) \right].$$

La quantité entre crochets peut s'écrire :

$$(z + \lambda) \left[1 + 2,303 \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{p} 0,75 \right] - (z + \lambda) \cdot 2,303 \cdot \log(z + \lambda) - \frac{1,0334}{p} \left(160 + 0,75\lambda + \frac{p}{1,0334} \lambda \right),$$

ou encore :

$$2,303 \left\{ (z + \lambda) \left[\frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} 0,75 \right] - (z + \lambda) \log(z + \lambda) - \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right] \right\}.$$

On a donc

$$f(z) = 92 \cdot 2,303 \frac{d^2 - d'^2}{D} \cdot l \cdot p \left\{ (z + \lambda) \left[\frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} 0,75 \right] - (z + \lambda) \log(z + \lambda) - \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right] \right\}.$$

Quant à $\psi(z)$, son expression est

$$\psi(z) = 0,12 \frac{d^2 - d'^2}{D} l \cdot z (100 + 0,53\lambda) \cdot \delta.$$

Pour évaluer maintenant F en fonction de la charge remarquée, de l'inclinaison de la voie et du profil, nous prendrons pour expression de la résistance au roulement la formule adoptée par le réseau de Lyon :

$$r = 1,5 + \frac{v}{10},$$

dans laquelle r désigne la résistance par tonne, en kilogrammes, et v la vitesse, en kilomètres à l'heure.

En appelant :

- P , le poids, en tonnes, du tender et de la machine en charges ;
- Q , le poids, en tonnes, du train remorqué ;
- i , l'inclinaison de la voie, en millimètres par mètre (positive dans les rampes, négative sur les pentes) ;
- R , la résistance, en kilogrammes, opposée par le mécanisme de la machine ;

on a évidemment :

$$F = (P + Q) (i + r) + R;$$

ou :

$$F = (P + Q) \left(i + 1,5 + \frac{v}{10} \right) + R.$$

Si, maintenant, nous désignons par K la puissance de production de vapeur, en kilogrammes, du générateur de la locomotive, nous avons, pour remplacer les équations générales (1), (2), (3) et (4) de la théorie, les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} (1) \quad & (P + Q) \left(i + 1,5 + \frac{v}{10} \right) + R \\ & = 92 \cdot 2,303 \frac{d^2 - d'^2}{D} lp \left\{ (z + \lambda) \left[\frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} 0,75 \right] \right. \\ & \left. - (z + \lambda) \log(z + \lambda) - \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right] \right\}, \end{aligned}$$

$$(12) \quad C = 0,12 \frac{d^2 - d'^2}{D} l \cdot z (100 + 0,53\lambda) \cdot \delta,$$

$$(13) \quad C \cdot v \leq K,$$

$$(14) \quad 0,12 \cdot \frac{d^2 - d'^2}{D} \cdot l \cdot z \cdot v (100 + 0,53\lambda) \cdot \delta = K.$$

La première de ces quatre équations peut s'écrire, en faisant passer au premier membre les termes qui ne contiennent pas z :

$$\begin{aligned} & \frac{D}{92 \times 2,303 (d^2 - d'^2) lp} \left[(P + Q) \left(i + 1,5 + \frac{v}{10} \right) + R \right] \\ & + \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right] \\ & = (z + \lambda) \left[\frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} \cdot 0,75 \right] - (z + \lambda) \log(z + \lambda); \end{aligned}$$

ou bien, en posant :

$$\begin{aligned} M &= \frac{(P + Q) D}{920 \times 2,303 (d^2 - d'^2) lp}, \\ N &= \frac{[(P + Q)(i + 1,5) + R] D}{92 \times 2,303 (d^2 - d'^2) lp} + \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right], \\ a &= \frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} \times 0,75, \\ (14 \text{ bis}) \quad Mv + N &= a(z + \lambda) - (z + \lambda) \log(z + \lambda). \end{aligned}$$

Si, comme dans la théorie générale, nous appelons V le premier membre de cette équation, U la fonction du deuxième membre, et posons

$$K' = K \cdot \frac{D}{0,12(d^2 - d'^2) \cdot l \cdot (100 + 0,53\lambda) \delta},$$

les équations du problème sont

$$(15) \quad V = Mv + N,$$

$$(16) \quad U = a(z + \lambda) - (z + \lambda) \log(z + \lambda),$$

$$(17) \quad V = U,$$

remplaçant l'équation (1), et

$$(18) \quad C = \frac{K}{K'} \cdot z,$$

$$(19) \quad z \cdot v \leq K',$$

$$(20) \quad z \cdot v = K'.$$

Nous avons maintenant à construire la courbe (U) représentée par l'équation (16), les droites (V) représentées par (15), et la droite (C) représentée par (18), puis le lieu géométrique (R), dont l'équation s'obtient, comme on l'a vu, en substituant à z , dans l'expression de U, la valeur tirée de l'équation (20). Cette équation est donc :

$$(21) \quad V = a \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right) - \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right) \log \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right).$$

Incidentement, nous remarquerons que ce que nous avons appelé la courbe (K), faisant connaître les valeurs de z et de v qui correspondent au travail maximum de la machine, est représentée par l'équation (20), c'est-à-dire, en y substituant la valeur de v tirée de l'équation (15), par

$$(V - N) z = K'M.$$

Cette courbe (*fig. 2*) est donc une hyperbole équilatère asymptote à l'axe des V , et dont l'autre asymptote est une parallèle à l'axe des z représentée par

$$V = N;$$

z ne pouvant être que positif, on ne doit considérer qu'une des branches de cette hyperbole.

Nous allons étudier successivement les courbes et droites ainsi représentées.

La droite (C) n'offre aucune particularité; elle ne dépend que des éléments de la machine.

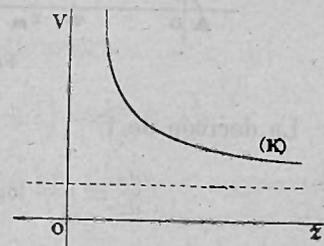


FIG. 2.

Courbe (U). — Le degré d'admission ne pouvant varier qu'entre 0 et 100, nous n'avons à considérer que l'arc de la courbe représentée par l'équation (16)

$$U = a(z + \lambda) - (z + \lambda) \log(z + \lambda),$$

qui correspond à des valeurs de z comprises entre ces limites. D'ailleurs, la courbe n'est réelle que pour des valeurs de z comprises entre $-\lambda$ et $+\infty$.

On voit que U s'annule pour $z_0 = -\lambda$ et pour la valeur z'_0 de z telle que

$$\log(z'_0 + \lambda) = a.$$

La courbe part donc du point A d'abscisse $-\lambda$ pour revenir couper l'axe des z au point d'abscisse z'_0 , et elle est d'ailleurs au-dessus de Oz , puisque U est positif dans l'intervalle (fig. 3).

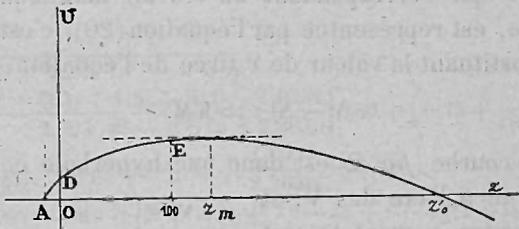


FIG. 3.

La dérivée de U

$$\frac{du}{dz} = a - \log e - \log(z + \lambda)$$

est infinie au point A, où la courbe est donc tangente à la parallèle à OU ; elle est positive pour les valeurs de z inférieures à la valeur z_m déduite de

$$\log(z_m + \lambda) = a - \log e;$$

elle s'annule pour $z = z_m$ et reste ensuite négative.

Enfin, lorsque z tend vers l'infini, U devient infini, mais négatif. La courbe (U) passe donc par un maximum pour $z = z_m$, puis s'infléchit vers l'axe des z pour le couper au point d'abscisse z'_0 et finir par une branche d'allure parabolique.

Nous devons prendre seulement la partie de cette courbe comprise entre les abscisses 0 et 100. Si nous reprenons la valeur de a et remarquons que $\frac{1}{2,303}$ n'est autre chose que $\log e$, on a :

$$a - \log e = \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} \times 0,75.$$

Donc

$$\log(z_m + \lambda) > \log(100 + \lambda).$$

Le maximum de z est au-delà du point 100; l'arc de courbe utile DE, compris entre les points d'abscisses 0 et 100, est donc toujours croissant.

Courbe (R). — La courbe (R) n'est que la transformée de la précédente, le module de transformation étant $z = \frac{K'}{v}$. Nous allons l'étudier pour les valeurs positives de v .

Considérons l'équation de cette courbe :

$$v = a \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right) - \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right) \log \left(\frac{K'}{v} + \lambda \right).$$

Pour $v = 0$, V est infini et négatif; lorsque v augmente indéfiniment, V tend vers $\lambda(a - \log \lambda)$. La courbe est donc asymptote à OV du côté négatif, et à la droite $V = \lambda(a - \log \lambda)$ du côté des v positifs, droite qui passe par le point où la courbe (U) rencontre l'axe des V (fig. 4). Elle rencontre l'axe des v pour une valeur v_0 de v donnée par

$$\log \left(\frac{K'}{v_0} + \lambda \right) = a.$$

Prenons une variable auxiliaire v' , telle que

$$\frac{K'}{v} + \lambda = \frac{K'}{v'};$$

on en déduit :

$$v = \frac{K'}{\frac{K'}{v'} - \lambda} \quad \text{et} \quad v' = \frac{K'}{\frac{K'}{v} + \lambda}.$$

On voit que, v variant de 0 à l'infini, v' varie de 0 à $\frac{K'}{\lambda}$. Nous étudierons la courbe (R) en fonction de v' en faisant varier cette variable entre ces limites. L'équation de cette courbe devient :

$$(22) \quad V = a \frac{K'}{v'} - \frac{K'}{v'} \cdot \log \frac{K'}{v'},$$

dont les dérivées sont

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dv'} &= \frac{K'}{v'^2} \left[\log \frac{K'}{v'} - (a - \log e) \right], \\ \frac{d^2V}{dv'^2} &= -\frac{2K'}{v'^3} \left[\log \frac{K'}{v'} - \left(a - \frac{3 \log e}{2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Lorsque v' est voisin de 0, la dérivée $\frac{dV}{dv'}$ est positive, et elle le reste tant que v' est inférieur à la valeur v'_m qui satisfait à

$$\log \frac{K'}{v'_m} = a - \log e.$$

Au-delà de v'_m , cette dérivée est négative. La fonction V va donc en croissant jusqu'à v'_m , puis décroît. La valeur v_m de v , qui correspond à v'_m , et qui est

$$v_m = \frac{K'}{\frac{K'}{v'_m} - \lambda},$$

correspond donc au maximum de la fonction.

La valeur de v' , qui rend la fonction V maximum, est donc donnée par

$$\log \frac{K'}{v'_m} = a - \log e.$$

Or on a vu que la valeur de z , qui rendait la courbe (U) maximum, résultait de l'équation

$$\log(z_m + \lambda) = a - \log e;$$

$z_m + \lambda$ et $\frac{K'}{v'_m}$ ont donc identiquement la même valeur ; on en conclut que les valeurs maxima de U et de V sont les mêmes.

Lorsque v' est très voisin de 0, la dérivée seconde $\frac{d^2V}{dv'^2}$ est négative ; elle s'annule pour la valeur v_i de v' , qui satisfait à

$$\log \frac{K'}{v_i} = a - \frac{3}{2} \log e;$$

au delà elle est positive. Il en résulte que le coefficient angulaire de la tangente à la courbe (R) diminue jusqu'à v' , et qu'il croît ensuite. Le point correspondant à v_i est donc un point d'inflexion ; son abscisse v_i est donnée par

$$v_i = \frac{K'}{\frac{K'}{v_i} - \lambda}.$$

Comme d'ailleurs

$$a - \frac{3}{2} \log e < a - \log e,$$

$$\frac{K'}{v_i} < \frac{K'}{v'_m},$$

et par suite

$$v_i > v'_m.$$

v croissant en même temps que v' , on a également :

$$v_i > v_m.$$

Il est aisé, avec ces résultats, de construire la courbe (R) (fig. 4). Nous ne devons prendre de cette courbe que la portion qui correspond aux valeurs de v possibles. Or,

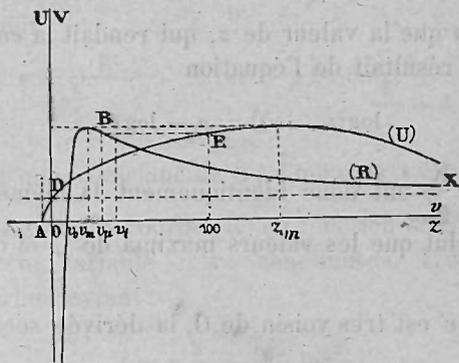


FIG. 4.

puisque $v = \frac{K'}{z}$ et que z ne varie que de 0 à 100, v ne peut varier que de $\frac{K'}{100}$ à l'infini. La valeur minimum v_μ de v est donc $v_\mu = \frac{K'}{100}$.

Le v' qui lui correspond est

$$v'_\mu = \frac{K'}{\frac{K'}{v} + \lambda} = \frac{K'}{100 + \lambda}.$$

Or on a

$$\log \frac{K'}{v'_m} = a - \log e = \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} 0,75.$$

Donc

$$\log \frac{K'}{v'_m} > \log(100 + \lambda) \quad \text{ou} \quad \log \frac{K'}{v'_\mu}.$$

Par suite,

$$\frac{K'}{v'_m} > \frac{K'}{v'_\mu},$$

et

$$v'_m < v'_\mu \quad \text{ou} \quad v_m < v_\mu.$$

Le point v_μ , qui limite l'arc utile de la courbe (R) vers l'origine est donc situé au-delà du maximum. Soit B ce point. L'arc disponible sera BX. La valeur de V pour le point d'abscisse v_μ sera évidemment la même que celle de U pour le point d'abscisse $z = 100$.

Droites (V). — Prenons les valeurs des coefficients M et N de l'équation de ces droites

$$(15) \quad V = Mv + N.$$

En posant

$$\mu = \frac{D}{920 \times 2,303(d^2 - d'^2) \log p},$$

$$v = 10R\mu + \frac{1,0334}{2,303p} \left[160 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right],$$

l'équation (15) des droites (V) s'écrit

$$V = \mu(P + Q)v + \mu(10i + 15)(P + Q) + v$$

ou

$$(23) \quad V - v = \mu(P + Q)[v + (10i + 15)].$$

Les coefficients μ et v ne dépendent que des éléments de la locomotive et sont complètement indépendants de la charge Q et de l'inclinaison de la voie i . Donc, lorsqu'on fait varier Q, les droites (V) passent toutes par le point de coordonnées

$$V_0 = v,$$

$$v_0 = -(10i + 15).$$

Elles forment un *faisceau de droites concourantes*, dont le sommet a pour coordonnées V_0 et v_0 , qui ne dépendent

que de l'inclinaison (*fig. 5*). Si maintenant on fait varier i , v ne contenant ni Q ni i , le sommet du faisceau se déplace parallèlement à l'axe des v sur une droite MN, d'ordonnée v , suivant la loi $v_0 = -(10i + 15)$. Si, de plus, on

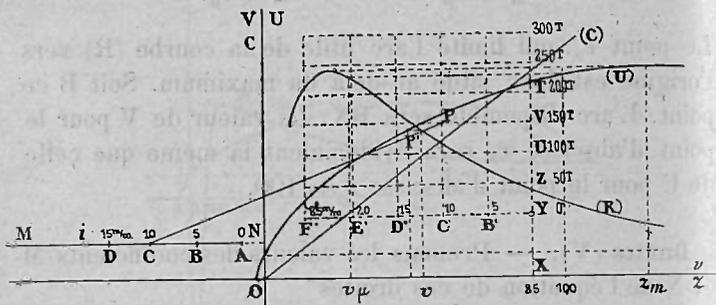


FIG. 5.

remarque que le coefficient angulaire $\mu(P + Q)$ des droites V ne renferme pas i , on en conclut que les droites des différents faisceaux qui correspondent à une même charge Q sont parallèles. Autrement dit, si on construit un faisceau de droites pour une inclinaison i donnée et des charges variables, il suffit ensuite de déplacer le faisceau parallèlement à lui-même, en transportant son sommet aux points de la droite $V = V_0$, d'abscisses $v = v_0 = -(10i + 15)$, pour avoir les droites qui correspondent à une charge Q et à une inclinaison i quelconques.

Cette propriété des droites (V) conduit à des constructions très simples. Pour les obtenir, on peut procéder de la façon suivante : sur la droite MN d'ordonnée V_0 , on porte des points A, B, C, ..., d'abscisses $v_0 = -(10i + 15)$, correspondant à des inclinaisons croissantes de millimètre en millimètre. Supposons, par exemple, que les points A, B, C, ..., correspondent à des inclinaisons 0, 5, 10, ..., millimètres. Considérons maintenant les droites (V) dans le cas du palier, c'est-à-dire de $i = 0$. L'équation (23)

devient

$$V - v = \mu(P + Q)(v + 15).$$

Ces droites doivent passer par le point A, sommet du faisceau. Nous en aurons d'autres points en calculant les valeurs de V correspondant à une abscisse v donnée et à des charges Q variables. Si nous prenons $v = 85$ kilomètres, qui donne un chiffre simple pour la parenthèse $v + 15$, on a

$$V_{85} - v = 100\mu(P + Q) = 100\mu P + 100\mu Q.$$

Pour $Q = 0$,

$$V_{85} = v + 100\mu P,$$

et, lorsque Q augmente d'une unité, l'ordonnée croît de 100μ . Dès lors, sur l'ordonnée XY, d'abscisse $OX = 85$, on porte une longueur $XY = v + 100\mu P$, et, à partir de Y, une division de 100μ en 100μ , qui correspond à des charges Q de 1, 2, 3, ..., tonnes. Soient, par exemple, Y, Z, U, V, ..., les points qui correspondent à des charges de 0, 50, 100, 150, ..., tonnes. En joignant le point A à ces points, on a les droites (V) dans le cas du palier et pour des charges de 0, 50, ..., tonnes. On aura les droites correspondant à d'autres rampes, en tirant par Y une parallèle à Ov , portant sur cette droite la division A, B, C, ..., de la droite MN, et construisant un quadrillage sur les droites YT et YC'. Ce quadrillage et l'échelle A, B, C, ..., donneront toutes les droites (V). Ainsi la droite correspondant à $Q = 150$ tonnes, $i = 10$ millimètres, s'obtiendra en joignant le C au point P.

Dès lors, pour obtenir un *graphique de charges*, il suffit, sur la figure précédente, de tracer la droite (C) et les courbes (U) et (R), en adoptant pour les ordonnées de ces courbes la même échelle que pour celles des droites (V),

les v et z pouvant avoir deux échelles différentes. Il sera d'ailleurs inutile généralement de tracer les droites (V), telles que CP; il suffira de placer une règle passant par les points C et P, pour avoir le point d'intersection P' avec la courbe (R). On les marquera légèrement (de manière à pouvoir les enlever à la gomme), toutes les fois que l'on voudra étudier le travail de la machine quand on n'utilise pas toute la puissance de vaporisation du générateur.

Ce graphique de charges permet de résoudre tous les problèmes relatifs à la traction des locomotives.

Nous allons en faire une application pratique avec les formules de M. Ledoux. Nous admettons, avec lui, que la pression p de la vapeur dans le cylindre pendant l'admission est égale à celle de la vapeur de la chaudière diminuée de 1/2 kilogramme environ. Si nous désignons par t le timbre, on a donc :

$$p = (t + 1,03) - 0,5 = \text{sensiblement } t + 0,5.$$

Ceci posé, nous prendrons pour exemple la machine des *Chemins de fer corses*, dont les dimensions sont définies dans les *Annales des Mines* de 1883 déjà citées. Les éléments de cette machine sont les suivants :

$$\begin{aligned} s &= \text{surface de chauffe} = 58\text{m}^2,00, \\ g &= \text{surface de grille} = 1\text{m}^2,08, \\ d &= 0,35, \quad d' = 0,05, \quad l = 0,46, \\ D &= 1\text{m},00, \quad \lambda = 6,5, \quad t = 10^{\text{k}}. \end{aligned}$$

Nous évaluerons la puissance de vaporisation de la machine à l'aide de la formule du réseau de Lyon, de M. Marié, diminuée de 12 p. 100 pour tenir compte de l'eau entraînée :

$$K = 0,88 \times 368 \sqrt{g \cdot s} = 324 \sqrt{g \cdot s} = 2.553 \text{ kilogrammes.}$$

(D'un côté du piston, la surface sur laquelle la vapeur

exerce sa pression est $\pi d^2 l = 0,0563\pi$, de l'autre $\pi(d^2 - d'^2)l = 0,0552\pi$. Nous prendrons, pour $\pi(d^2 - d'^2)l$, la moyenne $0,0558\pi$. Enfin on a

$$p = 10 + 0,5 = 10^{\text{k}5},5;$$

la densité de vapeur à cette pression est, d'après Zeuner, 5,35.

On a :

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2,303} + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} \times 0,75 \\ &= 0,434 + \log 106,5 + \frac{1,0334}{2,303 \times 10,5} \times 0,75, \\ a &= 2,4936, \end{aligned}$$

et alors

$$U = 2,4936(z + 6,5) - (z + 6,5) \log(z + 6,5).$$

D'autre part,

$$\begin{aligned} K' &= K \frac{D}{0,12(d^2 - d'^2)l(100 + 0,53\lambda)\delta} \\ &= K \frac{1}{0,12 \times 0,0558 \times 103,445 \times 5,35} = K \frac{1}{3,7037}, \\ &= 689,06. \end{aligned}$$

La courbe (R) a donc pour équation

$$V = 2,4936 \left(\frac{689,06}{v} + 6,5 \right) - \left(\frac{689,06}{v} + 6,5 \right) \log \left(\frac{689,06}{v} + 6,5 \right).$$

Pour avoir les droites (V), il faut calculer les coefficients μ et ν :

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{D}{920 \times 2,303 \cdot (d^2 - d'^2)lp} = \frac{1}{920 \times 2,303 \times 0,0558 \times 10,5} \\ &= \frac{1}{1241,38} = 0,000805, \end{aligned}$$

$$\nu = 10R\mu + \frac{1,0334}{2,303p} \left[100 + \left(0,75 + \frac{p}{1,0334} \right) \lambda \right].$$

La machine, qui est une locomotive-tender, pèse en charge 28 tonnes, et son poids adhérent est de 227,7. En admettant que la résistance au mécanisme soit de 10 kilogrammes par tonne de poids adhérent, on a

$$P = 28 \text{ tonnes,}$$

$$R = 227 \text{ kilogrammes,}$$

$$v = 0,00805 \times 227 + \frac{1,0334}{2,303 \times 10,5} \left[160 + \left(0,75 + \frac{10,5}{1,0334} \right) 6,5 \right] = 11,69.$$

L'équation des droites (V) est donc

$$v - 11,69 = 0,000805 (28 + Q) [v + (10i + 15)].$$

Courbe (U):

$$U = 2,4936 (z + 6,5) - (z + 6,5) \log (z + 6,5).$$

Cherchons le maximum de U. On a :

$$\log (z_m + 6,5) = a - \log e = 2,0594;$$

d'où

$$z_m + 6,5 = 114,92, \quad z_m = 108,42 \quad \text{et} \quad U_m = 49,898.$$

Les valeurs successives de U pour des valeurs croissantes de z sont les suivantes :

z	U
0	10,928
10	21,055
20	28,363
30	33,9924
40	38,4136
50	41,8947
60	44,6082
70	46,6573
80	48,1459
90	49,1281
100	49,6609

Courbe (R). — On a :

$$v = \frac{K'}{v + \lambda} = \frac{689,06}{v + \lambda}$$

$$v = \frac{K'}{v' - \lambda} = \frac{689,06}{v' - \lambda}$$

$$V = 2,4936 \cdot \frac{689,06}{v} - \frac{689,06}{v} \log \frac{689,06}{v}$$

Maximum de V :

$$\log \frac{K'}{v'_m} = a - \log e = 2,0594$$

$$\frac{K'}{v'_m} = z_m + \lambda = 114,92;$$

on en déduit

$$v_m = \frac{689,06}{114,92 - 6,5} = 6^{\text{km}},35.$$

D'ailleurs

$$V_m = U_m = 49,898.$$

Valeur minimum de v :

$$v_\mu = \frac{K'}{100} = 6,89;$$

d'où

$$V_\mu = U_{100} = 49,6609$$

Point d'inflexion :

$$\log \frac{K'}{v'_i} = a - \frac{3}{2} \log e = 1,8423$$

$$\frac{K'}{v'_i} = 69,55;$$

d'où

$$v_i = \frac{689,06}{69,55 - 6,5} = 10^{\text{km}},92$$

et

$$V_i = 45,265.$$

Pour calculer les autres valeurs de V, il suffit de re-

marquer que ces valeurs sont celles de la fonction U , quand on y remplace z par $\frac{K'}{v}$, ou, inversement, que celles de U sont celles de V où on remplace v par $\frac{K'}{z}$. Si donc on a calculé U pour les valeurs de z :

0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100,

ses valeurs sont les mêmes que celles de V pour les valeurs v :

∞ 68^{km},9, 34^{km},45, 22^{km},96, 17^{km},22, 13^{km},78,
 41^{km},48, 9^{km},84, 8^{km},61, 7^{km},65, 6^{km},89.

Droites (V). — Pour établir les droites (V), on remarque que le sommet du faisceau correspondant à $i = 0$ a pour coordonnées :

$$V_0 = 11,69 \\ v_0 = -15.$$

Les autres sommets sont sur la droite $V_0 = 11,737$, à des distances croissant de 10 en 10 par millimètre de rampe, du côté des v négatifs.

En prenant l'ordonnée d'abscisse $v = 85$, $i = 0$, on a :

$$V_{85} = 11,69 + 0,0805(28 + Q)$$

qui, pour $Q = 0$, donne $V_{85} = 13,94$.

A partir de ce point, les coordonnées croissent de 0,805 par 10 tonnes de charge.

Droite (C). — Elle a pour équation :

$$C = \frac{K}{K'} z = 3,7057 \cdot z.$$

Ces diverses données permettent d'établir très aisément et très rapidement le graphique de charges de la

machine corse (Pl. XIV), et de résoudre tous les problèmes concernant la corrélation des charges, des vitesses et des consommations sur des rampes quelconques.

Il y a lieu, d'ailleurs, de remarquer que, dans tout ce qui précède, nous n'avons pas tenu compte de l'adhérence. Lors d'une application pratique, il conviendra donc de ne tenir une charge pour bonne qu'autant qu'elle sera au-dessous de la limite imposée par l'adhérence. Si la charge trouvée était supérieure, on devrait nécessairement la réduire à cette dernière.

§ 2. — SOLUTION APPROXIMATIVE.

Nous avons dit (p. 10) que l'on pouvait se contenter approximativement de la même courbe (U) pour toutes les machines qui accomplissent un service analogue.

Nous allons montrer comment on peut arriver à ce résultat avec la formule de M. Ledoux.

Le problème de la détermination des charges et des vitesses est donné par les équations :

$$(15) \quad Mv + N = V = U$$

$$(16) \quad U = a(z + \lambda) - (z + \lambda) \log(z + \lambda)$$

$$(20) \quad z = \frac{K'}{v}$$

Considérons la courbe (U) et posons

$$z + \lambda = x, \quad U = U',$$

ce qui revient à rapporter la courbe à un nouvel axe des U , situé à la distance λ du premier vers le côté des z négatifs (fig. 6).

L'équation (16) devient :

$$(U) \quad U' = ax - x \log x.$$

Si a avait toujours la même valeur, autrement dit s'il

ne dépendait pas des données de la machine, la courbe (U) rapportée aux axes Ox et OU' serait toujours la même; ce qui varierait d'une machine à l'autre, suivant l'importance de l'espace nuisible, ce serait la position, sur cette courbe, de l'arc utile. Pour avoir cet arc, il suffirait, la courbe (U) construite, de prendre $O'O = \lambda$, $O'b = 100 + \lambda$. L'arc de la courbe (U), nécessaire pour le graphique de charge, serait l'arc AB limité par les points d'abscisses 0 et b .

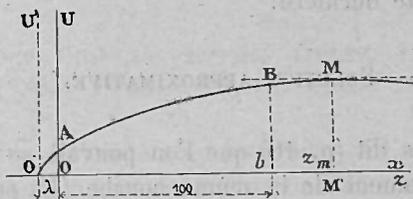


FIG. 6.

Mais on sait que a a pour expression

$$a = \log e + \log(100 + \lambda) + \frac{1,0334}{2,303p} \cdot 0,75;$$

il dépend donc de l'espace nuisible λ et de la pression p . Pour apprécier dans quelles limites il varie avec ces quantités, différentions successivement par rapport à λ et à p :

$$\begin{aligned} \partial a &= \frac{\log e}{100 + \lambda} \partial \lambda, \\ \partial a &= -\frac{0,3365}{p^2} \partial p. \end{aligned}$$

Pour la machine corse on a

$$\lambda = 6,3, \quad p = 10,3,$$

ce qui donne :

$$\partial a = 0,004 \cdot \partial \lambda, \quad \partial a = 0,003 \partial p.$$

Si l'on suppose, par exemple, que l'on ait adopté un λ différent de 6,5 de $-1,5$, pour p une pression supérieure à 10,5 de $+2$, on aurait :

$$\begin{aligned} \partial a &= -0,006, \\ \partial a &= -0,006. \end{aligned}$$

La variation totale da eût été de $-0,012$, soit de 0,48 p. 100.

En fait, les valeurs de λ et de p varient peu lorsque l'on considère les machines de même série ou plutôt des machines qui assurent un service analogue. Si, au lieu de prendre pour λ et p les valeurs exactes qui se rapportent à la machine considérée, on prend les valeurs moyennes qui se rapportent aux mêmes séries de machines, a variera donc d'une quantité très faible. S'il s'agit de machines à voyageurs, par exemple, on pourra prendre, pour λ , 3,5 p. 100 et, pour timbre t , 13 kilogrammes; dans le cas de machines à marchandises, on prendra le même timbre et 6 p. 100 pour espace nuisible.

Mais, si les variations de λ et de p ont peu d'influence sur a , il convient néanmoins de rechercher l'influence que la variation totale da peut avoir sur la détermination des charges et des vitesses.

La variation de U correspondante sera donnée par la différentiation de l'équation (16) :

$$dU = (z + \lambda) da = \frac{K' + \lambda v}{v} da.$$

Pour des valeurs de z de 20, 40 et 100, les U sont 28,3, 38,4, 49,6; en prenant $da = -0,012$, les variations correspondantes de U sont du même signe, et leurs valeurs sont respectivement de 0,318 ou 1,1 p. 100, 0,558 ou 1,4 p. 100, 0,278 ou 2,5 p. 100.

Les variations de Q et de v s'obtiendront en différen-

tiant (15), c'est-à-dire l'équation :

$$\mu (P + Q) (v + 10i + 15) = U,$$

ce qui donne :

$$\mu (P + Q) dv + \mu (v + 10i + 15) dQ = dU \\ = \frac{K' + \lambda v}{v} da.$$

Si l'on suppose la vitesse v constante, et que l'on recherche la variation que subit la charge lorsque l'on modifie a , on a :

$$dQ = \frac{K' + \lambda v}{\mu v (v + 10i + 15)} da.$$

Si, au contraire, l'on suppose la charge constante, et que l'on recherche la variation de la vitesse lorsqu'on modifie a , on a :

$$dv = \frac{K' + \lambda v}{\mu v (P + Q)} da.$$

Faisons-en l'application à la machine corse : on a

$$K' = 689,06, \quad \mu = 0,000805, \quad P = 28, \quad \lambda = 6,5,$$

ce qui donne

$$dQ = \frac{689,06 + 6,5v}{0,000805v (v + 10i + 15)} da,$$

$$dv = \frac{689,06 + 6,5v}{0,000805v (28 + Q)} da.$$

Considérons, par exemple, les vitesses de 20, 40 et 60 kilomètres, et les charges qui leur correspondent (sans tenir compte de l'adhérence), en palier ($i = 0$). Ces charges sont, déterminées avec la courbe (U) exacte, 835, 307 et 147 tonnes. On a donc, pour $da = 0,012$ en valeur absolue,

$v = 20$	}	$dQ = 1453 \cdot da = 17^T,4,$	soit 2,08 0/0
$Q = 835$ tonnes		$dv = 59 \cdot da = 0^{km},7$	— 3,50 0/0
$v = 40$	}	$dQ = 536 \cdot da = 6^T,4$	— 2,08 0/0
$Q = 307$		$dv = 87 \cdot da = 1^{km},044$	— 2,60 0/0
$v = 60$	}	$dQ = 306,5 \cdot da = 3^T,67$	— 2,46 0/0
$Q = 147$ tonnes		$dv = 126 \cdot da = 1^{km},51$	— 2,50 0/0

On voit que, quand on prend pour a une valeur approximative, les variations qui en résultent, soit pour la détermination des charges, soit pour celle des vitesses, sont sensiblement constantes et comprises entre 2 et 3 p. 100. Ces variations sont d'ailleurs du même signe que da .

La substitution, dans l'expression de a , pour λ et p , de valeurs moyennes, n'a donc qu'une faible influence sur les résultats définitifs, et elle peut être acceptée, comme nous l'avons dit, pour les machines de types semblables avec une approximation très suffisante.

§ 3. — SOLUTION ALGÈBRE ET GRAPHIQUE.

La substitution d'une courbe unique (U) pour des machines du même type, avec des valeurs moyennes de λ et p , permet d'arriver à une *résolution algébrique* et à des constructions graphiques également très simples. Désignons par λ_0 et p_0 les valeurs moyennes substituées à λ et p .

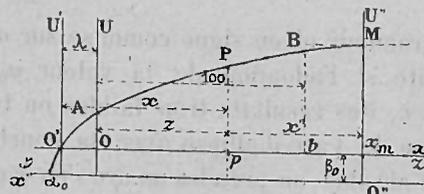


FIG. 7.

Supposons construite (fig. 7), par rapport aux axes rectangulaires $O'U'$ et $O'x$, la courbe

$$U = a_0 x - x \log x,$$

en adoptant pour a une valeur moyenne :

$$a_0 = \log e + \log(100 + \lambda_0) + \frac{0,3365}{p_0};$$

la valeur x_m de x donnant le maximum est :

$$\log x_m = a_0 - \log e.$$

En prenant sur $O'x$:

$$O'O = \lambda, \quad O'b = \lambda + 100,$$

l'arc de courbe utile pour la machine considérée sera AB.

Cela posé, on remarque aisément que l'arc de courbe O'ABM peut facilement s'identifier avec un arc d'ellipse ayant son centre sur la verticale du point M, au dessous, à une distance de 12 environ de l'axe $O'x$, et son grand axe parallèle à $O'x$ et d'une longueur un peu supérieure à x_m . Il suffit de quelques tâtonnements pour avoir la distance β_0 du centre O'' de l'ellipse à $O'x$, et la quantité α_0 dont le grand axe surpasse x_m . En comparant les valeurs λ_0 et p_0 adoptées aux valeurs réelles de λ et p , on verra très aisément, par l'équation

$$da = \frac{\log e}{100 + \lambda} \partial \lambda - \frac{0,3365}{p^2} \partial p,$$

l'erreur en grandeur et en signe commise sur da , et l'on saura de suite si l'adoption de la valeur a_0 donnera pour U , Q et v , des résultats trop faibles ou trop forts. L'identification de l'arc d'ellipse avec la courbe (U) ne pouvant être absolue, on prendra un arc s'en rapprochant par en dessous ou par en dessus, suivant les cas.

Supposons donc déterminées les valeurs de α_0 et β_0 . L'ellipse rapportée aux axes $O''U''$ et $O''x''$ a pour équation, en désignant par U_m l'ordonnée maximum $x_m M$ de la courbe (U) :

$$\frac{x''^2}{(x_m + \alpha_0)^2} + \frac{U''^2}{(U_m + \beta_0)^2} = 1,$$

α_0 et β_0 ne dépendant que des valeurs moyennes λ_0 et p_0 . Rapportons-la aux axes qui passent par O , en repre-

nant pour notation U et z ; on a

$$\begin{aligned} x'' &= x_m - (\lambda + z), \\ U'' &= U + \beta_0, \end{aligned}$$

ce qui donne

$$\frac{[x_m - (\lambda + z)]^2}{(x_m + \alpha_0)^2} + \frac{(U + \beta_0)^2}{(U_m + \beta_0)^2} = 1.$$

On en déduit

$$U = -\beta_0 + \frac{U_m + \beta_0}{x_m + \alpha_0} \sqrt{(x_m + \alpha_0)^2 - [x_m - (\lambda + z)]^2}.$$

Cette courbe doit être prise entre les points d'abscisses $z = 0$ et $z = 100$.

La résolution du problème des charges se ramène alors aux équations suivantes :

$$Mv + N = V,$$

$$U = -\beta_0 + \frac{U_m + \beta_0}{x_m + \alpha_0} \sqrt{(x_m + \alpha_0)^2 - [x_m - (\lambda + z)]^2},$$

$$z = \frac{K'}{v},$$

$$U = V,$$

ou bien

$$\begin{cases} Mv + N = -\beta_0 + \frac{U_m + \beta_0}{x_m + \alpha_0} \sqrt{(x_m + \alpha_0)^2 - [x_m - (\lambda + z)]^2} \\ z = \frac{K'}{v}. \end{cases}$$

La première de ces équations peut s'écrire :

$$(Mv + N + \beta_0) \frac{x_m + \alpha_0}{U_m + \beta_0} = \sqrt{(x_m + \alpha_0)^2 - [x_m - (\lambda + z)]^2}.$$

En désignant par V' le premier membre, par Z l'expression $x_m - \lambda - z$, on a

$$V'^2 + Z^2 = (x_m + \alpha_0)^2.$$

Finalement, le problème se ramène à la résolution des trois équations :

$$\begin{aligned} V &= (Mv + N + \beta_0) \frac{x_m + \alpha_0}{U_m + \beta_0}, \\ V^2 + Z^2 &= (x_m + \alpha_0)^2, \\ Z &= x_m - \lambda - \frac{K'}{v}. \end{aligned}$$

Toutes ces expressions sont algébriques; la seconde peut très aisément se résoudre par rapport à Z , c'est-à-dire à z ou à v .

Elles permettent aussi une construction graphique des plus aisées.

La première équation représente un système de droites concourantes dont le sommet a pour coordonnées, en se reportant aux valeurs de M et N ,

$$\begin{cases} V'_0 = (v + \beta_0) \frac{x_m + \alpha_0}{U_m + \beta_0} \\ v_0 = -(10i + 15). \end{cases}$$

La seconde est un cercle de rayon $x_m + \alpha_0$.

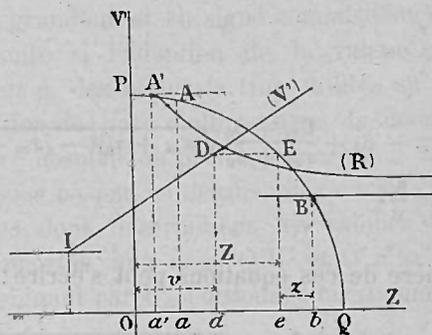


FIG. 8.

Traçons ce cercle OPQ (*fig. 8*); on a

$$OQ = x_m + \alpha_0.$$

Z , ne pouvant varier que conjointement avec z , devra être

compris entre

$$x_m - \lambda$$

et

$$x_m - \lambda - 100.$$

On prendra donc

$$Oa = x_m - \lambda - 100$$

$$Ob = x_m - \lambda;$$

l'arc de cercle utile sera AB.

Le point A sera d'ailleurs à droite de O, puisque

$$x_m > 100 + \lambda.$$

Soient I le point de coordonnées V'_0 et v_0 et (V') une des droites du système correspondant à des valeurs données de i et Q . En traçant la parallèle quelconque DE à l'axe des Z , on aura en Od la vitesse v , en Oe le Z et en be le degré d'admission z qui lui correspondent.

Le lieu du point D, courbe (R), lorsque la machine donne toute sa puissance, a pour équation le cercle transformé par la formule

$$Z = x_m - \lambda - \frac{K'}{v}.$$

Son équation est donc

$$V^2 + \left(x_m - \lambda - \frac{K'}{v}\right)^2 = (x_m + \alpha_0)^2.$$

Cette courbe est du 4^e degré; on la déterminera en reportant les ordonnées du cercle sur les ordonnées qui ont pour abscisses

$$v = \frac{K'}{x_m - \lambda - Z}.$$

Elle est asymptote pour le point du cercle d'abscisse $Z = x_m - \lambda$, c'est-à-dire à l'horizontale passant par le point B, et elle est tangente à l'horizontale PA', qui passe par le point d'ordonnée maxima du cercle, au point

$$\text{d'abscisse } Oa' = \frac{K}{x_m - \lambda}.$$

IV. — Application de la méthode générale avec la formule de Poncelet.

§ 1. — SOLUTION EXACTE.

Si, au lieu de la formule de M. Ledoux, on emploie celle de Poncelet pour représenter le travail de la vapeur par coup de piston, les résultats qui précèdent se simplifient considérablement, et comme, au demeurant, après une longue expérience, les calculs donnés par cette formule, employée par la Compagnie de Lyon, ont paru très satisfaisants à cette Compagnie, il nous paraît intéressant de faire connaître les résultats auxquels elle conduit.

En employant les mêmes lettres que précédemment, et désignant par ρ un coefficient de réduction, cette formule est

$$\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} p \cdot 10^4 \cdot \frac{lz}{100} \left(1 + \frac{1}{\log e} \log \frac{100}{z} - \frac{p'}{p} \frac{100}{z} \right),$$

p désignant la pression absolue de la vapeur dans les cylindres, et p' la pression atmosphérique 1^{kg},03. Elle peut s'écrire :

$$\frac{10^2 \rho}{4 \log e} \pi p d^2 l [z(2 + \log e) - z \log z] - \frac{10^4 \rho}{4} \cdot \pi p' d^2 l.$$

En la multipliant par $\frac{4}{\pi D}$, pour avoir l'effort de traction F , on aura

$$F = \frac{\rho \cdot 10^2}{\log e} \cdot \frac{p d^2 l}{D} [z(2 + \log e) - z \log z] - \rho 10^4 \frac{p' d^2 l}{D}.$$

On doit donc avoir

$$(P+Q)(i+1,5+0,1v)+R = \frac{\rho 10^2}{\log e} \frac{p d^2 l}{D} [z(2 + \log e) - z \log z] - \rho 10^4 \frac{p' d^2 l}{D},$$

et, en posant

$$M = \frac{(P+Q) D \log e}{10^3 \rho p d^2 l},$$

$$N = \frac{[(P+Q)(i+1,5)+R] D \log e}{10^2 \cdot \rho \cdot p d^2 l} + 10^2 \log e \cdot \frac{p'}{p},$$

$$Mv + N = z(2 + \log e) - z \log z.$$

Telle est la première équation du calcul des charges qui doit remplacer l'équation (11) ou (11 bis).

La fonction que nous avons appelée U est ici :

$$U = (2 + \log e) - z \log z.$$

On voit qu'elle est la même pour toutes les machines; il suffira donc de construire cette courbe U une fois pour toutes et de l'appliquer à toutes les machines indistinctement.

Si l'on pose, comme précédemment,

$$M \cdot v + N = V,$$

cette équation sera encore une droite; les quantités que nous avons appelées μ et ν seront ici :

$$\mu = \frac{D \log e}{10^3 \rho p d^2 l},$$

$$\nu = 10R\mu + 10^2 \log e \frac{p'}{p};$$

on aura donc :

$$V = \mu(P+Q)(v+10i+15) + \nu.$$

Le faisceau des droites V aura pour sommet

$$\begin{cases} V_0 = \nu, \\ v_0 = -(10i+15). \end{cases}$$

Les valeurs de μ et ν ne dépendent que des éléments de la machine. La fonction linéaire V de la vitesse v est donc bien déterminée pour toute machine. Si nous la dési-

gnons du nom de *vitesse caractéristique*, l'équation

$$V = Mv + N = U$$

conduit à ce résultat :

Les vitesses caractéristiques des locomotives ne dépendent que du degré d'admission et sont les mêmes, par suite, pour toutes les machines, lorsque le degré d'admission est le même.

Voyons maintenant la consommation de la machine.

On a évidemment

$$C' = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l(z + \lambda)}{100} \cdot \delta,$$

$$C = \frac{4000}{\pi D} C' = 10 \cdot \frac{d^2 l (z + \lambda) \cdot \delta}{D}$$

et par suite

$$v \cdot 10 \frac{d^2 l (z + \lambda) \delta}{D} = K$$

$$v(z + \lambda) = K \cdot \frac{D}{10d^2 l \delta} = K',$$

en posant

$$K = K' \frac{D}{10d^2 l \delta}.$$

La résolution du problème de la détermination des charges se fera donc à l'aide des équations

$$Mv + N = V$$

$$U = (2 + \log e) z - z \log z$$

$$v(z + \lambda) = K'$$

$$V = U.$$

La courbe (R) s'obtiendra en substituant à z , dans l'expression de U , sa valeur tirée de la troisième de ces équations, soit

$$z = \frac{K'}{v} - \lambda;$$

on la construira en reportant les ordonnées de la

courbe U sur les verticales des points d'abscisses v calculées par

$$v = \frac{K'}{z + \lambda}.$$

§ 2. — SOLUTION ALGÈBRIQUE ET GRAPHIQUE.

La transformation précédemment indiquée dans le cas de la formule de M. Ledoux se fait, avec la formule de Poncelet, avec plus de facilité et conduit à des résultats curieux.

Construisons par points la courbe

$$U = (2 + \log e) z - z \log z,$$

qui passe évidemment par l'origine (*fig. 9*).

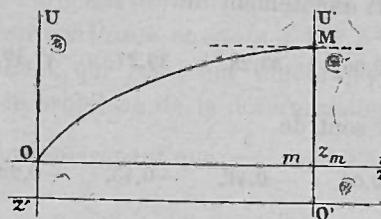


FIG. 9.

La valeur de z qui la rend maximum est $z_m = 100$, et la valeur maximum de U

$$U_m = 43,44.$$

Il est facile de voir que cette courbe se confond presque identiquement avec un arc d'ellipse ayant son centre sur la verticale de $z = 100$, à une distance, et au dessous de l'axe de z , de 12, et pour demi-grand axe 102,5. Rapportée à ses axes, cette ellipse est

$$\left(\frac{z'}{102,5}\right)^2 + \left(\frac{U'}{55,4}\right)^2 = 1.$$

En la rapportant aux axes primitifs, l'on a

$$\frac{(100 - z)^2}{102,5^2} + \frac{(U + 12)^2}{55,4^2} = 1;$$

d'où l'on déduit

$$U = -12 + 0,54 \sqrt{102,5^2 - (100 - z)^2}.$$

Si, par exemple, on calcule les valeurs de U avec cette formule pour des valeurs de z de

	20,	40,	60,	80,
on trouve	22,60,	32,87,	38,94,	42,27,

tandis que les valeurs de U, tirées de l'équation logarithmique, sont exactement de

	22,66,	33,28,	39,27,	42,49.
--	--------	--------	--------	--------

Les erreurs sont de

	- 0,06,	- 0,41,	- 0,43,	- 0,22,
--	---------	---------	---------	---------

en valeur absolue, soit de

	0,26 p. 100,	1,2 p. 100,	1, p. 100,	0,5 p. 100.
--	--------------	-------------	------------	-------------

Les différences sont donc toutes du même signe, et inférieures à celles que l'on obtient pour U, dans l'application de la formule de M. Ledoux, en substituant à a une valeur en différant de 0,012. Par suite, les erreurs qui en résultent pour Q et v sont plus faibles et ne dépassent pas 2 p. 100, ce qui est une approximation très suffisante.

Cela posé, la relation fondamentale (11 bis) devient :

$$Mv + N = -12 + 0,54 \sqrt{102,5^2 - (100 - z)^2}.$$

Si l'on pose

$$100 - z = Z,$$

$$(Mv + N + 12) \frac{1}{0,54} = V,$$

cette équation devient

$$V = \sqrt{102,5^2 - Z^2},$$

ce qui donne un cercle de 102,5 de rayon

$$V^2 + Z^2 = 102,5^2.$$

Z est ici ce que l'on nomme le *degré de détente*. Si l'on adopte, pour définir la *vitesse caractéristique*, l'expression de V, l'équation précédente se traduit ainsi :

Dans les machines locomotives, la somme des carrés de la vitesse caractéristique et du degré de détente correspondant est constante et égale à 102,5².

Les équations qui résolvent algébriquement et graphiquement le problème de la détermination des charges

sont alors, en remarquant que $\frac{1}{0,54} = 1,85$,

$$V = 1,85 (Mv + N + 12),$$

$$V^2 + Z^2 = 102,5^2,$$

et

$$100 - Z = \frac{K'}{v} - \lambda.$$

La courbe (R) s'obtiendra en substituant à Z, dans l'équation du cercle, l'expression

$$Z = 100 + \lambda - \frac{K'}{v}.$$

On construira donc cette courbe en reportant les ordonnées du cercle aux points d'abscisses

$$v = \frac{K'}{100 + \lambda - Z}.$$

Z ne pouvant varier que conjointement avec z devra être compris également entre 0 et 100. D'ailleurs la valeur de V' ne serait plus réelle, si Z était supérieur à 102,5. Si donc λ était plus grand que 2,5, la construction ne pourra conduire à une asymptote; la courbe s'infléchira

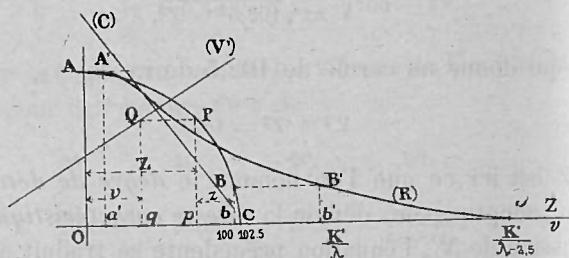


Fig. 10.

vers l'axe des Z ou des v (fig. 10) qu'elle touchera tangentiellement au point d'abscisse correspondant à $Z = 102,5$, c'est-à-dire d'abscisse $\frac{K'}{\lambda - 2,5}$. Ce sera le cas généralement réalisé. Si nous supposons que l'on trace le cercle de rayon $OC = 102,5$, on prendra $Ob = 100$; l'arc de cercle utile sera AB . En prenant ensuite $Oa' = \frac{K'}{100 + \lambda}$, $Ob' = \frac{K'}{\lambda}$, on aura les deux points A' et B' qui limitent l'arc utile de la courbe (R).

Si, au contraire, $100 + \lambda$ est inférieur à 102,5 et que l'on puisse poser $100 + \lambda = 102,5 - \epsilon$, $\epsilon < 2,5$, on aura

$$v = \frac{K'}{102,5 - \epsilon - Z}$$

L'arc utile de la courbe (R) sera toujours limité à $A'B'$ (fig. 11); mais, prolongé, il sera asymptote à la droite passant par le point du cercle d'abscisse

$$Z = 102,5 - \epsilon.$$

Au delà, v sera négatif, et enfin, pour $Z = 102,5$, la courbe (R) touchera l'axe des v négatif au point d'abscisse :

$$v = -\frac{K'}{\epsilon}.$$

Pour un degré de détente $Op = Z$, l'admission $100 - Z$ sera mesurée par bp . Il suffira donc de lire ce degré d'admission par une division partant du point b et allant vers la gauche.

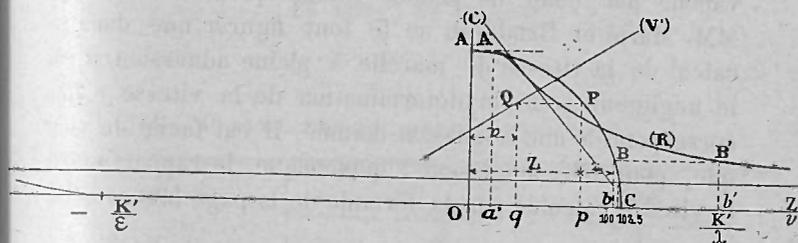


Fig. 11.

Quant à la consommation de vapeur par kilomètre, c'est-à-dire à la droite (C) qui la représente, on la construira en partant du point b comme origine. Son équation est

$$C = \frac{10d^2\delta}{D} (\lambda + z).$$

Nous donnons, à titre d'exemple d'application de la formule de Poncelet, les deux graphiques relatifs à la machine Corse, obtenus, d'une part, avec la formule elle-même, d'autre part, avec l'arc d'ellipse qui lui correspond (Pl. XV et XVI). Nous avons d'ailleurs adopté, pour données de la machine, celles de MM. Marié et Bandérali dans le rapport des *Annales des Mines* de 1883, qui diffèrent un peu de celles de M. Ledoux :

$$\begin{aligned} \lambda &= 3,3; & K &= 368 \sqrt{c \cdot g} = 2.916 \text{ kilogrammes}; \\ d^2l &= 0,05635 \text{ (on ne tient pas compte de la tige du piston)}; \\ R &= 15 \times 20^T = 300 \text{ kilogrammes}; \\ p &= 11^{\text{kg}}, 03; \\ \delta &= 5,266; & P &= 28 \text{ tonnes}. \end{aligned}$$

Toutefois, nous avons pris pour coefficient de réduction ρ un chiffre plus élevé, 0,76 au lieu de 0,7, afin d'avoir des résultats comparables à ceux donnés par le calcul pour la détermination des charges à travail complet, et reproduits dans le rapport de 1883. En prenant le même coefficient 0,7, nous eussions trouvé, en effet, des chiffres plus faibles, parce que nous avons tenu compte de l'espace nuisible pour la détermination des consommations de vapeur par coup de piston, tandis que, au contraire, MM. Marié et Bandérali ne le font figurer que dans le calcul de la vitesse de marche à pleine admission u et le négligent pour la détermination de la vitesse v qui correspond à une admission donnée. Il est facile de voir que, pour une admission z quelconque, le rapport entre la vitesse calculée par la formule de la page 538 et celle

obtenue par la méthode de M. Marié est $\frac{1 + \frac{\lambda}{100}}{1 + \frac{\lambda}{z}}$. Ce

rapport est plus petit que l'unité; pour $z = 20$, il est 0,88; notre vitesse serait de 12 p. 100 plus petite que celle calculée par M. Marié. C'est pour compenser cette diminution que nous avons élevé ρ de 10 p. 100 environ.

Paris, novembre 1899.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS
EN 1897 (*) ET EN 1898.

1° PRODUCTION DES MINÉRAIS ET MINÉRAUX.

	1897		1898	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. { Anthracite.....	47.759.351	444.742.974	47.943.940	421.889.954
{ Houille bitumineuse.....	134.405.849	621.669.267	149.875.737	665.212.254
{ Cannel coal.....	51.266	793.291	45.259	697.746
Asphalte.....	24.854	2.520.692	23.306	2.497.667
Calcaire asphaltique.....	2.168	59.311	12.791	365.164
Grès bitumineux.....	43.065	705.376	44.938	757.704
Grabamite.....	1.593	272.882	2.427	415.695
Pétrole brut.....	7.992.046	203.947.535	7.243.509	218.080.704
Gaz naturel.....	"	51.800.000	"	54.390.000
Graphite cristallin (en kil.).....	450.484	231.499	747.382	768.147
Graphite amorphe (en tonn.).....	1.089	59.052	1.089	59.052
Minérai de fer.....	18.527.772	160.276.343	20.986.359	194.735.231
— de manganèse.....	161.147	1.699.952	221.279	2.492.238
— de chrome.....	152	8.029	102	5.180
— d'uranium.....	15	46.672	30	85.470
— de tungstène.....	?	?	?	?
— de brome.....	221	706.562	221	706.314
— de zinc (exporté).....	8.393	1.094.793	10.688	1.553.327
Sulfate de cuivre naturel.....	7.589	3.345.379	12.729	4.956.796
— de zinc.....	"	"	132	24.035
— de strontium.....	36	1.036	2	52
Molybdénite.....	"	"	7	2.072
Wulfénite.....	"	"	11	746
A reporter.....		1.493.980.645		1.569.785.600

(*) Les chiffres de 1897, bien que déjà publiés l'an dernier (*Ann. des Mines*, 2^e vol. de 1898, p. 348-350), sont donnés de nouveau ici, à raison des rectifications apportées à un certain nombre d'entre eux.

	1897		1898	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
<i>Report</i>		1.493.980.645		1.569.785.600
Pyrites.....	135.502	2.096.341	194.219	3.052.724
Soufre.....	1.717	180.397	2.770	309.526
Acide sulfurique.....	38.421	3.624.213	43.144	5.025.548
Oxyde de cobalt (en kilogr.).....	8.754 ^k	159.958	4.373 ^k	79.896
Bauxite.....	20.919 ^l	266.640	27.220 ^l	346.946
Sel.....	2.009.625	20.194.520	2.382.197	24.623.980
Monazite.....	18	10.360	68	38.850
Pierre à bâtir.....	"	155.400.000	"	168.350.000
Pierre à chaux.....	4.315.651	9.681.332	5.360.232	11.939.382
Ciment naturel hydraulique.....	1.073.742	20.595.939	1.110.552	19.787.574
Ciment de Portland.....	442.060	19.295.008	650.383	31.950.789
Sable.....	762.000	5.827.500	812.800	6.104.941
Silice, briques.....	"	1.676.046	"	3.057.516
Argile.....	"	292.605.390	"	302.877.413
Ardoises pour toitures.....	281.872	14.656.945	343.715	15.325.009
Ardoises manufacturées.....	"	3.082.644	"	2.739.474
Ardoises à écrire.....	6.221	299.730	7.154	366.076
Phosphate de chaux.....	1.023.485	15.654.483	1.277.717	22.559.030
Gypse.....	272.493	4.605.937	316.326	5.126.071
Borate de chaux.....	17.600	2.009.840	13.911	1.588.706
Soude naturelle.....	5.761	494.172	6.486	490.287
Barytine.....	23.977	547.630	25.626	585.278
Magnésite.....	1.730	39.513	2.136	48.796
Amiante.....	762	67.081	803	69.541
Talc commun.....	9.221	470.903	8.266	407.381
Talc fibreux.....	47.933	1.469.488	49.721	1.480.232
Stéatite.....	15.335	875.627	17.111	821.729
Mica.....	(*) 2.669	580.772	(*) 3.251	679.974
Feldspath.....	22.251	577.011	21.692	555.021
Spath-fluor.....	4.299	187.848	11.018	450.582
Pierres précieuses.....	"	523.180	"	647.500
Ocre.....	38.637	2.426.778	38.057	2.390.311
Blanc de zinc.....	23.825	8.733.584	29.708	11.534.803
Terre à foulon.....	15.599	478.622	14.110	452.551
Corindon.....	266	102.616	713	329.603
Emeri.....	1.724	476.560	2.682	744.884
Grenat.....	2.051	343.709	2.615	429.577
Pierre ponce.....	1.542	44.030	131	3.730
Tripoli.....	1.480	28.360	1.692	17.441
Terre à diatomées.....	2.722	157.472	1.263	56.990
Pierre à meules.....	33.114	1.772.523	35.253	2.272.336
Pierres à aiguiser.....	"	503.646	"	559.388
— à fusil.....	25.771	289.132	32.290	379.761
— lithographiques.....	"	"	102	11.603
Autres produits non spécifiés (estimation).....	"	25.900.000	"	25.900.000
Totaux		2.112.994.065		2.246.354.350

(*) Y compris 54 tonnes environ de mica en feuilles, à 7.990 francs la tonne en 1897, et, pour 1898, 50 tonnes environ à 9.472 francs la tonne.

2° PRODUCTION DES MÉTAUX.

	1897		1898	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Fonte.....	9.630.649	471.429.899	11.745.428	570.672.167
Ferro-manganèse.....	176.474	41.388.045	217.189	54.258.848
Ferro-molybdène.....	"	"	"	5.439
Cuivre.....	227.420	286.749.636	243.083	327.008.463
Plomb.....	179.369	73.331.235	207.271	89.472.638
Zinc.....	91.070	42.848.385	103.514	54.022.769
Mercuré.....	905	4.715.965	1.058	5.749.515
Antimoine.....	680	555.555	907	854.700
Aluminium (en kilogrammes).....	1.814.388 ^k	7.252.000	2.358.705 ^k	8.754.200
Nickel d°.....	15.286	60.435	5.055	19.917
Molybdène d°.....	"	"	4.332	61.834
Tungstène d°.....	"	"	15.059	223.569
Argent d°.....	1.756.004	174.855.122	1.827.723	179.591.869
Or d°.....	89.092	306.711.871	97.933	337.126.987
Platine d°.....	6,2	12.784	9,3	19.876
Iridium.....	"	3.139	"	1.321
Totaux		1.409.884.071		1.637.844.112

3° PRODUCTION SECONDAIRE ET CHIMIQUE.

	1897		1898	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Coke.....	11.583.862	120.196.306	14.422.387	158.018.816
Graphite artificiel (en kilog.).....	73.655 ^k	52.572	84.209 ^k	60.104
Acier en poudre.....	294 ^l	268.448	299 ^l	239.316
Carborundum.....	564	796.746	723	784.480
Alun.....	14.022	2.401.862	17.047	2.920.131
Couperose.....	14.345	407.459	10.238	300.984
Sulfate de cuivre.....	13.335	5.877.984	12.273	4.779.446
— d'aluminium.....	42.053	6.002.972	51.404	7.338.376
— d'ammonium.....	2.822	709.059	3.256	929.551
Carbure de calcium.....	1.746	698.005	"	"
Ciment de laitier.....	7.258	310.800	28.606	1.221.035
Soude fabriquée.....	277.072	20.265.491	340.622	21.137.772
Blanc de plomb.....	95.988	49.325.825	84.525	48.649.203
Plomb rouge.....	7.074	3.857.593	8.310	4.744.850
Plomb orange.....	433	395.338	491	560.476
Rouge vénitien.....	1.296	211.292	2.067	334.473
Litharge.....	7.794	4.005.124	6.768	3.678.795
Laine minérale (*).....	5.096	318.539	5.951	364.226
Totaux		216.101.415		256.062.054

(*) Produite par les hauts-fourneaux.

4° MÉTAUX TIRÉS DES MINÉRAIS ÉTRANGERS.

	1897		1898	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Cuivre.....	12.219	15.405.232	16.355	22.001.118
Plomb.....	83.568	34.165.089	80.930	34.934.956
Nickel (en kilogrammes).....	1.859.000 ^a	7.351.502	3.233.142 ^a	12.738.060
Argent d°.....	1.250.934	124.562.455	1.237.560	121.587.861
Or d°.....	18.195	62.634.483	33.142	114.089.293
Totaux.....		244.118.761		305.351.288

RÉCAPITULATION.

Résumé des valeurs.	1897	1898
	Valeur en francs	Valeur en francs
1° Production des minerais et minéraux.....	2.112.994.065	2.246.354.350
2° Production des métaux.....	1.409.884.071	1.627.844.112
3° Production secondaire et chimique.....	216.101.415	256.062.054
4° Métaux tirés des minerais étrangers.....	244.118.761	305.351.288
Totaux généraux.....	3.983.098.312	4.435.611.804

(Extrait de The Mineral Industry, vol. VII.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA RÉPUBLIQUE SUD-AFRICAINE.

1° Production d'or en 1898.

Noms des districts.....	WITWATERS-RAND	HEIDELBERG	GRONDRUIT	DE RAAP	SWAZIELAND	ZOUTPANSBERG	PELGHIMSRUST	DIVERS	TOTAL		
Mètres d'avancement.....	Galeries.....	127.545	6.400	2.056	4.887	297	66	15.442	139	156.880	
	Puits.....	50.522	1.800	1.109	1.780	11	94	84	97	55.555	
Nombre de tonnes traitées	Minerais.....	Extraits.....	7.553.223	58.800	202.065	174.143	29.102	2.792	171.604	2.219	8.194.556
		Passés à l'amalgamation et par 24 heures.....	6.598.628	50.500	160.904	142.044	26.280	2.551	146.535	2.466	7.430.007
	Broyés aux pilons et aux cylindres (total).....	(4,2)	(4,2)	(4,2)	(2,3)	(6,3)	(3,8)	(4)	(1,7)	(4,1)	118.986
	Résidus traités.....	6.628.730	53.100	193.001	171.704	28.445	2.551	168.912	2.466	7.248.993	
Nombre moyen des personnes employées	Concentrés traités.....	4.585.085	36.200	127.433	77.338	25.151	"	89.257	"	4.941.190	
	Slimes traités.....	136.625	"	3.451	805	"	"	"	"	137.430	
	TOTAL.....	567.069	"	"	"	"	"	20.356	"	590.876	
Mines.....	Blancs.....	8.191	107	69	188	4	2	100	3	8.664	
	Noirs.....	65.944	1.350	1.483	1.855	109	36	2.263	22	73.063	
Broyage et traitement métallurgique.....	Blancs.....	1.723	10	39	144	5	3	92	3	2.030	
	Noirs.....	7.410	80	315	689	64	12	408	7	8.999	
Alluvions.....	Blancs.....	"	"	"	12	1	"	4	"	17	
	Noirs.....	"	"	"	19	8	"	16	"	43	
TOTAL.....	Blancs.....	9.854	177	108	344	10	5	196	6	10.701	
	Noirs.....	73.351	1.440	1.798	2.563	181	48	2.687	29	82.105	
Valeur de l'or extrait des mines	Par les pilons ou cylindres (francs).....	254.172.029	1.987.510	2.002.293	4.830.537	295.049	111.522	5.558.438	74.070	269.031.451	
	Par les procédés chimiques (francs).....	127.555.597	1.736.100	1.178.224	2.884.564	421.073	"	4.630.372	"	140.434.998	
	TOTAUX (francs).....	381.727.626	3.743.680	3.180.517	7.715.101	716.122	111.522	10.197.810	74.070	409.466.449	
Valeur par tonne rapportée au total des tonnes broyées et moulues (fr. c.).....	(57,50)	(70,30)	(26,84)	(45,23)	(25,62)	(43,72)	(60,71)	(30,04)	(56,50)		
Valeur de l'or d'alluvions (francs).....	"	"	"	51.802	12.610	"	57.830	"	122.242		
Valeur de la production totale (francs).....	381.727.626	3.743.680	3.180.517	7.766.903	728.732	111.522	10.255.640	74.070	409.588.691		

Valeur totale de la production depuis 1884.

	francs
1884.....	254.621
1885.....	151.572
1886.....	875.386
1887.....	4.272.293
1888.....	24.398.231
1889.....	37.592.126
1890.....	47.152.445
1891.....	73.750.972
1892.....	114.325.812
1893.....	138.218.160
1894.....	193.365.575
1895.....	246.424.177
1896.....	216.988.365
1897.....	293.906.943
1898.....	409.588.691
TOTAL.....	1.771.465.369

N. . . Les chiffres officiels datent seulement de 1891.

2° Production du charbon en 1897 et 1898.

	1897	1898
Nombre des mines.....	42	33
Extraction (en tonnes métriques).....	1.512.651	1.771.395
Vente.... { Tonnes.....	1.451.392	1.730.382
{ Francs.....	15.451.487	30.139.148
{ Valeurs par tonne.....	10,65	17,40
Nombre moyen des ouvriers { A la surface.. { Blancs.....	313	270
{ Noirs.....	2.744	2.689
{ Blancs.....	159	121
{ Au fond..... { Noirs.....	3.917	4.242
{ Blancs.....	472	391
{ Total..... { Noirs.....	6.661	6.901

Production totale du charbon depuis 1893.

	1893	1894	1895	1896	1897	1898
Poids (tonnes métriques).....	557.311	804.020	1.151.601	1.460.294	1.625.815	1.938.333
Valeur au puits (francs).....	6.492.990	9.071.483	13.018.942	15.448.788	15.451.487	16.835.686
Prix moyen par tonne (fr. c.)..	11,65	11,28	11,30	10,60	9,50	8,70

(Extrait des Tableaux statistiques dressés par M. J. H. MUNNIK, Ingénieur des Mines de la République Sud-Africaine.)

COMMISSION DU GRISOU.

RAPPORT

FAIT AU NOM DE LA COMMISSION DU GRISOU

SUR L'EMPLOI DES EXPLOSIFS DE SURETÉ

DANS LES MINES A GRISOU

Par M. L. AGUILLON, Inspecteur général des Mines.

L'Administration supérieure a saisi la Commission du grisou des dossiers de deux affaires. L'un est l'enquête administrative à laquelle il vient d'être procédé auprès des services locaux dont dépendent les mines à grisou les plus importantes (*) sur l'emploi des explosifs de sûreté dans les mines, et plus spécialement sur la réglementation dont ils ont été l'objet, en conformité de la circulaire du Ministre des Travaux publics du 1^{er} août 1890. L'autre dossier concerne une proposition spéciale, formulée par le Service des Mines de Saint-Étienne au sujet de l'inscription de la composition de l'explosif sur toutes les cartouches employées dans les mines à grisou et notamment sur les cartouches d'explosifs Favier. Nous nous proposons de rendre compte de ces deux affaires, à raison de leur connexité, dans ce même rapport où nous présenterons, après avoir fait l'exposé des questions, les conclusions que la Commission du grisou a été amenée à prendre à la suite de leur discussion.

(*) Les services consultés ont été ceux des arrondissements minéralogiques de : Alais, Arras, Chalon, Douai, Saint-Etienne et Toulouse.

I

Lorsqu'on examine la statistique des accidents mortels survenus dans les mines de France durant ces vingt dernières années et que nous rappelons dans le tableau ci-dessous (*), on ne laisse pas d'être frappé de l'accroissement considérable de sécurité qu'elle dénote dans les mines de combustibles depuis et y compris l'année 1892. Si l'on distingue, d'ailleurs, les accidents dus au grisou seul de ceux provenant de toutes autres causes, on constate, pour les années écoulées depuis cette date, que cette amélioration porte à peu près exclusivement sur les premiers. Dans cette dernière période, il y a eu quatre années sans un seul accident mortel de ce chef; dans les trois autres, on n'en relève que 0,2 ou 0,4

(*)

ANNÉES	NOMBRE PROPORTIONNEL DE MORTS SUR 10.000 OUVRIERS			
	Mines de combustibles			Autres mines
	Grisou	Autres causes	Total	
1877	4.8	16.8	21.6	10.3
1878	1.5	12.9	24.4	17.9
1879	1.6	14.4	16	12.9
1880	1.4	16.1	17.5	18.8
1881	2.1	14.3	16.4	16.9
1882	1.1	13.1	14.2	11.5
1883	3.4	11.8	15.2	14.1
1884	2	13.6	15.6	10.9
1885	4.1	12.3	16.8	15.9
1886	2.3	10.7	13	18.8
1887	8.2	9.1	17.3	11
1888	5.3	12.4	17.7	18.9
1889	20.3	9.8	30.1	14.4
1890	9.6	16.2	15.8	12.8
1891	4.9	11.8	16.7	10.3
1892	0	9.5	9.5	14.1
1893	0	9.3	9.3	12.9
1894	0	8.5	8.5	8.1
1895	0.4	11.5	11.9	13.2
1896	0.2	12.8	13	16.7
1897	0.4	10.3	10.7	20.6
1898	0	10.7	10.7	27.5

par 10.000 ouvriers, tandis que, de 1883 à 1891, on n'était jamais descendu au-dessous de 2 et qu'on s'était élevé jusqu'à 20,3. Ce résultat remarquable provient essentiellement à coup sûr de tout l'ensemble de mesures importantes et énergiques prises par l'Administration depuis 1890 : emploi des explosifs de sûreté (Circulaire du 1^{er} août 1890), interdiction de certains types de lampes (Circulaire du 8 août 1889), mode de fermeture des lampes de sûreté (Circulaire du 8 août 1890), emploi d'appareils pour l'analyse et le jaugeage des courants d'air; et à côté de ces mesures réglementaires générales, il faut mentionner l'intervention pressante des services locaux pour augmenter le nombre des ventilateurs, accroître l'aérage et assurer sa bonne répartition.

Les résultats auxquels on est arrivé ne permettent de toucher à cette réglementation qu'avec beaucoup de prudence et de circonspection. Aussi bien les exploitants sont entrés résolument dans les vues de l'Administration, et ils semblent avoir partout accepté sans se plaindre des dispositions dont l'application n'a pas laissé généralement d'être tout d'abord onéreuse pour eux.

Une réclamation a été toutefois produite par la Compagnie houillère de Bessèges (Gard) contre l'emploi des explosifs de sûreté dans l'exploitation de ses couches minces de Molières. On exploite là des couches de 0^m,50 de puissance par une méthode assez spéciale. L'abatage se fait par une grande taille menée transversalement à la direction de la couche et s'appuyant à son extrême avancement à la voie de fond du quartier. Les charbons sont amenés à cette voie par des galeries de trainage ouvertes tous les 10 mètres, et, pour établir ces galeries, on doit en faire sauter les murs par un système particulier. On procède par coups de mine de 3 à 4 mètres de longueur que l'on charge de 2 à 3^{kg},5 d'explosifs. Avant la réglementation de 1890, on n'employait que la dyna-

mite-gomme. Depuis, comme il s'agit d'un travail en couche, on n'a plus pu se servir que des explosifs de sûreté à température de 1.500°, ce qui a conduit à augmenter notablement le nombre des coups pour produire le même travail; là où un suffisait, il en faut aujourd'hui deux ou trois. A la place d'un explosif aussi commode pour ces grands coups que la dynamite-gomme avec sa plasticité, on n'a plus que des explosifs durs, de maniement difficile. Aussi les exploitants, convaincus qu'ils pourraient sans danger, en ce qui concerne le grisou, dans les conditions très spéciales où s'exécute ce travail, y employer la dynamite-gomme, le demandent, appuyés par le service local, non par des raisons d'économie, mais par des motifs de sécurité. Ils font observer que, pour éviter le danger du grisou qu'ils ne redoutent pas, on accroit le nombre des accidents dus au maniement des explosifs; suivant eux on doit, en effet, admettre que ces accidents sont proportionnels au nombre ou à la longueur des coups.

Saisi de cette réclamation et de l'instruction à laquelle elle avait donné lieu, le Conseil général des Mines fut d'avis qu'avant de statuer il serait utile de se rendre compte des résultats produits dans les principales mines grisouteuses par l'application de la réglementation de 1890 sur les explosifs de sûreté, dans le but de voir plus nettement les modifications qu'une pratique de huit ans aurait pu suggérer. De là l'enquête provoquée par l'Administration supérieure auprès des services locaux chargés des principaux bassins houillers.

Conformément au questionnaire qui leur avait été envoyé, nous examinerons successivement, d'après les réponses des Ingénieurs :

1° La statistique de l'emploi des explosifs et de leurs accidents;

2° Les restrictions que pourrait comporter le régime de 1890, notamment pour la limitation des charges;

3° Les extensions qui pourraient être consenties au régime des dérogations;

4° Les modifications à introduire dans la nature ou le mode de fabrication des explosifs;

5° Les autres observations diverses suggérées par leur emploi.

Aux renseignements fournis par l'enquête dont l'Administration supérieure avait transmis le dossier à la Commission, nous joignons ceux que les Ingénieurs en chef, primitivement consultés, ont bien voulu, sur la demande de la Commission, lui envoyer plus tard directement sur quelques points qu'elle a cru utile d'élucider plus complètement.

§ 1. — STATISTIQUE ET PRATIQUE DES EXPLOSIFS.

On ne consomme en France que trois espèces d'explosifs de sûreté : le coton octonitrique de l'État ; les grisounites ou dynamites à l'azotate d'ammoniaque ; les grisoutines Favier.

Le coton de l'État est extrêmement peu employé. Les grisounites et les grisoutines se répartissent inégalement entre les divers bassins houillers. Le choix entre les deux types paraît dépendre plus de raisons d'ordre administratif que de motifs techniques. On sait, en effet, les difficultés que rencontrent et surtout que rencontraient les exploitants pour établir des dynamitières qui pussent être acceptées par l'Administration. Ces difficultés seront sans doute atténuées avec la possibilité de recourir aux dynamitières superficielles enterrées. En tous cas, on les évite avec les explosifs Favier, dont les dépôts et la conservation échappent à toute cette réglementation.

Les chiffres du tableau suivant, relatifs à l'année 1897, donneront un aperçu des quantités d'explosifs de sûreté

employées en France et de leur répartition entre nos différents bassins houillers grisouteux :

DÉSIGNATION des bassins houillers	DYNAMITE- gomme ou autres dynamites	GRISOUTINE	GRISOUNITE (Favier)	COTON octonitrique	POUDRE noire
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Alais.....	30.000	40.000	20.000	"	?
Aveyron.....	?	3.400	38.000	"	?
Saint-Etienne.....	12.000	46.000	24.000	1.500	27.000
Saône-et-Loire.....	14.000	"	20.000	1.700	?
Nord.....	64.000	102.500	"	4.100	?
Pas-de-Calais.....	125.000	186.800	6.000	2.900	79.300

Si l'on peut donner des chiffres absolus pour la consommation des explosifs de sûreté, il est moins aisé de donner ceux concernant l'emploi des autres explosifs dans les mines grisouteuses, à raison de la difficulté de leur répartition entre celles-ci et les mines non grisouteuses.

A titre d'indication, on peut rappeler que l'on admet une consommation par tonne de houille abattue en explosifs de toute nature de :

- 50 grammes dans le bassin houiller du Gard ;
- 30 grammes dans le bassin houiller du Pas-de-Calais ;
- 22 grammes dans le bassin houiller de Saint-Étienne.

Une autre indication intéressante a été fournie dans ce dernier bassin sur l'accroissement du prix de revient, qui est résulté de la modification du type des explosifs par la réglementation de 1890.

La dépense en explosifs à la tonne était, avant 1890, de.....	0 ^f ,0987
Elle est devenue depuis, y compris les détonateurs.....	0,1063
donnant au total une augmentation à la tonne de.....	0 ^f ,0076
que l'on peut qualifier d'absolument insignifiante.	

En somme, même dans les districts où, comme dans le Gard, la consommation relative des explosifs est la plus considérable, l'augmentation du prix de revient par la réglementation de 1890 semble avoir été insignifiante, en ce qui concerne du moins la consommation en explosifs et détonateurs. On n'a, d'un autre côté, pas signalé que les nouveaux explosifs aient amené une diminution de rendement et partant une augmentation indirecte du prix de revient(*), et on n'a pas rappelé qu'il y ait eu une diminution appréciable dans la qualité des charbons produits, par suite d'un bris trop grand de la houille, comme on s'en était plaint dans le début de l'emploi des nouveaux explosifs.

Les quantités d'explosifs de sûreté que mentionne le tableau précédent montrent qu'ils sont entrés franchement dans la consommation. Peut-on dire qu'ils soient désormais de pratique courante, en ce sens que les ouvriers savent les utiliser de façon à leur faire produire tous leurs avantages en évitant leurs inconvénients? Oui, répond-on dans certains districts; et la preuve en est, y dit-on, que ces explosifs sont employés dans les carrières à remblais où les exploitants sont libres de choisir leurs explosifs. Il est permis pourtant, avec d'autres services, d'avoir quelques doutes sur l'éducation professionnelle des exploitants et des ouvriers dans l'emploi de ces explosifs. Cela peut tenir, il est vrai, à ce que, comme nous aurons occasion de le signaler, la fabrication laisse encore à désirer sous plusieurs rapports.

(*) Nous verrons ultérieurement que la suppression totale de l'emploi des explosifs peut, au contraire, amener une augmentation du prix de revient, qui a été évaluée à 0 fr. 25 dans certaines exploitations, sans compter que tout le monde paraît s'accorder à dire que certaines mines à mur très raide et très dur seraient inexploitable si on ne pouvait employer la dynamite-gomme ou les explosifs brisants puissants.

§ 2. — STATISTIQUE DES ACCIDENTS.

Au point de vue de la sécurité, il y a deux points à examiner, à savoir, d'un côté, le danger de l'inflammation du grisou et, de l'autre, celui du maniement des explosifs.

Les statistiques officielles annuelles ont relevé 48 inflammations de grisou suivies d'accidents de personnes de 1891 à 1897, c'est-à-dire depuis le moment de l'introduction des explosifs de sûreté dans la pratique des mines grisouteuses; et, sur ces 48 inflammations, 7 sont réputées avoir été produites par l'emploi des explosifs. C'est une proportion de 14,5 p. 100 du total des inflammations qui, par une rencontre simplement fortuite à coup sûr, est justement la proportion de 14,3 p. 100, à laquelle M. Lallemand était arrivé pour tous les accidents survenus en France de 1812 à 1884 (*Annales des Mines*, 1886, 8^e série, t. X, p. 521).

Si donc, en apparence, on ne peut pas dire que l'introduction des explosifs de sûreté ait diminué, sur le total des inflammations, la proportion des accidents dus spécialement à cette cause, il faut remarquer et retenir, pour y revenir plus tard, que des 7 inflammations constatées de 1891 à 1897 toutes proviennent de la mèche et notamment de ses projections à l'allumage.

En dehors des inflammations suivies d'accidents de personnes, qui sont seules retenues par la statistique officielle, l'enquête a signalé trois faits particuliers qui méritent d'être mentionnés :

Les exploitants des mines de Blanzky et le service local ont été amenés à penser que, en septembre 1896, il y aurait eu à ces mines une inflammation de grisou, non suivie d'accident de personnes, qui aurait été franchement produite par un coup de mine au charbon chargé à la grisounite Favier. Ce serait le seul cas d'inflammation

produit par les explosifs de sûreté qu'on aurait relevé en France. Ce fait ne repose, il est vrai, que sur des témoignages d'ouvriers qui, par suite de circonstances spéciales, n'ont pu être recueillis que plus d'un an seulement après l'incident.

Par contre, on a signalé par trois fois à Blanzky, à Lalle et à la Grand'Combe, des combustions de fonds de trous chargés à la grisounite Favier, qu'on a trouvés brûlant avec flammes, dans le charbon, lorsqu'on est revenu au chantier après le temps normal, les coups tirés.

La statistique comparée des accidents dus à l'emploi même des explosifs, dont l'Administration avait prié les Ingénieurs de se préoccuper d'une façon spéciale, n'a pas donné de résultats concluants et probants.

A priori, ou par des considérations théoriques, on a bien pu soutenir des thèses dont le côté douteux résulte de leurs contradictions mêmes. *A posteriori*, ce qui eût été plus démonstratif, on n'a pas pu produire de statistiques qui fussent concluantes dans un sens ou dans l'autre et par là s'explique la diversité des opinions émises.

On a bien dit que l'on devait admettre *a priori* la proportionnalité entre le nombre des accidents et le nombre ou la longueur des coups. A quoi on a répliqué que le problème était bien plus complexe; qu'il fallait tenir compte de la nature propre de l'explosif, de l'habileté professionnelle des ouvriers, de leur discipline et de la surveillance exercée sur eux. Aussi, tandis que les Ingénieurs de divers districts donnent la préférence aux explosifs détonants, et parfois, sans distinguer entre leurs différents genres, ailleurs on conclut en faveur de la poudre noire.

En l'absence de toute statistique qui puisse être tenue comme probante, il semble bien qu'actuellement on doive tenir la question pour douteuse. En tout cas, rien n'établit d'une façon qui s'impose que les explosifs de sûreté

aient introduit dans les mines, par leur emploi et leur maniement, une aggravation sensible de dangers pour le personnel.

§ 3. — DES RESTRICTIONS A L'EMPLOI DES EXPLOSIFS.

Les explosifs dits de sûreté ne donnent pas une sécurité absolue contre l'inflammation du grisou, mais simplement une sécurité relative. Les rapports originaires sur ces explosifs l'ont toujours reconnu; la circulaire du 1^{er} août 1890 l'a explicitement rappelé; et, comme ces rapports et cette circulaire l'avaient aussi indiqué, le danger croît avec la grandeur des charges. Dans cette question des restrictions éventuelles au régime de 1890 deux points sont à distinguer: 1^o la possibilité de l'interdiction totale de tout explosif ou la faculté de ne l'employer que dans des conditions très particulières, comme, par exemple, après le poste, lorsque tout le personnel est sorti; 2^o la limitation des charges.

Malgré le régime établi en 1890, l'Administration a conservé le droit, et les Ingénieurs ont la faculté de proposer d'interdire les explosifs, même de sûreté, dans le cas d'une mine grisouteuse qui offre des conditions d'aérage vicieuses ou dans laquelle le dégagement du grisou est trop abondant; bien que rarement, l'Administration a effectivement usé de ces pouvoirs.

Ailleurs ce sont les exploitants qui, d'eux-mêmes, dans des mines franchement grisouteuses, ont préféré renoncer à l'emploi des explosifs de sûreté. Ainsi a-t-on fait à Blanzv, dans des quartiers franchement grisoteux; et une étude attentive de M. l'Ingénieur Champy l'a amené à évaluer à 0 fr. 25 par tonne l'accroissement du prix de revient qui en est résulté. A Lens et à Liévin, on a également renoncé à l'emploi de tout explosif pour le travail

au charbon, dans les mines franchement grisouteuses; on ne s'y sert que d'aiguilles et de brise-roches. Les Ingénieurs du Pas-de-Calais font observer à ce sujet qu'avec les murs lamelleux et relativement tendres de ce district on pourrait effectivement se passer d'explosifs; mais leur emploi est une nécessité avec des murs durs; et tirer exclusivement la nuit peut être difficile. Cependant, à Anzin, dans les mines franchement grisouteuses, on ne tire les coups que le soir, après le départ du poste.

Cette notion de sécurité relative conduit naturellement à l'idée de la limitation des charges. Les travaux, faits plus ou moins récemment à ce sujet à l'Étranger, sont d'ailleurs de nature à retenir l'attention.

Tout d'abord, quelles sont les charges maxima d'explosifs détonants actuellement en usage en France, dans le travail courant?

Les charges les plus habituelles parmi celles déjà notables paraissent être de 240 à 300 grammes; on ne dépasse guère 700 grammes dans les districts de Saint-Étienne, de l'Aveyron et de Blanzv; c'est la charge qui correspond à la règle du bourrage de l'article 5 du règlement-type de 1890, 20 centimètres pour les premiers 100 grammes, plus 5 centimètres par 100 grammes en plus. Dans le Nord et le Pas-de-Calais on emploie, par coup:

Dans les murs ordinaires de....	240 à 300 grammes	
Dans les murs durs.....	800 à 1.000	—
Dans les murs exceptionnels...	1.500 à 2.000	—

et dans le percement des bowettes:

Pour les coups d'empiettage....	800 à 1.500 grammes	
Pour les coups d'élargissement.	400 à 1.000	—

C'est dans le Gard, pour l'exploitation des couches minces et le sautage des murs, soit dans les trainages,

soit plus encore dans les galeries de direction que l'on trouve les charges les plus fortes couramment employées; on y fore normalement pour l'avancement des galeries des coups de 4 mètres à 4^m,50 de long, où l'on met de 3.600 à 3.800 grammes d'explosifs.

De ces renseignements ressort — et il faut surtout retenir ce point — la tendance de l'industrie extractive à accroître constamment la grandeur des charges. Cette tendance a existé de tout temps, avec tous les explosifs; elle fait en quelque sorte partie de la recherche constante et justifiée de l'exploitant de mine en vue de réduire la part de la main-d'œuvre, restée si énorme dans cette industrie.

On conçoit bien qu'en présence de ces faits les Ingénieurs se soient généralement demandé s'il n'était pas nécessaire, avec le simple caractère de sécurité relative des explosifs de sûreté, de fixer des règles pour la limitation des charges, après expériences propres à élucider complètement le problème.

§ 4. — DE L'EXTENSION DES DÉROGATIONS.

Par contre, la grande majorité des Ingénieurs se sont prononcés pour l'extension, sous des conditions appropriées, des dérogations prévues dans la réglementation de 1890.

Un Ingénieur s'est tout d'abord demandé si l'on ne pourrait pas élever de 1.500° à 1.650° la température de détonation des explosifs pour les travaux en couche, cette dernière température étant celle de la grisoutine F(*) de

(*) La composition de la grisoutine F est :

Nitroglycérine.....	49,60
Coton azotique.....	0,40
Nitrate d'ammoniaque.....	80,00
	<hr/>
	100,00

la « Société générale pour la fabrication de la dynamite », grisoutine d'emploi plus avantageux et plus commode que la grisoutine-couche ordinaire, à température de détonation de 1.500° (*).

A un point de vue plus général, si quelques Ingénieurs ont été d'avis de ne rien modifier à une réglementation acceptée par l'industrie, et dont les résultats paraissent avoir été satisfaisants dans leur ensemble, la plupart ont rappelé que l'emploi des explosifs de sûreté ne donnait qu'une sécurité relative et qu'il y avait certaines circonstances où l'exclusion pour les travaux en couche d'explosifs plus forts que ceux à température de détonation de 1.500° imposait à l'industrie extractive une gêne trop lourde et équivalant même parfois à une véritable interdiction d'exploiter; tel serait le cas, à Saint-Étienne, pour des couches minces de 0^m,50 à 1^m,20, présentant des murs et des toits de grès très solides. Or ces Ingénieurs pensent que l'on pourrait trouver une solution donnant satisfaction à tous les intérêts, en étendant aux travaux en couche, comme aux travaux en rocher, le régime des dérogations prévu à la réglementation de 1890. On pourrait, en effet, n'accorder des dérogations pour les travaux en couche que par solution d'espèce et sous un ensemble de circonstances et de conditions, qui ne créerait pas un danger plus sérieux que celui de l'emploi en couche des explosifs à température de détonation de 1.500° surtout employés en fortes charges. Ainsi le sautage des murs, qui est, en somme, à peu près le seul travail en couche exigeant l'emploi d'explosifs puissants, ne pourrait s'effectuer, par voie de

(*) Sa composition est :

Nitroglycérine.....	11,76
Coton azotique.....	0,24
Nitrate d'ammoniaque.....	88,00
	<hr/>
	100,00

dérogação, avec ces explosifs, que si la composition du mur ne s'y opposait pas; s'il n'était pas mêlé de houille et susceptible de dégager du grisou; que si l'exploitation était conduite de façon à donner l'assurance que le grisou dégagé par la couche ne peut s'accumuler nulle part, mais est évacué d'une façon continue sans amener dans les retours d'air des teneurs trop fortes; toutes précautions utiles étant également prises, s'il y avait lieu, contre les poussières; on pourrait aussi stipuler, suivant les circonstances, que l'on ne ferait partir les coups qu'à de longs intervalles et sans autres ouvriers aux chantiers que ceux strictement nécessaires pour l'allumage.

Des Ingénieurs ont demandé qu'à cause de leur gravité éventuelle ces dérogations pour les travaux en couche ne fussent accordées qu'avec l'assentiment préalable de l'Administration supérieure. D'autres ont, au contraire, vivement insisté pour que, conformément aux règles de droit qui découlent de l'application normale de l'article 50 de la loi des 21 avril 1810—27 juillet 1880, on laissât ces questions à résoudre par les services locaux, l'Administration supérieure ne devant en connaître éventuellement que par la voie de l'appel.

§ 5. — FABRICATION DES EXPLOSIFS.

Bien qu'on constate que la fabrication des explosifs de sûreté a fait des progrès sérieux, on s'accorde à déclarer que ces explosifs, tels du moins que les livre l'industrie française, laissent encore à désirer pour la pratique courante. Les exploitants de mines trouvent la fabrication souvent irrégulière, ce à quoi les fabricants répliquent que les exploitants exigent trop de variations dans les dimensions des cartouches. On reproche à ces explosifs une trop grande hygroscopicité, qui exige qu'on les

emploie très promptement, et qui a dû conduire les fabricants à cet excès de papiers d'enveloppe contre lequel on s'élève, parce qu'on y voit une cause dangereuse de production de flammes. On dit que l'explosif pour le travail en roche manque de plasticité, est trop dur, ce qui n'empêche pas, fait cependant observer un Ingénieur, d'enfiler 10 à 14 cartouches dans un même trou. On se plaint surtout du trop grand nombre de ratés, particulièrement avec l'explosif pour le travail en couche, ou plus généralement du manque de sensibilité à la détonation. On demande que des recherches soient faites pour remédier aux plus sérieux de ces inconvénients, notamment pour substituer les enveloppes métalliques à celles en papier et pour apporter dans la composition des explosifs des modifications comme celles qui ont pu donner de bons résultats à l'Étranger. On signale à cet égard l'intérêt que pourrait présenter la substitution partielle du chlorate de potasse au nitrate d'ammoniaque; on rappelle enfin les améliorations obtenues en Allemagne dans la lahménite, soit par un simple grenage, soit par l'addition d'un peu de bichromate ou de permanganate de potasse.

§ 6. — OBSERVATIONS DIVERSES.

Un service a rappelé l'intérêt que pourraient présenter des expériences sur le bourrage au sable qui est réputé donner une résistance bien supérieure à celles des matières plastiques.

On a plus généralement insisté sur les dangers que laisse subsister la mèche. Des ingénieurs, d'après la pratique qu'ils ont du tirage à l'électricité, accepteraient la suppression absolue et générale de la mèche, étant entendu qu'on ne ferait usage que d'électricité à basse tension, d'exploseurs complètement clos, que l'on n'emploierait

que placés sur le sol des galeries. D'autres ne demanderaient la suppression de la mèche que dans les travaux en veine des couches franchement grisouteuses. Un service a rappelé enfin les propositions par lui formulées, à la suite d'incidents spéciaux, pour l'inscription de la composition de l'explosif sur les cartouches Favier, comme sur les dynamites et le coton octonitrique.

II

L'exposé que nous venons de faire, dans la première partie, des diverses questions soulevées par l'enquête va nous permettre de résumer plus rapidement les réponses que la Commission a été amenée à leur faire.

Tout d'abord, elle a pensé qu'il n'était pas inopportun de revoir la réglementation de 1890 avec les enseignements dus à une pratique de dix ans, tant en France qu'à l'Étranger. Cette revision peut et doit se faire à un double point de vue : renforcer les clauses qui peuvent paraître indispensables à la sécurité dans le travail courant et normal ; mais, en même temps, dès que la sécurité ne doit pas en être modifiée, permettre à l'industrie extractive de profiter de tous les progrès de la science pour arriver à une production plus active et plus économique.

En se plaçant dans cet ordre d'idées, il importe de rappeler, ce qui paraît avoir été parfois perdu de vue, malgré ce qu'avaient dit explicitement les documents originaires de 1890, rapports des Commissions et Circulaires ministérielles, que l'emploi des explosifs de sûreté ne donne qu'une sécurité relative. Il est bien connu, et il a été répété dès le début qu'il y avait notamment un danger à dépasser une certaine limite dans le poids des charges, même avec les explosifs considérés comme les plus sûrs, leur sécurité,

toujours relative, diminuant avec l'accroissement de la charge.

Une première question se pose donc : convient-il de rechercher et d'imposer des charges limites qui ne devront jamais être dépassées? En renvoyant au rapport qui lui a été présenté par M. Chesneau et qui a été publié dans les *Annales des Mines* (1899, 9^e série, t. XV, p. 263), la Commission peut se borner à rappeler que l'on ne voit pas la possibilité d'organiser de nouvelles expériences en vue d'étudier la proportionnalité entre les charges et la longueur du bourrage, et encore moins entre les charges à nu et l'inflammabilité d'une atmosphère déterminée. Ces essais ne pourraient, en effet, avoir de valeur pratique qu'en faisant travailler les fourneaux de mines dans les conditions habituelles de la pratique, ce qui exigerait pour chaque essai une installation coûteuse et compliquée qui serait probablement détruite après chaque expérience et devrait être refaite pour la suivante.

Mais la Commission n'a pas laissé d'être impressionnée par la tendance constante et continue qu'ont les exploitants, par des raisons très compréhensibles, à augmenter la charge des coups; il lui a paru que, sans avoir la prétention de déterminer ce que l'on a appelé une véritable charge-limite, on pouvait fixer dans la réglementation une limite définissant ce que l'on peut qualifier de régime de droit commun, de régime normal au-delà duquel on ne pourrait se placer que dans le système des dérogations déjà prévu dans la réglementation de 1890 et que la Commission, comme contre-partie des restrictions qu'elle conseille, va dans un instant proposer d'étendre. La Commission a pensé qu'en tenant compte de toutes les données du problème et notamment de tous les éléments de la pratique actuelle, qui lui ont été fournis par la présente enquête, on pourrait fixer cette limite à 1.000 grammes par coup.

Ce n'est pas tout : la réglementation de 1890, après avoir fixé une proportionnalité entre le bourrage et la charge, avait permis, dans tous les cas, de limiter la hauteur du bourrage à 0^m,50, ce qui, avec la règle donnée, 0^m,20 pour les premiers 100 grammes et 0^m,05 par centaine de grammes en sus, correspondait à une charge de 700 grammes. La Commission ne voit aucun motif à cette limitation dans ce que nous définissons ci-dessus le régime du droit commun, et, acceptant — puisqu'il n'y a aucun motif pour ne pas le faire — la formule de gradation admise en 1890, elle estime que cette formule doit, en principe, s'appliquer sans limitation.

De ce que l'on aura ainsi un régime encore plus rigoureux que celui de 1890, cela ne veut pas dire que l'usage des explosifs de sûreté dans ces conditions devienne une sorte de droit acquis pour l'exploitant. De même que celui-ci reste toujours libre de ne pas y recourir, l'Administration peut toujours les interdire ou ne les permettre que sous des conditions plus rigoureuses, par décisions d'espèces, lorsque des circonstances particulières paraissent en montrer la nécessité, comme pour une mine avec dégagement de grisou exceptionnellement abondant, et dans de mauvaises conditions d'aérage ne permettant pas l'évacuation immédiate du grisou et laissant craindre des accumulations dangereuses.

A côté de ce régime de droit commun, devenu plus sévère, la Commission pense qu'on peut établir un régime de dérogations dont cet accroissement de rigueur force à étendre les libéralités. Dans le système primitif de 1890 on ne prévoyait de dérogations que pour le travail eu roche, et elles ne pouvaient porter que sur la nature de l'explosif et la hauteur du bourrage. Dans le système qu'elle propose, les dérogations pourront, en plus, porter sur la limite de la charge. La Commission ne voit d'ailleurs pas, en principe, de motifs sérieux de maintenir

la distinction de 1890 entre les travaux au rocher, c'est-à-dire les fonçages de puits et les percements de travers-bancs, et les travaux en couche, sautage de murs ou passage d'étreintes. Dès l'instant qu'il ne s'agit que de sécurité relative, on peut admettre que les dérogations ne seront permises en couche que sous un ensemble de conditions à déterminer dans chaque espèce, qui donnent à l'industrie des moyens d'exploitation considérés comme indispensables et sans menace sérieuse pour la sécurité. Il appartiendra aux services locaux d'apprécier, lorsque la dérogation leur paraîtra pouvoir être accordée, les conditions à exiger dans chaque cas, que l'on veuille dépasser la charge-limite de 1.000 grammes, restreindre la hauteur du bourrage, ou se servir d'un explosif à température de détonation plus élevée. Les dérogations ne pourront être accordées que si l'ensemble et le détail des circonstances permettent sciemment de ne pas avoir d'accumulations de grisou et de ne pas craindre leur inflammation. Cela dépendra donc des conditions du dégagement du gaz et de son évacuation, des conditions d'aérage de la mine, et notamment de la teneur en grisou des retours d'air et de leurs variations. S'il n'est pas indispensable qu'un chantier où les explosifs sont employés sous le régime des dérogations soit aéré par un courant frais venant directement de l'extérieur, si l'air peut avoir déjà passé par des quartiers grisouteux, il faut tout au moins qu'on ait la certitude que, dans aucune circonstance, le courant ne puisse être assez chargé pour donner des appréhensions. En même temps on s'efforcera d'espacer et de restreindre le nombre des coups et de ne les tirer qu'en réduisant au strict minimum le personnel alors présent dans la mine et exposé à être atteint. On ne devra pas négliger non plus, s'il y a lieu, les dangers pouvant provenir des poussières.

Ces dérogations, que l'on s'efforcera toujours de ramener

aux strictes nécessités, bien que largement entendues, de l'exploitation, ne doivent pas être données d'une façon générale pour toute une mine ou pour tout un quartier; il faut préciser le travail pour lequel elles seront valables. Mais, dans ces limites, elles peuvent être généralisées à des circonstances qui doivent à tous égards rester semblables, par exemple au sautage des murs d'une couche, dans un quartier.

Dans le système où s'est placée la Commission, elle estime, d'ailleurs, qu'il n'y a pas lieu de revenir sur la température de détonation de 1.500° des explosifs qui doivent être employés dans le régime ordinaire, renvoyant, en outre, au Rapport précité de M. Chesneau, pour les motifs qui lui font maintenir la classification admise en France en 1890.

Elle ne croit pas non plus pouvoir revenir, actuellement encore, sur les règles admises pour la nature du bourrage.

Il n'est pas contestable que la pratique montre qu'il y aurait intérêt à améliorer la fabrication des explosifs de sûreté dans les divers sens signalés par les Ingénieurs. La suite utile que comportent ces observations consiste à demander à M. le Ministre des Travaux publics de vouloir bien s'adresser à l'Administration des Poudres et Salpêtres par l'intermédiaire de M. le Ministre de la Guerre, pour que cette Administration, du concours de laquelle on peut être certain, comme l'expérience du passé nous l'a tant de fois appris, veuille bien entreprendre des expériences dans cet ordre d'idées.

Les dangers de la mèche sont également trop connus pour que la Commission ne retienne pas les critiques soulevées contre son emploi. Peut-être seulement lui semble-t-il que ce serait aller trop loin du premier coup que d'interdire totalement son usage. L'expérience semble montrer que les inflammations se produisent presque

exclusivement à l'allumage. Il suffirait donc, pour l'instant, d'interdire l'allumage à l'amadou et d'exiger, par suite, à défaut de l'emploi de l'électricité, que l'allumage n'ait lieu que par l'un de ces moyens, aujourd'hui suffisamment connus et pratiqués, évitant la projection de flammes. Un délai convenable devrait naturellement être donné aux exploitants pour se mettre en règle sur ce point.

Reste enfin la question relative à l'inscription de la composition des explosifs sur les cartouches Favier. La Commission estime qu'il ne peut y avoir à cet égard aucune hésitation. L'inscription de la composition d'un explosif sur chaque cartouche livrée au commerce doit être tenue pour un principe essentiel et dont il faut s'efforcer d'assurer par tous les moyens la complète et stricte observation.

Le décret du 26 juillet 1890 a été provoqué pour astreindre à cette obligation toutes les dynamites, c'est-à-dire tous les explosifs hors du monopole; pour ceux du monopole, l'Administration des Poudres et Salpêtres se conforme à cette disposition, suivant la promesse qu'elle en a faite, lors de l'introduction, dans la pratique française, des explosifs de sûreté. On ne comprendrait pas que les explosifs Favier échappassent à cette prescription tutélaire et ne pussent pas y être soumis avec le régime sous lequel ils sont fabriqués et livrés au public.

La Commission estime donc qu'il y a lieu par M. le Ministre des Travaux publics de saisir de cette question M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie, auquel il appartient de la trancher.

La Commission pense d'ailleurs qu'il ne serait pas inopportun de prémunir par une Circulaire les Ingénieurs des Mines et les exploitants contre les erreurs qui peuvent être et qui ont été commises dans les mines à grisou par les deux sens donnés au mot d'explosifs de sûreté,

suivant qu'on l'applique, avec le règlement du 12 novembre 1897 sur le transport des matières dangereuses par chemins de fer, aux dangers que peut provoquer un explosif dans ses emplois courants et notamment dans son transport par voie ferrée, ou, avec la réglementation de 1890 sur les mines, aux dangers spéciaux contre l'inflammation du grisou et des poussières.

CONCLUSIONS.

Il y a lieu par M. le Ministre des travaux publics :

A. D'émettre une circulaire, qui pourrait être rédigée comme le projet ci-annexé (*), en vue de :

1° Modifier la circulaire du 1^{er} août 1890 sur les explosifs de sûreté, de façon à changer les articles 5 et 7 du Règlement-type, comme il est indiqué au projet ci-joint, afin de :

Réduire à 1 kilogramme la charge maximum normale d'un coup de mine avec explosif de sûreté ;

Supprimer la limitation du bourrage à 0^m,50 ;

Mais, par contre, étendre les dérogations aux travaux en couche comme à ceux au rocher ;

2° Interdire l'allumage des mèches de sûreté par l'amadou ou tous autres moyens donnant des flammèches ;

3° Prémunir contre les confusions qui peuvent résulter de l'emploi du mot « explosif de sûreté » dans des sens si différents, suivant les réglementations ;

B. De prier M. le Ministre de la Guerre de vouloir bien demander à l'Administration des Poudres et Salpêtres de procéder à des recherches et expériences, soit en vue d'accroître la sensibilité de la détonation des explosifs de sûreté par l'introduction d'autres substances ou la modifi-

(*) Voir cette circulaire p. 667, partie administrative de décembre 1899.

cation de la fabrication, soit en vue d'améliorer l'encartouchage de ces explosifs ;

C. De demander à M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie d'astreindre tous les fabricants d'explosifs, et notamment les fabricants d'explosifs Favier, à l'obligation faite aux fabricants de dynamites par le décret du 26 juillet 1890 pour l'inscription de la composition de l'explosif sur chaque cartouche.

L'Inspecteur Général des Mines,
Rapporteur,
L. AGUILLON.

BULLETIN
DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR
SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1898

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
5 janv.	Filature de coton, à Tourcoing (Nord).	Valve de prise de vapeur, à clapet de 90 millimètres, à boîte en fonte, de forme extérieure ovoïde : disposée sur une chaudière en contre-bas de 1 ^m ,50 à 1 ^m ,75 par rapport à quatre autres chaudières (Pl. XVII, fig. 1). Le tuyau en cuivre qui surmontait la valve avait une hauteur verticale de 2 ^m ,65, présentant un tracé doublement courbé sur les deux tiers de sa hauteur. La longueur totale du tuyau était de 4 mètres environ; son diamètre intérieur de 87 millimètres, d'où une capacité de 24 litres.	La valve s'est brisée (Pl. XVII, fig. 2 et 3) pendant que le chauffeur la manoeuvrait pour l'ouvrir ardcébut de la journée. La partie antérieure, avec le volant de manoeuvre, fut projetée et renversa le chauffeur dans une sorte de fosse située en contre-bas de la plateforme du générateur. La vis de manoeuvre avait été lournée de trois tours environ depuis la position correspondant à la fermeture du clapet. Celui-ci était ainsi ouvert de 7 millimètres environ. Le long de la section de rupture, l'épaisseur variait de 8 millimètres à 14 ^m ,5 : la fonte était saine. De plus, le tuyau de cuivre se fendit au voisinage de son extrémité inférieure, suivant une génératrice, sur 0 ^m ,14 de longueur et 15 millimètres de diamètre.	Chauffeur mortellement blessé.	Vice de disposition de la tuyauterie, consistant dans la forme en cul-de-sac d'un branchement de prise de vapeur; d'où un coup de bélior donné par l'eau de condensation contenue dans ce branchement.
8 janv.	Services auxiliaires d'un trois-mâts voilier, à Rouen (Seine-Inférieure).	Chaudière d'origine anglaise, du type cylindrique vertical, avec foyer inférieur traversé par deux bouilleurs croisés (Pl. XVII, fig. 4); l'un de ceux-ci, le plus rapproché de la grille, avait été supprimé. Surface de chauffe avec deux bouilleurs, 6 ^m 2,40; avec un bouilleur, 5 ^m 2,72. Surface de grille, 0 ^m 2,95. Timbre, 4 kilogrammes.	A un moment où le feu était activement poussé, il y a eu écrasement du tube-cheminée, qui s'est déformé et rompu au-dessus du niveau normal de l'eau; la déchirure s'est produite horizontalement sur près de la moitié de la circonférence de section droite, à 0 ^m ,31 au-dessus du ciel du foyer, soit à 0 ^m ,03 au-dessus du niveau normal constaté par les colorations des surfaces; cette déchirure occupe la partie moyenne d'une déformation, qui a presque obstrué la cheminée (Pl. XVII, fig. 5). Jet violent de vapeur dans le foyer.	Chauffeur grièvement brûlé.	Excès des températures auxquelles s'est trouvée exposée, au-dessus du niveau de l'eau, la tôle du tube-cheminée. Ces températures élevées doivent être rapportées, en essence, à ce que les surfaces de chauffe situées au-dessous du niveau de l'eau n'offraient, surtout depuis la suppression du bouilleur transversal inférieur, qu'un trop faible développement par rapport à la surface de grille, et ne suffisaient pas à dépouiller convenablement les gaz de leur chaleur, au moins lorsque le feu se trouvait porté à son maximum d'activité.
1 ^{er} févr.	Manufacture de tanins, à la Seytaz, commune de la Rochette (Savoie).	Récipient de vapeur en cuivre, vertical, cylindrique, de 1 ^m ,50 de diamètre, 3 ^m ,27 de hauteur (non compris les fonds), et 6 mètres cubes de capacité; timbre, 2 kilogrammes. Il était fermé à chacune de ses extrémités par un fond bombé, raccordé à son pourtour avec la partie cylindrique par une ligne de rivets; en dehors du congé périphérique, le fond présentait la forme d'une calotte sphérique de 1 ^m ,80 de rayon, avec un évidement central suivant une circonférence de 0 ^m ,40 de diamètre, dont le pourtour était raidi par un cadre en fonte sur lequel venait se fixer un couvercle de même matière. La vapeur était fournie par des chaudières timbrées à 6 kilogrammes,	Départ violent du fond supérieur, en forme de calotte emboutie, qui s'est déchiré à son pourtour. Dans la région arrière et dans la région avant, la rupture suivait la ligne des rivets; à droite et à gauche, elle était en tout ou partie en dehors de cette ligne; à l'arrière, elle montrait, sur 0 ^m ,70 de longueur, des traces de fissuration ancienne.	Deux ouvriers grièvement brûlés.	Le long de la rivure du pourtour du fond supérieur, la tôle de cuivre, dont l'épaisseur était faible eu égard aux dimensions et à la forme du couvercle, au timbre de l'appareil et aux mouvements de soufflet que tendaient à produire les variations répétées de la pression, se trouvait affectée d'une fissure préexistante sur 0 ^m ,70 de longueur.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
12 févr.	Fabrique de papiers, à Beaujeu (Rhône).	avec interposition d'un détendeur ramenant la pression à 2 kilogrammes. Il y avait une soupape et un manomètre. Le fond supérieur était en tôle de cuivre de 4 ^{mm} ,6, dont l'épaisseur, sur le bord embouti, se réduisait à 3 ^{mm} ,5 ou 4 millimètres. Chaudière horizontale, semi-tubulaire, à foyer extérieur, composée de deux corps superposés (Pl. XVII, fig. 6 et 7) : un corps supérieur non tubulaire, et un corps inférieur tubulaire de 1 ^m ,50 de diamètre et 3 ^m ,90 de longueur, placé directement au-dessus du feu. Surface de chauffe, 120 mètres carrés; capacité, 15 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes.	La tôle de la première virole du corps inférieur s'ouvrit au coup de feu du côté gauche, suivant une génératrice, sur toute la longueur de la virole, et se déroula partiellement, d'une part, en se déchirant le long de la rivure circulaire de jonction avec la plaque tubulaire, d'autre part, en brisant 13 rivets le long de la rivure circulaire de jonction avec la deuxième virole. Cette rivure, en-deçà et au-delà des rivets brisés, présentait une forte dilatation (1/2 à 1 1/2 millimètre). Une dilatation un peu moindre existait au joint de la deuxième et de la troisième virole, qui était légèrement entrebâillé. Enfin la tôle de coup de feu de la deuxième virole présentait une amorce de déchirure; elle était souflée et fendillée sur une longueur de 0 ^m ,40. La tôle, qui ne portait pas d'incrustations, présentait les caractères du métal surchauffé sur toute la longueur du corps cylindrique: les deux premières viroles montraient la coloration bleue caractéristique. Au moment de l'accident, la pression était de 3 ^m ,5 seulement. La virole antérieure du corps cylindrique s'est déroulée après s'être ouverte le long d'une génératrice voisine de la génératrice inférieure, près de la rivure longitudinale reliant entre elles les deux plus anciennes tôles sur les quatre qui constituaient la virole: les deux autres tôles (supérieures) semblaient avoir été posées après réparation (Pl. XVII, fig. 8 et 9). L'épaisseur était en général de moins de 6 millimètres; elle était réduite à 4 millimètres en bien des points par des corrosions circulaires; elle n'atteignait que moins de 1 millimètre en divers points de la déchirure et de la ligne de rivure. Essayée à la traction, la tôle a donné 22 ou 23 kilogrammes par millimètre carré de résistance à la rupture et 2 ou 3 p. 100 d'allongement.	Chauffeur mortellement brûlé. Dégâts matériels peu importants.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau.
26 févr.	Etablissement de bains à Fleminy (Loire). Bateau à vapeur, en pleine mer.	Chaudière horizontale, tubulaire, à foyer extérieur et flamme directe. Surface de chauffe, 11 mètres carrés; capacité, 1 ^m 3,265; timbre, 5 kilogrammes. Le corps cylindrique avait 0 ^m ,785 de diamètre. Date d'origine de la chaudière non connue avec précision. Chaudière multitubulaire Niclausse. (Voir les accidents des 4 mars et 4 septembre 1898.)	Rupture et déboîtement d'un tube.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Causes analogues à celles de l'accident du 4 mars. (Voir ci-après.)
4 mars.	Bateau à vapeur, au Croisic (Loire-Inférieure).	Chaudière multitubulaire Niclausse. (Voir aussi les accidents des 26 février et 4 septembre.)	Déboîtement d'un tube vaporisateur à la partie inférieure du faisceau, à la suite de la rupture du lanterneau. Il a été constaté dans l'enquête que presque tous les lanterneaux des tubes de la rangée inférieure et l'un au moins de la deuxième rangée étaient cassés antérieurement à l'accident. Tandis que la plaque arrière des éléments formait un ensemble qui avait conservé sa fixité, il a été reconnu qu'à l'avant la ligne inférieure des tubes n'était plus horizontale, et les éléments avaient glissé sur l'habord. Il y avait des traces de dépôt gras dans les tubes. Le tube déboîté a été projeté à l'intérieur du fourneau, et ce dernier a été envahi par un flux d'eau et de vapeur.	Mécanicien mortellement brûlé. (Les conséquences de l'accident auraient pu être évitées, si les dispositions de la façade avaient protégé le personnel de la chaufferie contre les conséquences d'une rupture de tube vaporisateur.)	La rupture de lanterneau qui a occasionné l'accident doit être attribuée principalement aux efforts de flexion auxquels cette pièce s'est trouvée soumise, efforts que le mode de construction et d'installation de la chaudière n'excluait pas suffisamment et auxquels le mauvais état de la murette d'avant a dû contribuer.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
8 mars.	Fabrique de mécaniques pour pianos, à Paris.	Chaudière horizontale, cylindrique (Pl. XVII, fig. 10 et 11), à deux bouilleurs inférieurs : surface de chauffe, 37 mètres carrés; capacité, 9 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes.	La tôle du bouilleur de gauche s'est déchirée sur 1 mètre de long et 48 millimètres de bâillement. Au voisinage de la lèvre inférieure, sur toute la longueur de la déchirure, et sur une largeur de 0 ^m ,10, la surface extérieure du métal montrait une coloration bleue. Pas d'effets dynamiques. La chaudière avait fonctionné sans son tube de verre, celui-ci s'étant brisé, depuis six ou sept heures du matin jusqu'à dix heures (heure de l'accident). Le flotteur Bourdon, qui constituait le deuxième indicateur, avait ses deux bras de levier équilibrés de telle sorte qu'il indiquait niveau moyen lorsque la meule avait cessé de flotter : l'appareil était d'autant plus trompeur qu'il était libre dans son articulation. Une des branches de la fourche d'alimentation (celle qui aboutissait au bouilleur de gauche) était entièrement bouchée par le tartre.	Le chauffeur et son jeune fils mortellement brûlés. L'accident paraît avoir dû la gravité de ses conséquences aux dispositions de la façade du générateur, dont le foyer n'avait qu'une porte battante sans loquet et dont le cendrier était béant.	Surchauffe par manque d'eau, qu'il y a lieu de rattacher à l'état défectueux des appareils indicateurs.
15 mars.	Scierie, à Bromont-Lamothe (Puy-de-Dôme).	Chaudière mi-fixe, horizontale, à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire (Pl. XVII, fig. 12). — Timbre, 4 kilogrammes. — La construction de la chaudière devait dater de 1870. — Le foyer, de 9 millimètres d'épaisseur, comprenait deux faces latérales planes d'environ 0 ^m ,52 × 0 ^m ,76, réunies l'une à l'autre au haut et au bas par des nervures en double-cylindriques.	Rupture et écrasement du foyer intérieur, dont la paroi droite s'est rabattue pendant un stoppage de la machine. La pression envahissant le foyer, l'appareil a fait canon par les deux bouts : les fermetures des deux boîtes arrière et avant (boîte à retour de flamme et boîte à fumée) ont été projetées en sens inverse.	Un ouvrier très légèrement brûlé. Effets mécaniques assez violents.	Dispositions du foyer défectueuses dès l'origine et rendues de plus en plus vicieuses par la fatigue et l'usure, surtout après que les entretoises eurent cédé ou lâché prise.
21 mars.	Raffinerie de sucre, à Paris.	Chaudière Belleville, du type C-G : surface de chauffe, 116 mètres carrés; capacité, 3 mètres cubes; timbre, 12 kilogrammes. — Tubes de 125 millimètres de diamètre extérieur et 2 ^m ,40 de longueur; celui qui s'est rompu avait 5 millimètres d'épaisseur.	Le troisième tube à partir du bas du troisième élément à partir de la gauche s'est ouvert sur 0 ^m ,40 de longueur et 0 ^m ,10 de bâillement, en dehors de la soudure. Divers tubes de la partie inférieure du faisceau présentaient des colorations bleues d'oxyde. — Pas d'obstruction.	Deux ouvriers brûlés, l'un grièvement, l'autre sans gravité. L'accident a dû la gravité de ses conséquences à l'absence d'automatisme des portes du foyer et peut-être à ce que la porte de la chaufferie (voisine du générateur) s'ouvrait vers l'intérieur de la chaufferie.	Surchauffe produite, selon toute vraisemblance, par un manque d'eau dont la cause n'a pu être déterminée par l'enquête.
22 mars.	Fonderie, à Hautmont (Nord).	Chaudière horizontale, cylindrique, à foyer intérieur en forme de tube la traversant de part en part, les gaz chauds, après avoir parcouru d'avant en arrière le tube-foyer, revenaient d'arrière en avant, le long du corps cylindrique, par un carneau situé à droite de ce corps, puis s'en allaient d'avant en arrière par un carneau symétrique situé à gauche, et finalement gagnaient la cheminée (Pl. XVII, fig. 14, 15 et 16). Les deux carneaux étaient séparés au	Les machines étaient arrêtées depuis deux heures, lorsque la virole d'arrière du corps cylindrique s'ouvrit, suivant sa génératrice inférieure, et l'appareil fut violemment projeté. Dans la partie basse arrière de la chaudière, suivant la bande correspondant au contact de la murette, l'épaisseur des tôles était réduite par une corrosion extérieure à 3 ^{mm} ,2 et même 1 ^{mm} ,1. Une fissure s'étant produite dans la partie malade, deux	Quatre ouvriers tués, sur le coup ou mortellement brûlés; huit blessés grièvement et deux légèrement. Débris matériels très considérables.	Corrosion extérieure profonde, qui avait rongé la tôle au bas du corps cylindrique, là où cette tôle, fêlée par les gaz de la combustion, se trouvait au contact d'une maçonnerie qui a dû s'imprégner d'humidité.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
19 avril.	Exploitation de mine de lignite, à Saint-Paulet (Gard).	Chaudière horizontale, non tubulaire, à foyer intérieur, timbrée à 6 kilogrammes. — Le tampon de vidange non autoclave (Pl. XVIII, fig. 1 et 2), fermant un orifice elliptique de 120 × 75 millimètres, était maintenu par l'écrou d'un boulon à ancre de 25 millimètres.	mois avant l'accident, l'appareil avait été remis en service après une réparation consistant dans la pose de contre-pièces.	Un ouvrier brûlé grièvement.	Disposition défectueuse du tampon (fermeture non autoclave) et manœuvre imprudente (serrage du joint effectué sur la chaudière en pression).
22 mai.	Usine d'apprêtage d'étoffes, à Arcueil (Seine).	Récipient de 0 ^m ,70 de diamètre et 1 ^m ,40 de longueur; timbre, 6 kilogrammes. — L'appareil fonctionnait comme bouteille alimentaire. Appareil ancien; dernière épreuve en 1895.	Départ de l'un des fonds, qui s'est rompu sur presque toute la circonférence, suivant une ligne légèrement sinuée, le long du congé périphérique suivant lequel il se raccordait à la virole cylindrique. L'épaisseur de la tôle constituant le fond, qui était primitivement de 8 millimètres, était réduite progressivement, du haut au bas, de 8 millimètres à 1 millimètre 1/4; sur près du quart de la circonférence, elle ne dépassait guère 3 millimètres; cette réduction d'épaisseur était due à une corrosion extérieure, causée probablement par des fuites à la rivure circulaire du fond, et à une corrosion intérieure qui avait produit non pas un sillonnage, mais un soulèvement pré-fond.	Néant.	Etat de vétusté et de mauvais entretien de l'appareil, corrodé intérieurement et extérieurement sur une partie du pourtour de son fond d'arrière.
9 juin.	Papeterie à Gerberly-lès-Annonay (Ardèche).	Cylindre sécheur en fonte (Pl. XVII, fig. 3) usé, avec trois autres, d'une machine à sécher le parchemin végétal: diamètre, 0 ^m ,78; longueur, 1 ^m ,40; la paroi cylindrique avait 20 millimètres d'épaisseur; les fonds avaient une épaisseur variable de 10 à 15 millimètres, avec renforcement par des nervures. Chacun des fonds était assemblé au cylindre par des vis. Timbré à 1 ^{kg} ,5, la dernière fois en 1897, l'appareil recevait la vapeur d'une chaudière timbrée à 5 kilogrammes, sans interposition de soupape, par un tuyau de 28 millimètres de diamètre; l'évacuation de l'eau condensée et de la vapeur s'effectuait par un tube qui tournait avec le cylindre; on avait ajouté, la veille de l'accident, un purgeur automatique qui pouvait prêter à l'établissement d'un excès de pression dans l'appareil.	Sur un des fonds usés.	Un ouvrier mortellement brûlé et un autre grièvement.	Mauvais état du fond en fonte, d'âge ancien et présentant des cassures préexistantes; peut-être, en outre, excès de pression, auquel prélaient et l'absence de soupape réglementaire et la pose, la veille de l'accident, d'un purgeur automatique capable de supprimer tout échappement libre de la vapeur.
15 juin.	Fabrique de rubans, à Wervicq (Nord).	Valve de prise de vapeur, à boîte en fonte placée (Pl. XVIII, fig. 4 et 5) sur l'une des deux chaudières (timbrées à 8 kilogrammes) de l'usine, et interposée à l'origine d'un tuyau de 0 ^m ,15 de diamètre qui allait en s'élevant avec une inclinaison d'environ 2 1/2 p. 100 sur l'horizontale, sur 4 à 5 mètres de longueur, puis se réunissait au tuyau de prise de vapeur de la chaudière voisine, pour se rendre à la machine par un tuyau unique.	La boîte de la valve s'est brisée (Pl. XVIII, fig. 6), sa partie supérieure emportant avec elle le clapet, pendant que le chauffeur cherchait à ouvrir la valve au début de la journée: le clapet était à peine soulevé. La fonte était saine, bien que l'épaisseur variât le long de la cassure de 10 à 17 millimètres; la boîte était suffisamment solide pour résister à la pression de marche (Voir <i>Annales des Mines</i> , 9 ^e série, t. XV, 1899, 2 ^e livraison, p. 127 et suiv.).	Chauffeur grièvement brûlé.	Vice de disposition de la tuyauterie prélaissant à l'accumulation d'eau condensée, laquelle a occasionné un coup de bélier.
30 juin.	Teinturerie, à Tourcoing (Nord).	Robinet de purge d'une chaudière Babcock et Wilcox. Le robinet était adapté par une bride à un tuyau en cuivre de 0 ^m ,06 de diamètre, greffé sur le collecteur de boues; la bride (Pl. XVIII, fig. 7), au lieu d'être venue de fonte avec le robinet, était simplement	Le robinet s'est rompu pendant que le chauffeur le manœuvrait.	Chauffeur mortellement brûlé. La disposition défectueuse du réduit dans lequel était placé le robinet rendait cri-	Constitution vicieuse du robinet qui s'est rompu.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
16 juillet.	Fabrique d'alumine, à Gardanne (Bouches-du-Rhône).	Chaudière Babcock et Wilcox, dont le faisceau vaporisateur était surmonté de deux corps cylindriques supérieurs placés côte à côte et chauffés jusqu'un peu au-dessous de leur axe. Chaque corps mesurait 1 ^m .07 de diamètre et 6 ^m .88 de longueur, non compris les fonds emboutis; il se composait de cinq viroles formées chacune d'une seule feuille de tôle en acier doux, d'une épaisseur voisine de 15 millimètres, assemblée à elle-même le long d'une génératrice par une rivure à deux rangs de rivets. Les viroles successives étaient assemblées l'une à l'autre par des rivures circulaires à un seul rang; surface de chauffe de la chaudière, 236 mètres carrés; capacité, 18 mètres cubes; timbre, 12 kilogrammes.	Ouverture en grand de la virole milieu du corps cylindrique de gauche; il y eut cassure tout le long de la rivure longitudinale de cette virole, rivure qui se trouvait sur le côté gauche et vers la partie supérieure de la virole; la déchirure affectait celle des deux rives de la tôle qui se trouvait à l'intérieur du réservoir (Pl. XVIII, fig. 9).	lique la situation d'un homme atteint dans ce réduit par une fuite de vapeur Un ouvrier tué, un ouvrier blessé grièvement, trois ouvriers blessés légèrement.	Fissuration ancienne existant le long de la rivure longitudinale de la virole milieu de l'un des corps cylindriques supérieurs, et affectant la rive intérieure au voisinage du bord de la rive extérieure; l'origine de la fissuration n'a pas été déterminée, mais il y a lieu de retenir le surmenage de l'appareil et les fuites auxquelles les rivures de ses corps supérieurs avaient donné lieu.
17 juillet.	Bateau à vapeur, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière horizontale, cylindrique, à deux foyers intérieurs et retour de flamme tubulaire (Pl. XVIII, fig. 10 et 11). Surface de chauffe, 58 mètres carrés; surface de grille, 2 ^m 2.40; capacité, 6 mètres cubes; timbre, 5 kilogrammes; 1/2. Les bords de la tôle sont	La tôle cylindrique réunissant les deux plaques (tubulaire et de fond) de la boîte à feu s'est rompue dans la région basse côté tribord, suivant une déchirure complexe (Pl. XVIII, fig. 12), dont les bords se sont retournés vers l'intérieur de la boîte à feu, faisant	Le mécanicien tué. Sept ouvriers blessés, dont l'incapacité de travail a duré moins de vingt jours.	Corrosion profonde qui avait rongé à l'excès la tôle cylindrique de la boîte à feu du côté de l'intérieur de cette boîte, c'est-à-dire du côté des gaz chauds.
18 juillet.	Filature, à Vinccy (Vosges).	Chaudière semi-tubulaire à bouilleurs. Surface de chauffe, 160 mètres carrés; capacité, 16 mètres cubes; timbre, 9 ^m 5. — La tête en fonte du dôme portait quatre tubulures de prise de vapeur venues de fonte avec elle, disposées à son pourtour et saillant à demi en dehors de cette tête; la tubulure principale était coiffée d'un robinet-valve, surmonté lui-même d'un clapet automatique d'arrêt de vapeur. Cette chaudière faisait partie d'une batterie de six chaudières semblables.	0 ^m .40 X 0 ^m .10 par laquelle la chaudière a été violemment vidangée, arrachant et projetant le gaillard du foyer de tribord, enlevant les portes des deux cendriers et l'un des côtés de la fermeture de boîte à fumée. Dans presque toute la région de la déchirure, l'épaisseur de la tôle était réduite de 13 millimètres (d'après les dessins de construction) et de 10 millimètres (dans les parties saines) à 3 millimètres et même 1/2 millimètre.	Pas d'accident de personne. La conduite allant de la tubulure au collecteur principal a été violemment arrachée.	Défaut de fonte existant dans la tubulure qui s'est rompue; ce défaut avait pour origine les trop grandes inégalités d'épaisseur de l'ensemble de la pièce et s'était déjà manifesté, environ quatre ans avant l'accident, par un commencement de fuite.
5 août.	Papeterie, aux Salvaiges, commune de Burlats (Tarn).	Récipient lessiveur (Pl. XVIII, fig. 15) formé d'un cylindre horizontal en tôle de 1 ^m .60 de diamètre, 3 ^m .80 de longueur, 10 millimètres d'épaisseur, et de deux calottes terminales en fonte de 20 à 30 millimètres d'épaisseur, de 0 ^m .12 ou 0 ^m .13 de flèche, qui portaient chacune au centre l'un des deux tourillons de support et de rotation et présentaient à la périphérie une amorce de partie cylindrique sur laquelle la tôle était rivée. Timbre, 5 kilogrammes. Il recevait la vapeur	Le fond opposé à l'introduction de la vapeur se détacha par l'effet d'une cassure circulaire de la fonte, tout le long de la ligne des rivets. Il existait, dans le bas de la circonférence, à droite, une zone intéressant quatre ou cinq rivets, de 0 ^m .25 à 0 ^m .30 de longueur, où le métal présentait des soufflures et des fissures préexistantes. Le reste de l'appareil recula de 3 ^m .50 environ; le fond correspondant a été trouvé brisé et séparé du cylindre.	Un ouvrier mortellement brûlé, un autre grièvement. Dégâts matériels considérables	Affaiblissement de la couronne d'attache de l'un des fonds en fonte avec le cylindre en tôle, le long de laquelle des cassures plus ou moins anciennes s'étaient développées.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
16 août.	Battage des grains, au Valais-Cesson, commune de Saint-Brieuc (Côtes - d u - Nord).	Chaudière locomobile en fer. Timbre, 7 kilogrammes; treize tubes à fumée de 6 ^m ,5 de diamètre et 2 ^m ,5 d'épaisseur.	en partie par brisure de la fonte suivant la ligne des rivets, en partie par cassure en pleine fonte, en partie par déchirure de la tôle. Pendant un arrêt de la machine, trois des cinq tubes de la rangée supérieure se sont rompus: l'un (en laiton) s'est cassé; les deux autres (en cuivre) se sont aplatis; une cassure s'est produite dans la plaque tubulaire du foyer, à hauteur des tubes avariés, et une bosse de 0 ^m ,10 de diamètre et 15 millimètres de flèche a été observée au ciel du foyer. Un jet de vapeur s'est échappé par la porte du foyer restée ouverte. Le manomètre était inexact.	Le chauffeur-mécanicien légèrement blessé au pied droit.	Manque d'eau, auquel s'est jointe vraisemblablement l'influence d'un excès de pression.
17 août.	Battage des grains, à Thignonville (Loiret).	Locomotive horizontale, tubulaire, à flamme directe, avec foyer intérieur rectangulaire: surface de chauffe, 8 ^m 2,20; capacité, 870 litres; timbre, 6 kilogrammes. Le foyer, en tôle de cuivre de 13 millimètres d'épaisseur, mesurait 0 ^m ,60 de hauteur, 0 ^m ,54 de largeur et 0 ^m ,40 de longueur horizontale. L'enveloppe du foyer est en tôle de fer de 7 millimètres d'épaisseur. Chaque joue du foyer est reliée à la face latérale plane correspondante de l'enveloppe par six entretoises en fer de 2 ^m ,5 de diamètre et de 33 millimètres de hauteur.	Les quatre entretoises du bas, sur les six qui reliaient la joue gauche du foyer à la tôle d'enveloppe, ont lâché prise, trois par la tête extérieure, une par la tête intérieure; celle-ci était très corrodée sur tout son pourtour; autour de l'une des trois précédentes, la tôle d'enveloppe était profondément corrodée; sur l'une et l'autre, le relief des filets avait presque complètement disparu dans la partie correspondante. Aucune des têtes de ces quatre entretoises n'avait plus de saillie.	Néant au point de vue des personnes. Le trou laissé béant par l'entretoise qui avait cédé par sa tête intérieure a permis à l'eau et à la vapeur d'envahir le foyer: la porte s'est ouverte, le combustible projeté au dehors a mis le feu à la palite et à du bois, et 50 mou-	Mauvais état des emmanchements et des têtes d'entretoises. Le grand espacement de ces entretoises était, pour les faces planes et leur entretoisement, une cause de fatigue, et les mesures d'entretien de l'appareil, après que des bombardements eurent été constatés dans l'une et l'autre joues du foyer, avaient été insuffisantes.
17 août.	Corroierie, à Paris.	Chaudière horizontale semi-tubulaire à deux bouilleurs: surface de chauffe, 30 mètres carrés; capacité, 4 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes. La chaudière est en contre-bas du sol naturel; l'évacuation des eaux de vidange s'opère au-dessus du niveau du sol à l'aide d'une conduite remontante qui part d'un tuyau collecteur relié aux robinets de vidange inférieurs des bouilleurs.	Le bouilleur de gauche s'est ouvert au-dessus de la grille du foyer, suivant un trapèze dont la petite base suivait sur 0 ^m ,45 une génératrice située à 45° à gauche de la génératrice inférieure, et dont les deux côtés s'écartaient jusqu'à la rivure longitudinale de droite, dont ils embrassaient une longueur de 0 ^m ,70; le lambeau de tôle s'était replié vers l'extérieur jusqu'à épouser la forme du bouilleur de droite. Autour de la déchirure, la tôle du bouilleur présentait la couleur bleue de l'oxyde des battitures et, autour de la plage bleue, une auréole rouge de sesquioxyle. Aucun effet dynamique. La porte du foyer était sans loquet; le chauffeur était sur le massif. La chaudière avait été remplie après nettoyage, puis abandonnée durant la nuit avec le feu couvert; on avait observé une sortie d'eau par le tuyau de vidange. Il est à présumer que l'un des robinets de vidange placés sur les bouilleurs était resté plus ou moins ouvert; le remplissage avait pu néanmoins se faire, en l'absence de pression, à cause du tracé remontant de la conduite de vidange; mais ensuite, sous l'action de la pression, la chaudière devait se vidanger par refoulement.	Chauffeur grièvement brûlé.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau, lequel a été le résultat d'un écoulement intempestif par la conduite de vidange.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
24 août.	Blanchisserie, à Rueil (Seine-et-Oise).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, d'origine inconnue : surface de chauffe, 16 mètres carrés; capacité légèrement supérieure à 3.000 litres; timbre, 5 kilogrammes.	Déchirure de la tôle de coup de feu du bouilleur de gauche, sur 0 ^m ,75 de longueur, suivant la génératrice inférieure, avec bûillement de 8 millimètres seulement; la tôle était bleue, ainsi que la partie inférieure des deux autres viroles du bouilleur; en dehors des parties bleues, les trois tôles inférieures du bouilleur présentaient une coloration rouge. Le bouilleur de droite n'avait pas souffert, mais, détamponné, il ne contenait que 0 ^m ,10 d'eau. La chaudière ne contenait que peu de dépôts. Les effets dynamiques ont été insignifiants.	Néant.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau.
27 août.	Battage des grains, à Sarzeau (Morbihan).	Chaudière locomobile, cylindrique, horizontale, à foyer intérieur et flamme directe; timbre primitif, 6 ^{kg} ,5, abaissé plus tard à 6 kilogrammes. L'appareil datait de 1874; la dernière épreuve remontait à 1894. Le foyer était ovale; sa section mesurait horizontalement 0 ^m ,46, et verticalement 0 ^m ,39; l'épaisseur primitive de la tôle était de 12 millimètres.	Ecrasement du ciel du foyer, qui s'est déchiré suivant deux sections droites; la plus grande de ces déchirures s'étendait sur toute la moitié supérieure de la pièce, passant par le trou du bouchon fusible; l'autre, située au ras de la plaque antérieure du foyer, ne mesurait que 0 ^m ,20 de longueur. L'épaisseur de la tôle était réduite, en certains points de la grande déchirure, à 5 et 4 millimètres. Le manomètre était inexact.	L'entrepreneur de battage a été grièvement brûlé, le chauffeur assez légèrement. La réaction a lancé toute la locomobile à 8 mètres de distance; la porte du foyer et les barreaux de la grille ont été projetés dans diverses directions; cinq meules ont été incendiées, ainsi que le pailler.	Fatigue et affaiblissement du ciel du foyer dont la forme était vicieuse et dont la tôle était amincie par l'usage. Il est possible qu'un excès de pression plus ou moins notable soit intervenu comme cause déterminante.
4 sept.	Bateau à vapeur, en pleine mer.	Chaudière multitubulaire Niclausse. (Cet appareil est celui qui a occasionné les accidents des 26 février	L'accident a consisté dans le déboîtement d'un tube vaporisateur dont le diamètre a été aré.	Néant.	Le déboîtement du tube vaporisateur au rattaché vraisemblablement aux mêmes

18 sept.	Chantiers de construction d'une gare de chemin de fer, à Paris.	Chaudière locomotive, de construction anglaise, éprouvée en France à 12 kilogrammes en 1898. Le bas de l'enveloppe du foyer, construit en tôle de 12 millimètres, est percé à chacun de ses quatre angles d'un trou de 0 ^m ,04 de diamètre, fermé par un bouchon fileté en bronze, de forme conique.	L'un des bouchons, que le mécanicien était en train de dévisser, a été projeté inopinément; la pression dans la chaudière était de 3 kilogrammes environ; le départ du bouchon s'est produit après un dévissage d'un tour et demi environ.	Le mécanicien, atteint au bras par le jet de vapeur, a subi vingt-deux jours d'incapacité de travail.	causes générales que les ruptures de lanternes qui s'étaient précédemment produites à la même chaudière, et dans lesquelles il y a lieu de faire intervenir les surchauffes dues à la présence de dépôts gras.
27 sept.	Papeterie, à Méounes (Var).	Récipient de vapeur à usage de lessiveuse: cylindre de 1 ^m ,93 de diamètre et de 2 ^m ,48 de longueur, fermé à ses deux extrémités par des calottes hémisphériques; capacité, 8.900 litres; timbre, 1 kilogramme 1/2. Il était muni d'une soupape et d'un manomètre. Il recevait, par un tourillon creux, la vapeur d'un générateur timbré à 6 kilogrammes, mais ne fonctionnant, en général, qu'à 1 kilogramme 3/4.	Déchirure de l'une des feuilles de tôle du cylindre sur toute la longueur d'une génératrice; cette déchirure s'est poursuivie suivant des lignes irrégulières dans les fonds; une cassure oblique, affectant une autre feuille du cylindre, a achevé de permettre le développement d'un lambeau de 2 ^m ,80 x 2 ^m ,40, qui ne tenait plus à l'appareil que par un côté sur 1 mètre de longueur. La ligne de cassure traversait une partie très corrodée où l'épaisseur, primitivement de 9 millimètres, était réduite à 1/2 millimètre. L'appareil a été soulevé en l'air et, retombant debout, a crevé le plancher et n'a été arrêté que par la rencontre d'un de ses tourillons avec le sol.	Pas d'accident de personnes. Dégâts matériels considérables.	L'accident a été causé par le mauvais état des filets de vis du bouchon qui a été projeté; il a été provoqué par une manœuvre imprudente, consistant à commencer le dévissage alors qu'il y avait encore de la pression dans la chaudière: la disposition non autoclave de cette fermeture et la conicité du bouchon prétaient à un accident de ce genre.
2 oct.	Chemin de fer, ligne d'Orléans à Malesherbes (résseau d'Orléans).	Chaudière locomotive.	Un tube à fumée en laiton, d'un diamètre extérieur de 50 millimètres, d'une épaisseur primitive de 2 ^{mm} ,5, fixé dans la plaque du foyer à l'aide	Mécanicien grièvement brûlé.	Etat d'usure de l'appareil, d'âge ancien, dont la tôle était profondément corrodée; il est possible que les effets d'un coup de foudre en aient été la cause déterminante.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
4 oct.	Forges, à Trignac, commune de Montoir (Loire-Inférieure).	Chaudière cylindrique, horizontale, de 1 ^m ,20 de diamètre et 16 mètres de longueur, avec un bouilleur inférieur de 0 ^m ,90 de diamètre et 13 ^m ,50 de long. Surface de chauffe, 80 mètres carrés; capacité, 28 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes. La chaudière était chauffée par les gaz de hauts-fourneaux: le corps cylindrique en premier parcours, le bouilleur en deuxième parcours des gaz (Pl. XVIII, fig. 16). La chaudière était alimentée par une eau très saumâtre en mélange avec des eaux de provenances diverses.	d'une virole en fer, non raboté, s'est rompu suivant une section droite au ras de la plaque tubulaire, sur un développement de 0 ^m ,04 au voisinage de la génératrice supérieure. L'épaisseur du laiton sur les lèvres de la déchirure était, paraît-il, réduite à moins de 1 millimètre, et l'examen des tubes voisins a montré une usure intérieure assez uniforme.	Trois ouvriers brûlés, un mortellement et deux peu grièvement.	Détérioration locale de la tôle qui recevait le premier contact des gaz à haute température.
24 oct.	Tréfilerie de cuivre et d'acier, à Gravelle-Ste-Honorine (Seine-Inférieure).	Chaudière De Naeyer, de 300 mètres carrés de surface de chauffe et 19 mètres cubes de capacité; timbre, 10 kilogrammes. — Les tubes vaporisateurs, au nombre de 104, mesuraient 140 millimètres de diamètre.	Une fuite s'étant déclarée à un tampon doublement coudé (Pl. XIX, fig. 1 et 2), le chef d'équipe, aidé par deux ouvriers, se mit en devoir de serrer avec une clef: le pression était de 2 ^k ,5, lorsque la boulon à ancre correspondant à un tampon simple et à un tampon double voisin, se détacha de la boîte rectangulaire correspondante; le second boulon à ancre correspondant au même tampon double ne se détacha pas mais l'ancrage tourna de 75° en 10 minutes. Le temps que le boulon se tordit, les tampons simple et le tampon double furent projetés, ainsi que les 3 bagues biconiques correspondantes. Enfin l'une des extrémités d'un autre tampon double, rendue libre par le déplacement de l'ancrage du second boulon, se déplaça, et la bague correspondante fut projetée. Au total, 4 orifices de 90 millimètres de diamètre appartenant à deux boîtes rectangulaires contiguës se trouvèrent débouchés et donnèrent issue à des flux d'eau et de vapeur.	Trois ouvriers brûlés mortellement.	La cause immédiate a été une manœuvre imprudente; la cause première a été un mode vicieux de fixation du boulon à ancre qui s'est détaché de la boîte rectangulaire sur laquelle il faisait saillie. L'ergot terminal du boulon, engagé dans son logement sur la boîte par un mouvement de haut
24 oct.	Fabrique de draps, à Elbeuf (Seine-Inférieure).	Chaudière Belleville, du type C-10; surface de chauffe, 165 mètres carrés; capacité, 5 mètres cubes; timbre, 15 kilogrammes. — Les tubes, au nombre de 160, ont 115 millimètres de diamètre et 2 ^m ,51 de longueur.	Le tube de droite de la 3 ^e rangée (à partir du bas) du 5 ^e élément de droite s'est ouvert sur 0 ^m ,60 de longueur et 0 ^m ,12 de baillement, près de l'extrémité arrière; les fermetures de façade ont résisté. La déchirure consistait dans un décollement de la soudure; de plus, le tube présentait des traces de surchauffe. L'eau d'alimentation tenait en suspension beaucoup de vase et titrait 33° à l'hydrotimètre. La chaudière produisait 34 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.	Néant.	Surmenage de l'appareil, dont les effets ont été aggravés par la mauvaise qualité des eaux et facilités par l'imperfection de la soudure du tube qui s'est rompu.
1 ^{er} nov.	Chemin de fer. Gare de la Joliette (réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière locomotive.	Un tube à fumée, en laiton, s'est rompu, au rabotage en cuivre rouge, sur la moitié de la circonférence, et s'est aplati sur une longueur de 0 ^m ,17. La porte du foyer, incomplètement fermée au verrou, s'est ouverte sous l'effet du jet de vapeur et d'eau. Le tube, pesant à l'état neuf 2 ^k ,240 par mètre, ne pesait plus que 1 ^k ,700 aux environs du point de rupture; l'épaisseur primitive de 2 millimètres était réduite, dans cette région, à 1 millimètre.	Mécanicien grièvement brûlé.	Usure excessive du tube qui s'est rompu.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
8 nov.	Manufacture de tannins, à la Seytaz, commune de la Rochette (Savoie).	Récepteur de vapeur en cuivre, vertical, cylindrique, de 1 ^m ,20 de diamètre, 3 mètres de hauteur (non compris les fonds bombés) et 3 ^m 3,570 de capacité; timbre, 2 kilogrammes (Cf. accident du 1 ^{er} février 1898, qui a affecté un autre récepteur de la même usine).	Déchirure circulaire presque tout le long de la circonférence du fond inférieur et ouverture de la virole supérieure, qui s'est déroulée en grand (Pl. XIX, fig. 3). L'épaisseur primitive, de 4 millimètres, des tôles de cuivre, était réduite par l'usure à 2 millimètres ou 2 ^m ,5 en général et, dans la section de rupture, à 1 ^m ,5 ou 0 ^m ,75.	Néant.	Usure profonde de la tôle constituant la virole supérieure de l'appareil.
17 nov.	Sucrierie, à Cation (Nord).	Récepteur de vapeur servant de monte-jus pour refouler aux filtres-presses les jus de carbonatation; cylindrique, vertical, de 1 ^m ,10 de diamètre et 1 ^m ,90 de hauteur totale, y compris les fonds bombés; capacité, 1 ^m 3,805; timbre, 5 kilogrammes. L'appareil, d'âge inconnu, avait été acheté d'occasion en 1883. Timbré à cette époque à 5 ^k ,5, il avait été, eu égard à son état de corrosion, timbré à 5 kilogrammes seulement en septembre 1897. Il n'avait ni soupape ni manomètre et prenait sa vapeur sur une conduite générale, alimentée par des générateurs timbrés à 6 kilogrammes et fonctionnant à cette pression lors de l'accident.	Vers la fin d'une opération de refoulement du jus, l'appareil s'est ouvert le long de la rivure longitudinale. L'épaisseur de la tôle, primitivement de 10 millimètres, se trouvait réduite, suivant la ligne de rupture, à 6 millimètres en moyenne et sur une longueur de 0 ^m ,20 (là où la déformation semblait indiquer l'origine de la rupture) à 4 millimètres.	Néant.	Mauvais état et installation vicieuse d'un appareil d'âge ancien, affaibli par des corrosions extérieures profondes et exposé à fonctionner sous des pressions supérieures à son timbre.
17 nov.	Filature de coton, à Remiremont (Vosges).	Chaudière horizontale, non tubulaire, composée d'un corps cylindrique et de six bouilleurs, trois à l'avant, trois à l'arrière, réunis chacun au corps cylindrique par une seule communication; surface de chauffe, 24 mètres carrés.	Le bouilleur d'avant du milieu s'est déchiré, le long de sa génératrice inférieure, sur 0 ^m ,20 de longueur et 0 ^m ,20 de ballement, avec les apparences normales des avaries de surchauffe. L'accident s'est produit dix minutes avant l'arrêt de la machine.	Néant.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau.
25 nov.	Stéarinerie, à St-Nicolas-lès-Arras (Pas-de-Calais).	Récepteur de vapeur en cuivre, cylindrique, vertical (Pl. XIX, fig. 5), terminé à ses extrémités par des calottes hémisphériques. La partie cylindrique se composait de trois viroles superposées; diamètre, 1 ^m ,20; hauteur totale, 6 mètres; timbre, 11 kilogrammes. La dernière épreuve avait été effectuée un an et demi avant l'accident, à la suite d'une réparation. L'appareil fonctionnant à 10 kilogrammes, la tôle de cuivre avec l'épaisseur primitive de 17 millimètres travaillait déjà à 3 ^k ,5 par millimètre carré en pleine tôle.	Dérèglement de la virole médiane, qui s'est ouverte en se déchirant tout le long de sa rivure longitudinale et le long des deux viroles circulaires qui la reliaient aux viroles adjacentes. La virole du haut et le fond qui la surmontait ont été projetés. Les déchirures situées le long de rivures étaient toutes en dehors des rivets au bord de la bande de recouvrement ou dans cette bande, près du bord.	Un ouvrier tué; un mortellement brûlé, huit grièvement et un légèrement brûlés.	Affaiblissement de l'appareil, par usure et corrosion, résultat normal et progressif de l'emploi de l'appareil; des matages répétés avaient amorcé le long des rivures des sillons de 1/2 à 1 millimètre de profondeur.
26 nov.	Sucrierie, à Qnnaing (Nord).	Chaudière semi-tubulaire; surface de chauffe, 200 mètres carrés; capacité, 22 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes. Construite en 1892. Les tubes à fumée, en acier doux, mesuraient 100 millimètres de diamètre extérieur, et leur épaisseur était de 3 ^m ,5. Les eaux d'alimentation étaient très acides, sans doute par suite de l'entraînement de jus sucrés dans les appareils à cuire et par la caramélisation du sucre; l'action pouvait être exagérée par la présence d'oxyde de cuivre emprunté aux tuyauteries d'alimentation ou aux tubes des appareils à cuire.	Vers la fin de l'interruption du travail, de midi à une heure, pour le repas, un tube à fumée de la 4 ^e rangée à partir du bas, se déchira sur 0 ^m ,30 de longueur. La vapeur mise en liberté ne put passer ni par la façade de la chaudière (les portes étant solidement fermées), ni par la cheminée (le registre étant fermé); elle souleva la plaque de regard de la boîte à fumée arrière et se répandit sur le massif des générateurs où se trouvaient trois hommes. Les clapets automatiques d'arrêt de vapeur ne fonctionnèrent pas, sans doute par suite de la vidange progressive, sans dépression assez forte pour actionner ces clapets. Tout le faisceau tubulaire était profondément corrodé à l'avant; corrosion générale sur 1 ^m ,10 de longueur; très marquée sur 0 ^m ,75.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Affaiblissement du tube à fumée qui s'est rompu, le faisceau tubulaire ayant été, dans sa partie antérieure, profondément corrodé par suite de l'acidité des eaux d'alimentation. (Voir <i>Annales des Mines</i> , 9 ^e série, t. XVI, 1899, 10 ^e livraison, p. 436 et suiv.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSEQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
29 nov.	Sucrerie, à Saulzoir (Nord).	Chaudière horizontale, non tubulaire, à deux bouilleurs inférieurs, complétée par un système de deux bouilleurs réchauffeurs. Surface de chauffe, 105 mètres carrés; capacité, 28 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes. La chaudière faisait partie d'une batterie de 11 générateurs en fonctionnement simultané. La consommation de vapeur était telle que la pression se tenait difficilement à 4 kilogrammes, soit 2 kilogrammes au-dessous du timbre; la chaudière en question fournissait environ 1.400 kilogrammes de vapeur. Chacune des chaudières portait à l'avant un tube de verre, et sur le dessus un appareil à flotteur faisant office à la fois d'indicateur et de régulateur automatique de l'alimentation. Celle-ci avait lieu simultanément dans toutes les chaudières, par les soins d'un ouvrier alimenteur qui, placé sur le massif, ne voyait pas les tubes de verre.	Le tube avarié, dans sa partie antérieure, était réduit de 3 ^{mm} ,5 à 0 ^{mm} ,5 d'épaisseur. Le bouilleur de droite s'ouvrit au coup de feu sur 0 ^m ,50 de longueur. La tôle était bleuie près de la déchirure. Une faible quantité d'eau fut répandue dans la chaufferie. La porte du foyer s'ouvrit, et un jet de flammes et de vapeur sortit, entraînant des charbons enflammés. L'ouvrier qui se trouvait en face de la chaudière tomba deux fois, dans sa fuite, sur des tas de charbon. Le ou les clapets automatiques d'arrêt de vapeur ne paraissent pas avoir fonctionné.	Un ouvrier légèrement brûlé.	Surchauffe consécutive à un manque d'eau.
30 nov.	Menuiserie, à Lyon (Rhône).	Chaudière horizontale semi-tubulaire, sans bouilleurs; surface de chauffe, 25 mètres carrés; capacité, 2 mètres cubes; timbre, 8 kilogrammes. — Le corps cylindrique mesurait 1 ^m ,10 de diamètre, 2 ^m ,58 de longueur. Il se composait d'une série de douilles longitudinales doubles.	Déchirure d'une clouure longitudinale, dans la tôle de coup de feu (tôle inférieure et intérieure de l'assemblage), suivant la ligne de rivets la plus rapprochée du bord de l'autre tôle. Cette clouure se trouvait, dans un des carneaux inférieurs, exposés aux chaudières. Des cristaux s'étaient probablement amorcés sur le long de la clouure, lors d'une surchauffe par dépôt gras, six mois après l'installation de la chaudière. La présence d'incrustations ou de dépôts dans les communications inférieures entre le générateur et les tubes de verre devait donner lieu, de la part de ces tubes, à de fausses indications de nature à induire le chauffeur en erreur. L'absence de suie sur le corps cylindrique au-dessus d'un niveau inférieur à celui des clouures longitudinales semblait indiquer un abaissement du plan d'eau.	Le chauffeur grièvement blessé. Effets matériels violents.	La clouure longitudinale avait pu souffrir, vers le début du fonctionnement de l'appareil, d'une surchauffe causée par la présence d'un dépôt gras, et la rupture n'aurait pu être évitée que par un manque d'eau.
5 déc.	Fabrique de tissus, à Roubaix (Nord).	Récipient cylindrique vertical de 1 ^m ,50 de diamètre et 3 mètres de hauteur; capacité, 5 mètres cubes; timbre, 2 kilogrammes. Il constituait une cuve à couvercle amovible (Pl. XIX, fig. 6), cerclée à sa partie supérieure par une collerette en fonte, formant bride; la surface supérieure plane de la bride était rainurée d'une gorge circulaire de 15 millimètres de profondeur et de 28 millimètres de largeur suivant le rayon. Le couvercle se composait d'une calotte sphérique en tôle de fer de 2 millimètres, armée à la périphérie d'une couronne en fonte; cette couronne, de 35 millimètres d'épaisseur, offrait sur sa face inférieure une nervure circulaire qui venait s'engager dans la gorge de la couronne fixe; l'étanchéité du joint était obtenue au moyen d'un cercle en caoutchouc dur enrobé d'amiante (Pl. XIX, fig. 7). Le couvercle était maintenu en place par 15 boulons à charnière. La saillie circulaire précitée avait disparu (Pl. XIX, fig. 8) sur la longueur correspondant à l'étendue de la charnière sur 0 ^m ,18 de longueur.	Rupture de la couronne en fonte du couvercle; celui-ci, auquel une partie de cette couronne restait adhérente, fut projeté du côté opposé à la charnière et, après avoir crevé une toiture, alla retomber à 24 mètres de distance.	Néant, quant aux personnes.	Cassures préexistantes qui avaient profondément altéré la résistance de la couronne en fonte du couvercle au voisinage de la charnière; les efforts faits pour rendre étanche cette partie de la fermeture, malgré la détérioration de la bride de la collerette fixe, expliquent la formation de l'avarie.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
19 déc.	Exploitation de mines (ateliers de lavage et d'agglomération), à Tamaris (Gard).	<p>En avril 1898, le corps cylindrique corrodé avait été remplacé, puis l'appareil avait été réessayé.</p> <p>Des fuites s'étant déclarées au voisinage de la charnière, on ajouta de la grosse toile dans la garniture du joint, puis une fuite s'étant manifestée en face de la charnière, entre la tôle et la fonte, on mata extérieurement la tôle sur la couronne en fonte.</p> <p>Chaudière horizontale, à foyer extérieur, à flamme renversée (Pl. XIX, fig. 9, 10 et 11). Le corps cylindrique, de 1^m,25 de diamètre et 14 mètres de longueur, était directement chauffé en premier parcours, et un bouilleur cylindrique inférieur, de 1 mètre de diamètre et 11^m,50 de longueur, relié au corps principal par deux cuissards de 0^m,50 de diamètre, était chauffé, sur un de ses côtés, par les gaz revenant d'arrière en avant et, sur l'autre, par les gaz se rendant à la cheminée. Surface de chauffe, 65 mètres carrés; capacité, 27 mètres cubes; timbre, 6 kilogrammes. Pression habituelle de marche, 4^k,5. Le corps cylindrique était en tôle de fer de 12 millimètres d'épaisseur.</p> <p>La chaudière faisait partie d'une batterie de 8 générateurs. Les foyers étaient soufflés au moyen d'un ventilateur.</p>	La chaudière avait été, l'avant-veille de l'accident, à midi, remise en service après un nettoyage qui avait révélé, au coup de feu, une petite bosse de 1 millimètre. La tôle du coup de feu se déchira en plein métal, au moment où l'on ouvrait l'alimentation de la chaudière. La virole qui s'est ouverte portait les traces d'un violent coup de feu. La tôle qui s'est rompue avait été posée en 1896, à la suite d'un coup de feu.	Le chauffeur a été tué, deux personnes ont été brûlées assez sérieusement.	<p>Surchauffe produite par un manque d'eau. Les causes qui ont abouti au manque d'eau semblent se rattacher :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1° A l'habitude d'alimenter plusieurs chaudières à la fois; 2° A l'emplacement des vannes d'admission d'eau placées à l'arrière des générateurs, hors de la vue des appareils indicateurs du niveau de l'eau; 3° A la surcharge de la main-d'œuvre.
30 déc.	Usine d'électricité, à Paris.	<p>Le couvercle, avec le manchon par des boulons à charnière. Le couvercle, borné sous une flèche de 0^m,03, était fait d'une tôle de 2^m,5 d'épaisseur, rivée à son pourtour sur une couronne en fonte (Pl. XIX, fig. 16). Cette couronne était de profil défectueux, affaibli notamment par une rainure circulaire, contre-partie d'une nervure portée par la collerette fixe du récipient. Les boulons à charnière, agissant sur des tenons à encoches portés par la couronne, étaient au nombre de 4 seulement. Cet appareil était presque identique à celui qui est visé dans le <i>Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus en 1893</i>, sous la date du 14 décembre 1893 (<i>Annales des Mines</i>, 3^e série, t. VI, 1894, 12^e livraison, p. 660). Sorti des ateliers du même constructeur en octobre 1897.</p> <p>Chaudière Belleville, du type B-9. Surface de chauffe, 98 mètres carrés; capacité, 2 mètres cubes; timbre, 15 kilogrammes. Les tubes, de 100 millimètres de diamètre, sont en fer soudé à recouvrement.</p>	On constate une fuite à la chaudière; on l'attribue au défaut d'étanchéité d'un emmanchement de boîte de raccord sur le collecteur horizontal inférieur. Quelques minutes plus tard, la fuite augmente, s'accompagne d'un fort sifflement de vapeur, puis ne tarde pas à disparaître complètement. Plusieurs minutes s'écoulent encore; après quoi l'on constate que la chaudière manque d'eau, et l'on se met en devoir de jeter bas les feux. C'est à ce moment qu'un tube crève dans la partie supérieure du faisceau, et l'on voit que les tubes et la maçonnerie ont été portés au rouge. <p>L'ouverture du tube s'était faite par décollement de la soudure, le long de la génératrice supérieure.</p>	Néant.	Défaut local de soudure du tube qui s'est rompu, et surchauffe résultant de la vidange du générateur.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

DÉSIGNATION	NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
I. — Par nature d'établissements.			
Mines, carrières et annexes.			
Exploitation de mine de lignite	1	»	1
Atelier de lavage et d'agglomération	1	1	»
Forges	1	1	»
Usines métallurgiques			
Fonderie	1	4	8
Tréfilerie	1	3	»
Agriculture			
Battage des grains	3	»	1
Industries alimentaires			
Sucreries et raffineries de sucre	4	»	2
Distillerie	1	»	»
Manufacture de tannins	2	»	2
Industries chimiques			
Corroierie	1	»	1
Sléarinerie	1	2	8
Fabrique d'alumine	1	1	1
Filature et tissage	4	1	»
Fabrique de rubans	1	»	1
Tissus et vêtements			
Blanchisserie, teinturerie et apprêts	3	1	»
Fabrique de draps	1	»	»
Papeteries, fabriques d'objets divers			
Papeterie	4	3	2
Fabrique de mécaniques pour pianos	1	2	»
Entreprises d'éclairage électrique	1	»	»
Bâtiments, entreprises de travaux et diverses			
Scierie et menuiserie	2	»	1
Etablissement de bains	1	1	»
Chemins de fer			
Locomotives à vapeur	2	»	2
Travaux publics			
Services auxiliaires d'un voilier	1	»	1
Bateaux et engins flottants			
Bateaux à vapeur	4	2	1
Services auxiliaires d'un voilier	1	»	1
TOTAUX	44	22	33
II. — Par espèce d'appareils.			
1° Chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur :			
Horizontales non tubulaires à foyer extérieur	6	4	»
tubulaires à foyer intérieur (**)	2	4	9
Horizontales semi-tubulaires à foyer extérieur	5	1	3
Verticales, à bouilleurs croisés	1	»	1
A petits éléments (tubes d'eau)	9	6	3
2° Chaudières non chauffées à l'extérieur :			
Horizontales tubulaires à flamme directe	7	1	4
à retour de flamme	2	1	»
3° Récipients	10	4	12
4° Valves de prise de vapeur	2	1	1
TOTAUX	44	22	33

(*) Ayant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins graves, voir le bulletin détaillé, qui mentionne tous les blessés signalés par l'enquête administrative.

(**) Chaudière horizontale, cylindrique, à foyer intérieur, retour de flamme d'un côté du corps cylindrique et troisième parcours de l'autre côté de ce corps.

III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

1° Conditions défectueuses d'établissement :

Surface de chauffe au-dessus du niveau de l'eau, exposée à rougir	1	} 16
Mauvaise construction de foyers intérieurs	2	
Boulon à ancre mal tenu du pied	1	
Tampon non autoclave	1	
Défaut de fonte dans une tête de dôme	1	
Défaut de soudure d'un tube vaporisateur	1	
Installation d'une chaudière à tubes d'eau prêtant pour les tubes à des efforts de flexion	1	
Robinet de vidange portant une soudure à l'étain	3	
Disposition vicieuse de tuyauterie, prêtant à des coups de bélier sur les valves de prise de vapeur	1	
Installation exposant un récipient aux excès de pression	2	
Insuffisance d'épaisseur d'un fond de récipient en cuivre	1	
Défaut de résistance d'une couronne en fonte de couvercle	1	

2° Conditions défectueuses d'entretien :

Corrosions de tôles	9	} 19
Sillons amorcés dans une tôle de cuivre par des matages répétés	2	
Entretoises usées ou rompues	2	
Usure ou corrosion de tubes à fumée	3	
Usure du filetage d'un bouchon à vis	1	
Mauvais état et cassures préexistantes.	2	} 2
de fonds en fonte d'âge ancien	1	
d'une couronne en fonte de couvercle	1	

3° Mauvais emploi des appareils :

Surchauffes	11	} 18
par manque d'eau	4	
par dépôts gras	4	
Surmenage d'un générateur	1	} 2
Serrages de joints sur appareils en pression	2	

4° Causes non précisées	2	
TOTAL	55	

NOTA. — On trouve 55 causes pour 44 accidents, parce que l'accident a été porté comme dû à la coexistence de 2 causes dans 11 cas, savoir :

- 1° à 3° Installation d'une chaudière à tubes d'eau prêtant pour les tubes à des efforts de flexion, et surchauffe par dépôts gras (26 février, 4 mars et 4 septembre) ;
- 4° Mauvaise construction d'un foyer intérieur et entretoises usées ou rompues (15 mars) ;
- 5° Tampon non autoclave et serrage sur l'appareil en pression (19 avril) ;
- 6° Mauvaise construction d'un foyer intérieur et corrosion (27 août) ;
- 7° Boulon à ancre mal tenu du pied et serrage sur l'appareil en pression (24 octobre) ;
- 8° Installation exposant un récipient aux excès de pression, et corrosion (17 novembre) ;
- 9° Corrosion d'une tôle de cuivre et sillons amorcés par des matages répétés (25 nov.) ;
- 10° Surchauffes par dépôts gras et par manque d'eau (30 novembre) ;
- 11° Défaut de soudure d'un tube vaporisateur et surchauffe par manque d'eau (30 déc.).

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS SURVENUS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

Extrait des rapports du Ministre de l'Intérieur, approuvés par le Président de la République en 1899 (*).

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées		
			MÉDAILLES en or	MÉDAILLES en argent	MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables
		28 janvier 1899.			
EURE.					
VANNIER (Adolphe-Désiré), maître ouvrier au 1 ^{er} régi- ment du Génie.	Marnière souterraine sise à la Neuville-du- Bosc.	S'est exceptionnellement distingué et a été blessé en descendant quinze fois dans un puits pro- fond, pour sauver un ouvrier qui y était en- seveli, depuis trois jours, par suite d'un éboulement.	1 ^{er}		
BOUVIER (Paul-Camille), capitaine au 1 ^{er} régi- ment du Génie.	(14-16 déc. 1898.)	A fait preuve en la même circonstance de la plus courageuse initiative dans les mesures prises pour opérer ce péril- leux sauvetage.			Mention honorable
		28 février 1899.			
EURE.					
BOUCHER (François-Ma- rie), employé à la Com- pagnie des chemins de fer de l'Ouest, à Sainte- Opportune-du-Bosc.	Id.	S'est tout particulière- ment distingué en por- tant secours à un ou- vrier enseveli sous un éboulement au fond d'une marnière.	2 ^e		
LEJEAS (Lucien-Paul), marneron à Franque- ville.		Belle conduite dans la même circonstance.			Mention honorable

(*) Cet état fait suite à celui qui a été inséré dans le 2^e volume de 1898 (p. 608).

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées		
			MÉDAILLES en or	MÉDAILLES en argent	MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables
		28 avril 1899.			
LOIRE.					
MADONIER (Jean-Louis), surveillant à la Compa- gnie des mines de Mon- trambert et de la Bé- raudière, demeurant à la Ricamarie.	Mines de houille de Montram- bert. (Octo- bre 1857.)	S'est exceptionnellement distingué en sauvant un mineur enseveli sous un éboulement.		2 ^e	
MEUNIER (Jean-Marie), mi- neur à Saint-Genest- Lerpt.	Mines de houille de Montram- bert. (15 mai 1873.)	A porté secours à cinq ouvriers mineurs sur- pris par un éboule- ment.			Mention honorable
		29 mai 1899.			
GARD.					
BALAZUN (Louis-Germain), ouvrier mineur à la Compagnie houillère de Bessèges.	Mines de houille de Bessèges. (20 avril 1899.)	A couru les plus sérieux dangers en portant se- cours à un mineur en- seveli sous les débris de charbon, à la suite d'une explosion de gri- sou.		2 ^e	
		28 juin 1899.			
GARD.					
SUZANET, maître-mineur à la Grand'Combe.	Mines de houille de la Grand' Combe. (1 ^{er} avril 1899.)	A porté secours à un mi- neur enseveli sous un éboulement.			Mention honorable
		31 août 1899.			
SEINE-INFÉRIEURE.					
REVEL (Louis), contrôleur principal des mines, au Havre.	Marnière souterraine sise à Grand- camp. (2 fé- vrier 1899.)	Se sont tout particulière- ment distingués en opérant le sauvetage d'un ouvrier enseveli dans une marnière sou- terraine. M. Revel est déjà titulaire d'une mé- daille d'or de 2 ^e classe, et M. Masson d'une médaille d'argent de 2 ^e classe.	1 ^{er}		
MASSON (Albert), maître marneron à Cléville.				1 ^{er}	
BEQUET (Marie-Aimé), marneron à Alvimare.				2 ^e	
BOU, maire de Grand- camp.				2 ^e	

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées			
			MÉDAILLES		MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables	
			en or	en argent		
30 septembre 1899.						
SEINE.						
DEVERS (Aimédéc-Florentin), agent voyer communal à Pantin.	Carrière abandonnée sise à Pantin. (18 juillet 1899.)	Se sont particulièrement distingués en coopérant avec le plus grand dévouement aux travaux entrepris pour rechercher les corps de trois personnes ensevelies sous un éboulement.		2°		
MAGNÉ (Jean-Marie), sous-lieutenant des sapeurs-pompiers de Pantin.	(Voir <i>infra</i> — décisions des			2°		
SPIQUE (Charles-Pierre-Emmanuel), sapeur-pompier à Pantin.	29 octobre, 27 novembre et			2°		
PERSIL (André-Louis-Adrien), sapeur-pompier à Pantin.	29 décembre 1899.)			2°		
29 octobre 1899.						
ARDENNES.						
MOINET (Léon), barragiste à Montey-Notre-Dame.	1889-1899	S'est signalé dans diverses circonstances, notamment en sauvant un ouvrier carrier enseveli sous un éboulement (juin 1890) (carrière sise à Montey).				Mention honorable
SEINE.						
BLANC (Louis), lieutenant au régiment des sapeurs-pompiers de Paris.	Carrière abandonnée sise à Pantin. (18 juillet 1899.) (Voir <i>suprà</i> .)	Ont coopéré avec le plus grand dévouement aux travaux de sauvetage de trois personnes ensevelies sous un éboulement. Le lieutenant Blanc et l'adjutant Pierson sont déjà titulaires des deux médailles d'argent.	2°			
PIERSON (Lucien), adjudant au même régiment.			2°			
FERNAGU (Gaston-Louis-Martin-Edouard), lieutenant au même régiment.			2°			
HOENEL (Auguste-Henri), lieutenant au même régiment.			2°			
BENARD (Elic-Théotime), sergent-fourrier au même régiment.			2°			
RICHARD (Joseph-Victor), sergent au même régiment.			2°			
BERGER (Emile), sergent au même régiment.						Mention honorable

NOMS, prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées			
			MÉDAILLES		MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables	
			en or	en argent		
SEINE (suite).						
BOURGEOIS (Emile), sergent au même régiment.	Carrière abandonnée sise à Pantin. (18 juillet 1899.) (Voir <i>suprà</i> .)	Ont coopéré avec le plus grand dévouement aux travaux de sauvetage de trois personnes ensevelies sous un éboulement.				Mention honorable
PIONBO (Laurent-Clément), caporal au même régiment.						Id.
DEKONINCK (Fernand), caporal au même régiment.						Id.
HOUSER (Ernest-Joseph), sapeur au même régiment.						Id.
SARRET (Alphonse-Eloi), sapeur au même régiment.						Id.
27 novembre 1899.						
SEINE.						
MALETTE (Gustave-Marie-Joseph), conducteur des ponts et chaussées, agent voyer cantonal de la subdivision de Pantin.	Id.	Se sont tout particulièrement distingués en coopérant au sauvetage des personnes ensevelies.	2°			
MAX BOXELAER (Georges-Elisée), ouvrier puisatier.						2°
HACQUIN (Antoine), ouvrier puisatier.						2°
CHAUVEL (Jean), ouvrier puisatier.						2°
29 décembre 1899.						
LOIRE.						
ELY (Charles), mineur à Saint-Etienne.	Mines de houille de Beaubrun. (10 novembre 1899.)	S'est particulièrement distingué en sauvant un mineur enseveli sous un éboulement.				Médaille de bronze

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées			
			MÉDAILLES		MÉDAILLES de bronze	
			en or	en argent		MENTIONS honorables
MAINE-ET-LOIRE.						
HUTEAU (Lucien-Pierre-Marie), sergent au 6 ^e régiment du Génie.	Ardoisière souterraine de l'Espérance sisé à la Pouéze (26 octobre 1895.)	A exposé sa vie en tentant le sauvetage de quatre ouvriers qui gisaient asphyxiés au fond de l'ardoisière.				Médaille de bronze
SEINE.						
LENTA (Jean), ouvrier puisatier à Pantin. PIGEON (Théodore-Joseph), ouvrier puisatier au même lieu.	Carrière abandonnée sisé à Pantin. (18 juillet 1899. (Voir <i>supra</i> .)	Se sont particulièrement distingués en portant secours à des personnes ensevelies sous un éboulement.		2 ^e		2 ^e

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1898.

I. — Charbonnages.

1^o *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1898, de 22.088.335 tonnes, d'une valeur totale de 242.893.900 francs. Ces résultats, comparés à ceux de 1897 (*), accusent une augmentation de 595.889 tonnes et 22.221.800 francs.

La valeur moyenne de la tonne a été de 11 francs, soit 0 fr. 74 de plus que l'année précédente.

L'extraction s'est répartie comme suit entre les districts houillers :

	Tonnes.	Francs.
Hainaut.....	15.861.160	173.986.200
Namur.....	573.660	5.517.800
Liège.....	5.653.515	63.389.900
Totaux	22.088.335	242.893.900

(*) Voir pour la Statistique de 1897, *Annales des Mines*, 2^e vol. de 1898, p. 612.

L'effectif du personnel ouvrier s'est élevé à 122.846 travailleurs, soit 2.464 de plus qu'en 1897; en voici la répartition :

		OUVRIERS	
		à l'intérieur	à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans.....	83.718	21.786
	de 14 à 16 ans.....	4.326	1.434
	de 12 à 14 ans.....	1.821	1.224
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans.....	405	1.476
	de 16 à 21 ans.....	49	3.951
	de 14 à 16 ans.....	»	2.686
Totaux.....		90.289	32.557
		122.846	

Depuis l'année 1891, qui a précédé celle de la mise en vigueur dans les mines de la loi du 13 décembre 1889 sur le travail, le nombre des femmes et des filles occupées à l'intérieur des travaux a diminué de 3.267, soit de 89 p. 100. La catégorie des jeunes filles au-dessous de seize ans a même entièrement disparu en 1894.

Il y a lieu d'ajouter qu'en 1898 l'âge minimum des jeunes filles pouvant être admises aux travaux du fond a été porté à vingt ans.

Quant aux enfants au-dessous de seize ans employés souterrainement, leur nombre s'est réduit de près du tiers, malgré l'accroissement de l'effectif du personnel ouvrier.

La production par ouvrier du fond a été de 245 tonnes.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis a été de 180 tonnes, 1 de plus que l'année précédente.

Le montant des salaires s'est élevé, en 1898, à la somme de 131.798.700 francs, ce qui établit le salaire annuel moyen de l'ouvrier, sans distinction de travail ni de sexe, à 1.097 francs, 74 de plus qu'en 1897. En réalité, si l'on déduit les retenues pour les institutions de prévoyance, certaines consommations au compte de l'ouvrier, ce salaire se réduit à 1.080 francs, et le salaire journalier moyen, à 3 fr. 58. Ces salaires se sont respectivement accrus de 7,4 et 5,3 p. 100, par rapport à l'année précédente.

Le salaire journalier net de 3 fr. 58 se décompose comme suit :

Ouvriers de la surface.....	2',58
Ouvriers du fond.....	3',94

— Si l'on distingue les exploitations qui ont présenté des excédents de recettes ou de dépenses, on trouve qu'il y a eu :

95 charbonnages en gain, avec un bénéfice de..	25.095.700 francs
18 — en perte, avec un déficit de...	1.821.100 —
Soit une différence en faveur des recettes de..	23.274.600 francs

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1898, se résume dans les chiffres suivants :

		Tonnes.
Production		22.088.335
Importation ...	Houille.....	2.202.517
	Briquettes.....	1.756
	Coke.....	280.590
Exportation...	Houille.....	4.579.955
	Briquettes.....	666.265
	Coke.....	878.485
Consommation.....		18.451.907

Le coke a été exprimé en houille dans le total de l'importation, de l'exportation et de la consommation, à raison d'un rendement en coke de 73,5 p. 100 de houille.

Quant aux briquettes, il a été compté 90 kilogrammes de houille pour 100 kilogrammes d'agglomérés.

Les exportations tendent à diminuer, alors qu'au contraire les importations continuent à croître. Pour la consommation indigène, elle augmente sensiblement.

II. — Mines métalliques et minières.

La production des mines métalliques et des minières de la Belgique, en 1898, a été la suivante :

	Tonnes.	Francs.
Minerais de fer.....	217.370	valant 1.058.220
Minerais de plomb.....	133	21.504
Minerais de zinc.....	11.475	747.560
Pyrite.....	147	886
Minerais de manganèse.....	16.440	211.500

Représentant une valeur totale de..... 2.039.670

Cette valeur est inférieure de 181.690 francs à celle de l'année précédente.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 1.679 individus, ne comprenant ni femmes, ni filles, ni garçons au-dessous de seize ans.

Des 6 mines concédées en activité (non compris les minières), 2 ont réalisé un bénéfice global de 306.050 francs, et 4 ont perdu ensemble 111.050 francs. Le bénéfice général s'est donc élevé à 195.600 francs.

III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous indique, pour l'année 1898, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	QUANTITÉS.	VALEURS.
Pierres de taille.....	215.417 m. cubes.	15.887.670 fr.
Poudingue.....	180 m. cubes.	23.400
Chaux, moellons et pierrailles..	2.968.997 m. cubes.	12.903.475
Pierres à paver.....	108.025.000 pièces.	10.081.570
Dalles et carreaux.....	170.672 m. carrés.	788.250
Marbre.....	16.610 m. cubes.	2.735.500
Ardoises.....	42.311.000 pièces.	1.735.000
	210 m. cubes.	18.300
Pierres à faux et à rasoir.....	89.150 pièces.	112.950
Castine.....	212.685 m. cubes.	373.700
Dolomie.....	37.100 m. cubes.	65.340
Terre plastique.....	287.805 tonnes.	2.081.200
Marne et craie.....	297.050 m. cubes.	681.000
Sable.....	638.424 m. cubes.	961.325
Silex pour faïencerie.....	22.150 m. cubes.	88.500
Silex, gravier et pierrailles pour empierrement.....	360.960 m. cubes.	789.500
Terres ocreuses et autres pour couleurs.....	290 m. cubes.	5.900
Sulfate de baryte.....	21.700 tonnes.	151.900
Feldspath.....	1.000 m. cubes.	9.900
Phosphate de chaux.....	156.920 m. cubes.	1.516.150
Craie phosphatée.....	224.440 m. cubes.	1.789.400

Représentant une valeur totale de..... 52.799.930

Les augmentations se sont principalement portées sur les matériaux de construction.

Il y a eu 1.521 carrières en exploitation, comprenant dans leur ensemble 1.166 sièges à ciel ouvert et 766 sièges souterrains, et occupant 35.625 ouvriers.

La province d'Anvers et les deux Flandres ne sont pas comprises dans le tableau ci-dessus. Elles ne fournissent d'ailleurs

que des argiles *tertiaires* servant à la fabrication des briques, carreaux, tuiles et des sables de même formation, employés, entre autres usages, à la fabrication du verre.

IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

1° Hauts-fourneaux.

Nombre d'usines (actives).....	17
Nombre de hauts-fourneaux (actifs)....	36
Nombre d'ouvriers.....	3.591
Production en fonte.....	977.755 tonnes.
Valeur de la production.....	57.904.850 francs.
Prix moyen de la tonne.....	59 ^f ,10

2° Usines à fer.

Nombre d'usines (actives).....	47
Nombre de fours à puddler (actifs)....	335
— à réchauffer (id.).....	158
— autres (id.).....	204
Nombre d'ouvriers.....	15.393
Production en fers finis.....	485.040 tonnes.
Valeur de la production.....	65.983.050 francs.
Prix moyen de la tonne.....	135 ^f ,93

3° Aciéries.

Nombre d'usines (actives).....	14
Nombre de fours Martin (actifs).....	10
Nombre de convertisseurs (actifs).....	19
Nombre de fours à réchauffer (actifs)...	51
Nombre d'ouvriers.....	6.691
Production en acier (produits finis)....	567.728 tonnes.
Valeur de la production.....	76.610.000 francs.
Prix moyen de la tonne.....	134 ^f ,94

4° Usines à zinc.

Nombre d'usines (actives).....	12
Nombre de fours (actifs).....	405
Nombre d'ouvriers.....	5.562
Production en zinc brut.....	119.671 tonnes.
Valeur de la production.....	59.409.300 francs.
Prix moyen de la tonne.....	496 ^f ,44.

5° Usines à plomb et à argent.

Nombre d'usines (actives).....	4
Nombre de fours à manche (actifs)....	20
— à réverbère (id.).....	19
— de coupelle (id.).....	11
Nombre d'ouvriers.....	1.196
Production.....	{ Plomb brut..... 19.330 tonnes.
	{ Argent..... 116.035 kilog.
Valeur de la pro-duction.....	{ Plomb brut..... 6.262.100 francs.
	{ Argent..... 12.385.850 francs.
	{ de la tonne de plomb brut..... 323 ^f ,96
Prix moyen....	{ du kilogramme d'argent..... 106 ^f ,76

V. — Accidents.

Les accidents survenus dans le courant de l'année 1898 se répartissent comme suit :

	CHARBON- NAGES	MINES metal- liques et minières	CARRIÈRES soulè- rains	USINES métallur- giques	TOTAL
Nombre d'accidents.	319	0	11	58	388
Morts.....	172	0	9	25	206
Blessés grièvement.	209	0	2	33	244

Le nombre des ouvriers occupés dans les charbonnages ayant été (fond et surface réunis) de 122.846, la proportion des ouvriers tués, afférente à l'industrie houillère, a été de 1,4 par 1.000 travailleurs. Elle n'avait été que de 1,03 l'année précédente.

La classification par *causes* des accidents survenus dans les houillères est donnée dans le tableau suivant :

		NOMBRE des			
		Accidents	Tués	Blessés	
I. — Intérieur des travaux.					
Accidents survenus dans les puits, tourets ou descenderies servant d'accès aux travaux souterrains.	A l'occasion de la translation des ouvriers	Par câbles, cages, cuffats, etc.	9	23	10
		Par échelles.	1	1	»
	Par éboulements, chutes de pierres et corps durs.	Par fahrkunst.	»	»	»
		Dans d'autres circonstances.	2	1	1
Accidents survenus dans les puits intérieurs et les cheminées d'exploitation	Par l'emploi des câbles.	des échelles.	1	1	»
		Dans d'autres circonstances.	3	2	1
Éboulements (y compris les chutes de pierres et blocs de houille, etc.) dans les chantiers et les voies.			132	62	74
Accidents causés par le grisou.	Dégagement normal.	Inflam- mations dues	3	4	5
		aux coups de mines.	2	9	3
	Irruptions subites suivies	aux appareils d'éclairage	3	16	2
		à des causes diverses ou inconnues.	»	»	»
Asphyxies.			3	3	»
d'inflammation d'asphyxies, de projections de charbon ou de pierres, etc.			»	»	»
Asphyxies par d'autres gaz que le grisou.			2	2	»
Coups d'eau.			»	»	»
Emploi des explosifs.	Tirage des mines.		9	1	8
	Autres causes.		3	»	4
Transport et circulation des ouvriers.	Sur voies de niveau ou peu inclinées.	hommes et chevaux.	38	9	29
		ou le transport se fait par treuils ou poulies.	35	11	25
	se fait par traction mécanique.		3	2	1
Causes diverses.			28	5	23
Totaux.			279	154	187
II. — Surface.					
Chutes dans les puits.			2	2	»
Manœuvres de véhicules.			21	11	10
Machines et appareils mécaniques.			7	4	3
Causes diverses.			10	1	9
Totaux.			40	18	22
Totaux généraux.			319	172	209

(Extrait de la *Statistique des mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur* du Royaume de Belgique, pour l'année 1898, par M. E. HARZÉ.)

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1899 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1^o *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BENOIT (P.). — Essai d'une géométrie nouvelle. In-8°, 153 p. avec fig. Saint-Dié, impr. Weick. (11598)
- CAHEN (A.). — Sur la formation explicite des équations différentielles du premier ordre dont l'intégrale générale est une fonction à un nombre fini de branches (thèse). In-4°, 99 p. Paris, Gauthier-Villars. (9883)
- FEHR (H.). — Application de la méthode vectorielle de Grassmann à la géométrie infinitésimale (thèse). In-8°, 100 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (7530)
- JAMET (V.). — Sur les surfaces enveloppes de sphères. In-4°, 18 p. Marseille, impr. Barlatier (Extr. des *Annales de la Faculté des sciences de Marseille*). (12768)
- OCAGNE (M. D^r). — Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques. Gr. in-8°, xiv-480 p. avec 177 fig. et 1 pl. Paris, Gauthier-Villars. 14 fr.
- PINET (H.) et F. KRAUSS. — Mémoire sur une nouvelle méthode pour la résolution des équations numériques; par *Henri Pinet*. Suivi d'un Appendice donnant le détail des opérations; par *Emile Krauss*. In-4°, 47 p. Paris, Nony et C^{ie}. (9129)
- POINCARÉ (H.). — Cinématique et Mécanismes. Potentiel et Mécanique des fluides. Cours professé à la Sorbonne par *H. Poincaré*,

(* Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

- membre de l'Institut. Rédigé par A. Guillet. In-8°, 391 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (7085)
- RIQUIER (C.). — Sur le calcul inverse des dérivées. In-4°, 60 p. Marseille, impr. Barlatier (Extr. des *Annales de la Faculté des Sciences de Marseille*). (12369)
- SERVANT (M.). — Essai sur les séries divergentes (thèse). In-4°, 65 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (10036)
- TANNENBERG (W. DE). — Leçons nouvelles sur les applications géométriques du calcul différentiel. Gr. in-8°, 196 p. avec fig. Paris, Hermann. (11144)
- TZITZÉICA (G.). — Sur les congruences cycliques et sur les systèmes triplement conjugués (thèse). In-4°, 57 p. Paris, Gauthier-Villars. (10070)

2° Physique et Chimie.

- BAUGÉ (G.-J.-B.). — Sur quelques carbonates doubles du protoxyde de chrome. Oxyde salin de chrome (thèse). In-8°, 27 p. Paris, Gauthier-Villars. (9865)
- BEAULARD (F.). — La Décharge électrique dans les gaz raréfiés (rayons de cathode et rayons de Röntgen). In-8°, 368 p. Paris, Gauthier-Villars (Extr. des *Annales de l'Université de Grenoble*). (6906)
- BERTHELOT (D.). — Sur une méthode purement physique pour la détermination des poids moléculaires du gaz et des poids atomiques de leurs éléments. In-8°, 12 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. des séances de la *Société française de physique*). (6726)
- CARNOT (A.). — Analyses des eaux minérales françaises exécutées au bureau d'essai de l'École nationale supérieure des mines. In-8°, 64 p. Paris, V° Dunod. (Extr. des *Annales des Mines*). (12121)
- CAURO (J.). — Sur la liquéfaction des gaz, thèse présentée au concours d'agrégation de l'École supérieure de pharmacie de Paris. In-8°, 86 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (9890)
- CURIE (M^{me} S.). — Le Polonium et le Radium. Leur découverte par les rayons de Becquerel et les nouvelles substances radioactives. Gr. in-8°, 7 p. avec fig. Paris, 155, boulevard Malesherbes (Extr. de la *Revue générale de chimie pure et appliquée*). (8366)
- DECHARME (C.). — Sur la corrélation des sciences, spécialement

- des sciences physiques. In-8°, 306 p. Angers, Germain et Grassin (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers*). (8839)
- Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'Ad. Wurtz, publié sous la direction de Ch. Friedel, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris, avec la collaboration de MM. P. Adam, A. Arnaud, A. Béhal, G. de Bechi, A. Bigot, L. Bourgeois, L. Bouveault, E. Burcker, C. Chabrié, P.-T. Clève, Ch. Cloéz, C. Combes, J. Dupont, etc. T. 4. Fascicules 33 à 37. In-8° à 2 col., p. 161 à 560, avec fig. Paris, Hachette et C^{ie}. Chaque fascicule, 2 fr. (12429)
- DITE (A.). — Recherches sur les propriétés et les applications de l'aluminium. In-8°, 66 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}. (12925)
- DUHEM (P.) et G. AIMÉ. — Un point d'histoire des sciences. La Tension de dissociation avant H. Sainte-Claire Deville; par P. Duhem. Suivi de : De l'influence de la pression sur les actions chimiques; par Georges Aimé (1837). In-8°, 32 p. Paris, Hermann. (7851)
- FÉRÉE (J.). — Étude de quelques amalgames et des propriétés des métaux retirés de ces amalgames (thèse). In-8°, 79 p. avec fig. Nancy, impr. coopérative de l'Est. (8159)
- FREUNDLER (P.). — La Stéréochimie. In-16, 98 p. avec fig. Evreux, impr. Hérissey (*Scientia*. Physique mathématique). (9045)
- GOURÉ DE VILLEMONTÉE. — Résistance électrique et Fluidité. In-16, 188 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. 2^f, 50. (10182)
- GUILLET (A.). — Détermination directe d'un kilohm absolu (thèse). In-8°, 87 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (7364)
- GUITTON (G.). — Recherches expérimentales sur le passage des ondes électriques d'un conducteur à un autre (thèse). In-8°, 81 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (9942)
- HEMARD (S.-V.). — Unité des forces physiques. Système ondulatoire. Explication purement mécanique de tous les phénomènes matériels. In-16, 620 p. avec fig. Châlons-sur-Marne, impr. Thouille. (9063)
- JAMIN (J.). — Cours de physique de l'École polytechnique; par M. J. Jamin. Deuxième supplément par M. Bouty, professeur à la Faculté des Sciences de Paris. Progrès de l'électricité (Oscillations hertziennes; Rayons cathodiques et Rayons X). In-8°, 217 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 3^f, 50. (7589)

- JARRY (R.). — Recherches sur la dissociation de divers composés ammoniacaux au contact de l'eau (thèse). In-8°, 69 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (7593)
- JOB (A.). — Recherches sur l'oxydation en liqueur alcaline des sels de cobalt et de cérium (thèse). In-8°, 71 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (9954)
- LEBRETON. — Note sur une cause apparente d'erreur dans le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité. In-8°, 11 p. avec fig. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (12202)
- LEFÈVRE (J.). — La Liquéfaction des gaz et ses applications. In-16, 176 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (11083)
- LENORMAND (C.). — Sur de nouveaux composés contenant un métal et plusieurs halogènes différents (thèse). In-8°, 55 p. Tours, impr. Deslis frères. (8448)
- MAURAIN (C.). — Le Magnétisme du fer. In-16, 100 p. Evreux, impr. Hérissey (*Scientia*. Physique mathématique). (7643)
- MINET (A.). — Analyses électrolytiques. In-16, 176 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (9305)
- MOUNEYRAT (A.). — Nouvelle méthode générale de préparation des carbures d'hydrogène chlorés, bromés et chlorobromés de la série cyclique. In-8°, 99 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (10002)
- MOUREU (C.). — Constantes physiques utilisées pour la détermination des poids moléculaires. In-8°, 98 p. Paris, Carré et Naud. (7340)
- MOURLOT (A.). — Recherches sur les sulfures métalliques (thèse). In-8°, 73 p. Paris, Gauthier-Villars. (7661)
- Constantes physiques utilisées pour la détermination des poids moléculaires, thèse présentée au cours d'agrégation de l'École supérieure de pharmacie de Paris. In-8°, 87 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (10003)
- NIKOLAÏEVE (W. DE). — Sur les actions mécaniques de la décharge disruptive. In-8°, 3 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de physique*). (11103)
- POUGET (I.). — Recherches sur les sulfo et les sélénio-antimonites (thèse). In-8°, 73 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (11771)
- POZZI-ESCOT (M.-E.). — Analyse chimique qualitative. In-16, 180 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (11118)
- Analyse microchimique et spectroscopique. In-16, 192 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (12831)
- SACERDOTE (P.). — La Loi du mélange des gaz. Nouvel appareil de démonstration. In-8°, 12 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de physique*). (8940)

- SCHLESING fils (T.). — Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol. In-8°, 48 p. Nancy, impr. Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. des *Annales de la Science agronomique française et étrangère*). (9160)
- Sur la purification de l'iridium. Petit in-8°, 4 p. Paris, impr. Levé. (10058)
- TURPAIN (A.). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques (thèse). In-8°, 161 p. avec fig. Bordeaux, impr. Gounouilhou. (9355)
- Sur la propagation des oscillations dans les milieux diélectriques. In-4° à 2 col., 6 p. avec fig. Paris, Carré et Naud, (Extr. de *l'Éclairage électrique*). (12327)
- URBAIN (G.). — Recherches sur la séparation des terres rares (thèse). In-8°, 101 p. Paris, Gauthier-Villars. (7741)
- VAN'T HOFF (J.-H.). — Leçons de chimie physique, professées à l'Université de Berlin, par J.-H. Van't Hoff, de l'Académie des Sciences de Berlin. Ouvrage traduit de l'allemand, par M. Corvisy, professeur agrégé au lycée de Saint-Omer. Deuxième partie : la Statique chimique. In-8°, 163 p. avec fig. Paris, Hermann. (11150)
- VÈZES. — Osmium. In-8°, 136 p. Tours, impr. Deslis frères (8569)
- WEYHER (C.-L.). — Expériences reproduisant les propriétés des aimants au moyen de combinaisons tourbillonnaires au sein de l'air ou de l'eau. In-8°, 34 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (7748)
- WILLARD GIBBS (J.). — Équilibre des systèmes chimiques, par J. Willard Gibbs, professeur au Collège Yale, à Newhaven. Traduit par Henry Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, professeur au Collège de France. In-8°, XII-212 p. Paris, Carré et Naud. (10078)
- 3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*
- BAYE (J. DE) et T. VOLKOV. — Le Gisement paléolithique d'Aphontova-Gora, près de Krasnoïarsk (Russie d'Asie). In-8°, 8 p. Paris, Masson et C^{ie} (Extr. de *l'Anthropologie*). (7774)
- BERTRAND (M.). — La Grande Nappe de recouvrement de la Basse-Provence. In-8°, 71 p. avec 42 fig. et 3 pl. Paris, Béranger (*Bull. des services de la Carte géol. de la France et des Topographies souterraines*). (7434)
- Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80000.

- Feuille 98 : Châtillon. — Feuille 125 : Beaune. — Feuille 131 : Bressuire. — Feuille 154 : Confolens. — Feuille 212 : Digne. (Chaque feuille est accompagnée d'une notice explicative.) Chaque carte, prix : 6 fr. Paris, impr., grav. et chromolith. Erhard frères. (435-753)
- COLLON. — Le Corindon, d'après T.-H. Holland, du Comité géologique de l'Inde. In-8°, 19 p. Dijon, imp. Darantière (Extr. des *Mém. de l'Académie de Dijon*). (8829)
- DAVIOT (H.). — Contribution à l'étude géologique, chimique et minéralogique du Laurium (Grèce). In-8°, 106 p. avec grav. et carte. Autun, impr. Dejussieu père et fils (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun*). (41890)
- DUJOURDAIN (L.). — Formation et Constitution géologique de la Terre; Origine progressive de la vie à la surface; l'Homme pré-historique; le xx^e siècle et les Ages futurs. In-16, in-107 p. et planches. Paris, Société d'édition et de librairie. 1^r, 50. (9921)
- GARDE (G.). — Une excursion minéralogique et géologique dans la Limagne. Puy de Corent, de Montou, de Marmant; vallée de l'Allier (Excursion de la Faculté des Sciences). In-8°, 16 p. avec fig. Clermont-Ferrand, impr. Mont-Louis (Extr. de la *Revue d'Auvergne*). (42746)
- GIRARDOT (L.-A.). — Jurassique inférieur lédonien. Coupes des étages inférieurs du système jurassique dans les environs de Lons-le-Saunier, avec la description et la faune de chaque étape, des considérations sur le régime de la mer jurassique dans le Jura lédonien et l'historique de la géologie lédonienne. In-8°, xxviii-897 p. et tableau. Lons-le-Saunier, impr. Declume (Matériaux pour la géologie du Jura). (11240)
- GIROD (P.) et E. MASSÉNAT. — Les stations de l'âge du renne dans les vallées de la Vézère et de la Corrèze (Laurerie-Basse : Industrie, Sculptures, Gravures). In-4°, viii-148 p. avec 110 pl. hors texte. Paris, J.-B. Baillièrre et fils. (40808)
- GLANGEAUD (P.). — Étude sur les plissements du crétacé du bassin de l'Aquitaine. In-8°, 48 p. avec 22 fig. et 2 pl. Paris, Béran-ger (*Bull. des services de la Carte géolog. de la France et des Topographies souterraines*). (7551)
- L'Enseignement de la minéralogie à la Faculté de Clermont-Ferrand. Leçon d'ouverture. In-8°, 14 p. Clermont-Ferrand, impr. Mont-Louis. (8664)
- JANNETTAZ (E.). — Les Roches et leurs éléments minéralogiques (descriptions, analyses microscopiques, structures, gisements). 3^e édition, entièrement revue et augmentée, avec 2 cartes géo-

- logiques, 21 planches chromo-lithographiques et 322 figures. In-8°, 704 p. Paris, Rothschild. (12769)
- LAPPARENT (A. DE). — Le Globe terrestre. 3 vol. in-16 de 63 p. chacun. T. 1 : la Formation de l'écorce terrestre; t. 2 : la Nature des mouvements de l'écorce terrestre; t. 3 : la Destinée de la terre ferme et la Durée des temps géologiques. Paris, Bloud et Barral. 0^r, 60 chaque vol. (10618)
- Traité de géologie. 4^e édition, refondue et considérablement augmentée. 2 vol. in-8°. Fascicule 1^{er}, p. 1 à 592, avec 139 fig.; fascicule 2, p. 593 à 1240, avec 420 fig. Paris, Masson et C^{ie}. (42199)
- MAISONNEUVE (P.). — Notions sommaires de paléontologie. Petit in-8°, 73 p. av. fig. Paris, Poussielgue. (9980)
- MEUNIER (S.). — La Géologie expérimentale. In-8°, viii-311 p. avec 56 figures. Paris, F. Alcan. 6 fr. (7943)
- NICKLÈS (R.). — Etudes géologiques sur la Woëvre. I : Callovien. In-8°, 11 p. Nancy, impr. Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. du *Bull. de la Soc. des arts de Nancy*). (7671)
- PELLAT (E.). — Quelques mots sur le terrain jurassique supérieur du Boulonnais, à l'occasion du vingt-huitième Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, tenu à Boulogne-sur-Mer en 1899. Gr. in-8°, 12 p. Avignon, Séguin. (10457)
- RECHAT (L.). — Une excursion minéralogique et géologique de Clermont au Puy-de-Dôme (excursion de la Faculté des Sciences). In-8°, 12 p. Clermont-Ferrand, impr. Mont-Louis. (8747)
- SEIGNETTE (A.). — Paléontologie animale. In-16, 112 p. avec 168 fig. Paris, Hachette et C^{ie}. 1 fr. (10919)
- STÖBER (F.). — Sur une méthode de dessin des cristaux et sur un procédé pour tailler des grains minéraux en lames minces. In-8°, 27 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères. (12862)
- THEVENIN (A.). — La Nouvelle Galerie de paléontologie du Muséum d'histoire naturelle. In-8°, 23 p. Autun, Dejussieu (Extr. des *Proc.-verb. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun*). (7735)
- 4^e Mécanique appliquée et Machines.
- BZRGÈS (A.). — La Houille blanche. In-8°, 22 p. et planches, Tours, impr. Deslis frères. 2 fr. (7781)

- CARALP (H.). — Chaudières et Machines de la marine de guerre, d'après les leçons professées à l'École navale. Deuxième partie : Machines. In-8°, 495 p. avec fig. et planches. Paris, Challamel. (8819)
- DEJUST (J.). — Machines à vapeur et Machines thermiques diverses. In-16, viii-600 p. avec fig. Paris, V° Dunod. (8840)
- Frein à air comprimé par compresseur sur l'essieu ou par moteur électrique indépendant, système Standard air brake C°. In-4° à 2 col., 4 p. avec fig. Evreux, impr. Hérissey (Extr. de l'*Eclairage électrique*). (9044)
- LOCRERT (L.). — Traité des véhicules automobiles sur routes. T. 4 : les Voitures électriques, avec Supplément aux voitures à pétrole et Note sur les moteurs à acétylène et à alcool. In-18 jésus, 330 p. avec 85 fig. Paris, au Touring-Club de France, l'auteur, 26, place Dauphine. 2^f, 50. (8894)
- MADANET (A.). — Tiroirs et Distributeurs de vapeur; Appareils de mise en marche et de changement de marche. 2° édition. In-16, 451 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (9087)
- MILANDRE (C.) et R.-P. BOUQUET. — Traité de la construction, de la conduite et de l'entretien des voitures automobiles. 4° volume : Voitures automobiles électriques. In-16, 268 p. avec fig. Paris, Bernard et C^{ie}. (8470)
- VIGREUX (C.) et C. MILANDRE. — Art de l'ingénieur. Partie didactique : Turbines : Turbines centripètes; Turbines mixtes dites américaines; Roues vives à réaction (Pelton, etc.). In-8°, 164 p. avec fig. Paris, Bernard et C^{ie}. 8 fr. (8570)
- 3° Applications industrielles de la physique et de la chimie. —
Métallurgie.
- AUBUSSON DE CAVARLAY (E.). — Cours d'électricité, professé à l'École d'application du génie maritime. T. I^{er} : Lois et Théories usuelles; Unités et Mesures électriques; Dynamos à courant continu. In-8°, vii-565 p. avec fig. Paris, Challamel. (12097)
- BABU (L.). — L'Industrie métallurgique dans la région de Saint-Étienne. In-8°, 111 p. et pl. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (8798)
- BOULANGER (J.) et G. FERRIÉ. — Les Ondes électriques et la Télégraphie sans fil. In-8°, 99 p. avec fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. de la *Revue du Génie militaire*). (12913)

- BROCA (A.). — La Télégraphie sans fils. In-18 jésus, vii-202 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 3 fr. 50. (11616)
- Excursion (deuxième) électrotechnique en Suisse; par les élèves de l'École supérieure d'électricité. In-8°, 38 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars (Extr. du *Bull. de la Soc. internat. des électriciens*). (9928)
- GEUZE (L.). — Traité théorique et pratique du laminage du fer et de l'acier. Paris. In-8°, av. atlas. 25 fr.
- GIRARDVILLE (P.). — L'Acétylène et ses applications. In-8°, 26 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. de la *Revue d'Artillerie*). (12457)
- LEBLOND (H.). — Cours élémentaire d'électricité pratique. 3° édition, mise à jour et augmentée. In-8°, vi-314 p. avec 201 fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}. 7^f, 50. (8221)
- MENERAY (R.). — De la préparation industrielle du sulfate d'ammoniaque et de son emploi en agriculture. In-18 jésus, 22 p. Rouen, impr. Blondel. (9988)
- MINEL (P.). — Introduction à l'électricité industrielle (Potentiel; Flux de force; Grandeurs électriques). 2° édition. In-16, 192 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}. (8250)
- RENAUD (P.). — L'Electrotechnie agricole en Allemagne; son avenir en France et dans nos colonies, avec une préface de M. Tisserand, directeur honoraire de l'agriculture. In-4°, viii-104 p. avec fig. Paris, impr. Chamerot et Renouard (Extr. du *Bull. de la Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale*). (7965)
- YMONET (G.). — Notes : 1° sur la contamination accidentelle du gaz dans les gazomètres et les canalisations; 2° sur les précautions à prendre dans la vérification de l'épuration du gaz. In-8°, 60 p. Paris, impr. Mouillot (Extr. du *Compte Rendu du vingt-sixième congrès de la Soc. technique de l'industrie du gaz en France*). (10510)
- 6° Exploitation des mines. — Gites minéraux.
- BAYARD. — Note sur les gisements de minerais de fer des presqu'îles de Kertch et de Taman (Russie). In-8°, 20 p. et pl. Paris, V° Dunod. (Extr. des *Annales des Mines*). (10976)
- CHESNEAU (G.). — Note sur les recherches récentes concernant les explosifs de sûreté. In-8°, 39 p. Paris, V° Dunod. (Extr. du même recueil). (7475)
- DOMAGE (H.). — Conférence sur les procédés d'exécution de la

- galerie de Gardanne à la mer de la Société nouvelle de charbonnages des Bouches-du-Rhône. In-8°, 23 p. et 10 pl. Marseille, impr. Barlatier (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*). (9672)
- GAUTRON DU COUDRAY. — Étude sur l'affleurement et les premières recherches minières du gîte métallifère à sulfures complexes de Dun-sur-Grandry (Nièvre). In-8°, 15 p. et carte. Autun, impr. Dejussieu. (7542)
- LAUNAY (L. DE). — Les Mines du Laurion dans l'antiquité. In-8°, 32 p. avec fig. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (12204)
- LE CHATELIER (H.). — Rapport sur les expériences faites aux mines de Blanzay, le 6 juillet 1898. In-8°, 12 p. et pl. Paris, V° Dunod (Extr. du même recueil). (11080)
- PROST (A.). — Note sur les minerais de fer des territoires des Meknas et des Nefzas (Tunisie). In-8°, 24 p. et pl. Paris, V° Dunod (Extr. du même recueil). (11320)
- 7° Construction. — Chemins de fer.
- BERNARD (A.). — Les Chemins de fer en Algérie. In-8°, 30 p. Paris, André (Extr. de la *Revue des questions diplomatiques et coloniales*). (11166)
- BOITEL (C.). — Les Constructions en béton armé (Calculs de résistance; Détails d'exécution). In-8°, 88 p. avec fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}. (11613)
- BOUSSIRON (S.). — Note sur les constructions en ciment armé (système Boussiron). Description; Avantages; Théorie du système. In-8°, 31 p. Paris, Béranger. (7451)
- DESDOITS. — Méthode graphique pour la reconnaissance et la vérification du tracé des voies de chemins de fer. In-8°, 39 p. avec fig. et planches. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (11027)
- HAREL DE LA NOË. — Théorie et Applications nouvelles du ciment armé. In-8°, 23 p. avec fig. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Ponts et Chaussées*). (8875)
- HISELY. — Constructions diverses pour déterminer la poussée des terres sur un mur de soutènement. In-8°, 24 p. avec fig. Paris, V° Dunod (Extr. du même recueil). (8877)
- JANET (L.). — Note sur le système d'enclenchement par serrures Bouré. In-8°, 56 p. et pl. Paris, V° Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (7591)

- LAPLAICHE (A.). — Manuel du candidat à l'emploi d'inspecteur particulier de l'exploitation commerciale des chemins de fer. 4^e édition, revue et augmentée. Ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels. In-16, xxxiii-1034 p. avec 107 fig. Paris, Berger-Levrault et C^{ie}. (11076)
- REYVAL (J.). — Chemin de fer électrique Stans-Engelberg. In-4° à 2 col., 16 p. avec grav. Paris, Carré et Naud (Extr. de *l'Eclairage électrique*). (9144)
- SAUVAGE (E.). — La Machine locomotive, manuel pratique donnant la description des organes et du fonctionnement de la locomotive, à l'usage des mécaniciens et des chauffeurs. 3^e édition. In-16, xvi-384 p. avec grav. Paris, Béranger. (7713)
- Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1897. Documents divers. Première partie : France (intérêt général). In-4°, vi-304 pages. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics). (8768)
- Documents divers. Deuxième partie : France (intérêt local); Algérie et Tunisie. In-4°, vi-474 p. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics). (11343)
- 8° Législation. — Économie politique et sociale.
- BOURGUEIL (E.). — Commentaire pratique des lois des 9 avril 1898 et 24 mai 1899, et des décrets et règlements d'administration publique qui en ont été la suite, sur les accidents du travail. In-16, 168 p. Perpignan, impr. Latrobe. 2 fr. 50. (8067)
- DENIS (P.). — Des servitudes d'utilité publique dans le voisinage des chemins de fer (thèse). In-8°, 216 p. Paris, Pédone. (6967)
- Décret du 26 mai 1899 approuvant les tarifs établis par la Caisse nationale d'assurances en cas d'accidents, en conformité de la loi du 24 mai 1899. Tarif maximum des primes à payer pour 100 francs de salaires pour assurer les risques prévus par la loi du 9 avril 1898 pour les accidents ayant entraîné la mort ou une incapacité permanente absolue ou partielle. Note sur le fonctionnement de la Caisse nationale d'assurances en cas d'accidents, en ce qui concerne l'application de la loi du 24 mai 1899. In-8°, 8 p. Paris, Challamel (Annexe à la loi du 9 avril 1898 concernant les responsabilités des accidents). (7834)
- GUILLOT (P.). — Commentaire de la loi du 9 avril 1898 et des décrets-règlements concernant la responsabilité des accidents

- dont les ouvriers sont victimes dans leur travail, suivi de la législation et de tous les documents ministériels concernant les accidents du travail. 2^e édition. Petit in-16, 240 p. Paris, Roy, Marchal et Billard. 3 fr. (7563)
- Loi concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail, promulguée le 9 avril 1898. Règlements d'administration publique. Circulaires, Tarifs, etc., relatifs à cette loi. Précédés d'un exposé sommaire de la loi et des mesures qui ont préparé son entrée en vigueur. In-8^e, iv-246 p. Paris, 6, rue Mogador prolongée. (11272)
- MORVAN (L.). — Applications de la garantie d'intérêts aux chemins de fer français d'intérêt général (thèse). In-8^e, viii-120 p. Poitiers, impr. Blais et Roy. (12342)
- MÜLLER (J.). — Étude sur la garantie d'intérêt accordée aux Compagnies de chemins de fer français. In-8^e, 107 p. Lagny, impr. Colin. (7918)
- NINTCHICH (M.-A.). — La Réglementation légale du travail souterrain des femmes et des enfants (législation française et étrangère) (thèse). In-8^e, 370 p. Paris, Giard et Brière. (7672)
- RIST (C.). — Législation anglaise sur la responsabilité en matière d'accidents (thèse). In-8^e, ii-222 p. Paris, Larose. (7707)
- SERRE (E.). — Les Accidents du travail. Commentaire de la loi du 9 avril 1898, de la loi du 30 juin 1899 sur les accidents du travail agricole et des règlements d'administration publique, décrets et arrêtés relatifs à leur exécution, suivi d'une étude comparative de la législation étrangère. 2^e édition, revue et mise au courant de la législation nouvelle. In-8^e, vii-474 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}. 6 fr. (11795)
- VALENSI (R.). — La loi sur les accidents du travail. Commentaire théorique et pratique de la loi du 9 avril 1898 et des règlements d'administration publique, suivi d'une étude sur les principales législations étrangères et d'un appendice contenant le commentaire de la loi du 24 mai 1899. In-8^e, 388 p. Paris, Marchal et Billard. 6 fr. (8300)

9^o Objets divers.

- BLONDEL (A.). — De l'utilité publique des transmissions électriques d'énergie (but, procédé, état actuel, valeur économique et avenir). In-8^e, 131 p. Paris, V^e Dunod (Extrait des *Annales des Ponts et Chaussées*). (11168)

- CHALMEL (G.). — Notice concernant l'emploi industriel de l'alcool (éclairage, chauffage et force motrice). In-8^e, 64 p. Paris, Chaix. (11402)
- COLOMB-PRADEL. — Sur l'utilisation agricole d'un résidu industriel (poussières des hauts-fourneaux). In-8^e, 9 p. Nancy, impr. Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. des *Annales de la Science agronomique française et étrangère*). (7478)
- DEHÉRAIN (P.-P.). — Le Travail du sol. In-16, 32 p. Paris, 19, rue Louis-le-Grand. (12924)
- GASSER (A.) et R. MAIRE. — Sur l'influence du calcaire sur la végétation et sur la valeur de l'analyse calcimétrique des terres. In-8^e, 12 p. Nancy, impr. Berger-Levrault et C^{ie} (Extr. du *Bull. de la Soc. des sciences de Nancy*). (28864)
- LENGAUCHEZ (A.). — Études sur divers gaz combustibles utilisés pour divers usages industriels en général, et principalement pour la production de la force motrice, avec discussion par MM. Riché et Manaut, et avec la réponse de l'auteur, dans les séances des 7 et 21 avril 1899 de la Société des ingénieurs civils de France. In-8^e, 120 p. avec fig. Paris, Tignol. (10626)
- Statistique de l'industrie minérale de la France (Années 1897 et 1898). In-8^e, 12 p., Paris, V^e Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (7725)

OUVRAGES ANGLAIS.

1^o *Mathématiques et Mécanique pures.*

- BURNSIDE (W.-S.) and PANTON (A.-W.). — The Theory of Equations. Vol. I. 4th ed. In-8^e. Longmans.
- — — An Introduction to Determinants. Being a chapter from the « Theory of Equations ». In-8^e. Longmans. 3^s, 15.
- ROBSON (H.). — The Principles of Mechanics. In 2 parts. Part 1, Mechanics of Solids. Part 2, Mechanics of Fluids. In-8^e, 158 p. Scientific Press. 3^s, 15.

2° *Physique et Chimie.*

- BURBURY (S.-H.). — A Treatise on the Kinetic Theory of Gases. In-8°, 165 p. Cambridge University Press. 10 fr.
- FLEMING (J.-A.). — The Centenary of the Electric Current, 1799-1899. A Lecture delivered in the Connaught Hall, Dover, on Monday Evening, September 18th, 1899, during the Meeting of the British Association for the Advancement of Science, 1899. In-8°, 62 p. Electrician Office. 1^{fr},25.
- GETMAN (F.-H.). — The Elements of Blowpipe Analysis. In-8°. Macmillan. 9^{fr},40.
- HARDIN (W.-L.). — The Rise and Development of the Liquefaction of Gases. In-8°. Macmillan. 7^{fr},50.
- HOBBS (W.-R.-P.). — The Arithmetic of Electrical Measurements. With Numerous Examples Fully Worked. 7th ed. In-8°, 112 p. Murby. 1^{fr},25.
- LEHFELDT (R.-A.). — A Text Book of Physical Chemistry. In-8°, 320 p. E. Arnold. 9^{fr},40.
- LENGFIELD (F.). — Inorganic Chemical Preparations. In-8°. Macmillan. 3^{fr},15.
- NEWTN (G.-S.). — Chemical Lecture Experiments: Non-Metallic Elements. New ed. In-8°, 352 p. Longmans. 7^{fr},50.
- PERKIN junior (W.-H.) and F.-S. KIPPING. — Appendix to Organic Chemistry. In-12°. Chambers. 1^{fr},25.
- SUTER (W.-N.). — Handbook of Optics. In-8°. Macmillan. 6^{fr},25.
- WATSON (W.). — A Text-Book of Physics. In-8°, 918 p. Longmans. 13^{fr},15.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- LEWIS (W.-J.). — A Treatise on Crystallography. In-8°, 692 p. Cambridge University Press. 17^{fr},50.
- MACBRIDE (T.-H.). — The North American Slime Moulds. In-8°. Macmillan. 12^{fr},50.
- Memoirs of the Geological Survey: England and Wales. The Geology of the Country around Dorchester. Explanation of Sheet 328, by *Clement Reid*. 1^{fr},25.
- The Silurian Rocks of Britain. Vol. 1. Scotland. By *B.-N. Peach* and *John Home*. With Petrological Chapters and Notes by *J.-J.-H. Teall*. 18^{fr},75.

Memoirs of the Geological Survey. Summary of Progress of the Geological Survey of the United Kingdom for 1898. 1^{fr},25.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

- HISCOX (G.-D.). — Mechanical Movements, Powers, Devices and Appliances Used in Constructive and Operative Machinery, and the Mechanical Arts. For the Use of Inventors, Mechanics, Engineers, Draughtsmen. Illust. In-8°, 406 p. Low. 15^{fr},65.
- MARKS (E.-C.-R.). — Notes on the Construction of Cranes and Lifting Machinery. New and enlarged ed. In-8°, 196 p. J. Heywood. 4^{fr},40.
- PERRY (J.). — Steam Engine and Gas and Oil Engines. In-8°, 654 p. Londres. 14^{fr},25.
- RIPPER (W.). — Steam Engine: Theory and Practice. With 438 Illusts. In-8°, 408 p. Longmans. 41^{fr},25.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

- ALLSOP (F.-C.). — Induction Coils and Coil-Making: A Treatise on the Construction and Working of Shock, Medical and Spark Coils. 3rd ed. With 125 Illusts. In-8°, 184 p. Spon. 41^{fr},40.
- COLLINS (H.-F.). — The Metallurgy of Lead and Silver. Part. 1. Lead. Edit. by Sir *W.-C. Roberts-Austen*. With numerous Illusts. In-8°, 384 p. C. Griffin. 20 fr.
- FABIE (J.-J.). — A History of Wireless Telegraphy, 1833-1899. Including Some Bare Wire Proposals for Subaqueous Telegraphs. With Frontispiece and Illusts. In-8°, 344 p. W. Blackwood. 7^{fr},50.
- FLEMING (J.-A.). — Electric Lamps and Electric Lighting; A Course of Four Lectures on Electric Illumination, Delivered at the Royal Institution of Great Britain. 2nd ed. In-8°, 276 p. Electrician Office. 7^{fr},50.
- GARCKE (E.). — Manual of Electrical Undertakings, 1899-1900. Vol. 14. In-8°, 1036 p. Electrician Office. 15^{fr},65.
- GAY (A.) and C.-H. YEAMAN. — An Introduction to the Study of Central Station Electricity Supply. With over 200 Illust. In-8°, 482 p. Whittaker. 13^{fr},15.
- JEHL (F.). — The Manufacture of Carbons for Electric Lighting and other purposes. A Practical Handbook. In-8°, 242 p. Electrician Office. 13^{fr},15.

- MAC MILLAN (W.-G.). — A Treatise on Electro-Metallurgy : Embracing the Application of Electrolysis to the Plating, Depositing, Smelting, and Refining of Various Metals, and to the Reproduction of Printing Surfaces and Air Work, etc. 2nd ed., revised and enlarged. With Illusts. In-8°, 460 p. C. Griffin. 13^f,15.
- MAYCOCK (W.). — Electric Wiring, Fittings, Switches and Lamps. A Practical Book for Electric Light Engineers, Wiring and Fitting Contractors, Consulting Engineers, Architects, Builders, Wiremen, and Students. With 360 Illusts, Exercises, etc. In-8°, xv-446 p. Whittaker. 7^f,50.
- SEXTON (A.). — An Elementary Text Book of Metallurgy. 2nd ed. With numerous Illusts. In-8°, 280 p. C. Griffin. 7^f,50.
- SNELL (A.-T.). — Electric Motive Power. The Transmission and Distribution of Electric Power by Continuous and Alternate Currents. With a Section on the Application of Electricity to Mining Work. 2nd ed. In-8°, 418 p. Electrician Publishing Company. 13^f,15.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

- HEILPRIN (A.). — Alaska and the Klondike : A journey to the New Eldorado. With Hints to the Traveller, and Observations on the Physical History and Geology of the Gold Regions, the Condition of and Methods of Working the Klondike Placers, and the Laws Governing and Regulating Mining in the North West Territory of Canada. Fully Illustrated from Photographs, and with a New Map of the Gold Regions. In-8°, x-315 p. C. A. Pearson. 8^f,15.
- LOUIS (H.). — A Handbook of Gold Milling. 2nd ed. In-8°, 608 p. Macmillan. 12^f,50.
- MICHEL (S.). — Mine Drainage : Being a Treatise on Direct-Acting Underground Steam-Pumping Machinery. 2nd ed., re-written and enlarged. With numerous Illustrations. In-8°, 387 p. Crosby Lockwood and Son. 31^f,25.
- Parliamentary.* — Mines and Quarries. General Report and Statistics for 1898. Part 2. Labour. 0^f,85.
- — — General Report and Statistics for 1898. Part 3, Output. 1^f,80.
- 7° *Construction. — Chemins de fer.*
- EWING (J.-A.). — The Strength of Materials. In-8°, 258 p. Cambridge University Press. 15 fr.

- Parliamentary.* — Railway Accidents. Returns and Inspector's Reports for Jan.-June, 1899. 1^f,70.
- — — Railway Accidents. Returns, Jan.-March, 1899. 0^f,95.
- — — Continuous Brakes. Returns for July-Dec., 1898. 1^f,50.
- — — Railway and Canal Traffic. Report for 1897-98. Sixth Annual. 1^f,05.
- — — Railways, India. Report for 1898-99. Maps. 5^f,25.

8° *Législation. — Économie sociale.*

- CALDER (J.). — The Prevention of Factory Accidents : Being an Account of Manufacturing Industry and Accident and a Practical Guide to the Law on the Safe-guarding, Safe-working and Safe-construction of Factory Machinery, Plant and Premises. With 20 Tables and 124 Illusts. In-8°, 342 p. Longmans, 9^f,40.

9° *Objets divers.*

- SALMOND (F.-M.). — The Estimation of Distances by Means of the Distance Indicator. In-32, 12 p. 0^f,35.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

- HUTTEN (F.-R.). — Heat and Heat Engines. New-York. In-8°, 21-553 p. 31^f,25.
- Monographs of the United States Geological Survey. Vol. 29. Geology of Old Hampshire County, Massachusetts, comprising Franklin Hampshire, and Hampden Counties. By Benjamin Kendall Emerson. Maps, Plates. Illustrated. In-4°, xix-790 p. Washington, Government Printing Office.
- — — Vol. 31. Geology of the Aspen Mining District, Colorado. With Atlas. By Josiah Edward Spurr, Samuel Franklin Emmons, Geologist in Charge. Illustrated. In-4°, xxxv-260 p. et atlas in-fol. Washington, Government Printing Office.
- — — Vol. 35. The Later Extinct Floras of North America. By John Strong Newberry. A posthumous work. Edited by Arthur Hollick.

- Plates. In-4°, xxii-131 p. Washington, Government Printing Office.
- Nineteenth Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the Interior, 1897-98, Charles D. Walcott, Director. 6 Parts. Part 1, Director's Report. Including Triangulation and Spirit Levelling. Maps. In-4°, 422 p. Washington, Government Printing Office.
- Part 4, Hydrography. Maps. Illustrated. In-4°, viii-814 p. Washington, Government Printing Office.
- Part 6, Mineral Resources of the United States, 1897. Metallic Products, Coal and Coke. By *David T. Day*, Chief of Division. Illustrated. In-4°, vii-631 p. Washington, Government Printing Office.
- Part 6 (continued), Mineral Resources of the United States, 1897. Non-metallic Products, except Coal and Coke. By *David T. Day*, Chief of Division. In-4°, viii-703 p. Washington, Government Printing Office.
- PETTIGREW (W.-F.) — A Manual of Locomotive Engineering Philadelphia. In-8°, avec fig. 40^f,55.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- v. BRAUNMÜHL (A.). — Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie. I. Th. Von den ältesten Zeiten bis zur Erfindung der Logarithmen. Leipzig. In-8°, vii-260 p. avec 62 fig. 11^f,25. (3986)
- Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen. Herausgegeben von *H. Burkhardt* und *W.-F. Meyer*. Leipzig. In-8°. I. Th. : Reine Mathematik. I. Bd. Arithmetik und Algebra. Redigirt von *W.-F. Meyer*. 3. Heft. 4^f,75. — II. Bd. Analysis. Redigirt von *H. Burkhardt*. 1. Heft. 160 p. 6 fr. (3588)
- KORN (A.). — Lehrbuch der Potentialtheorie. Allgemeine Theorie des Potentials und der Potentialfunktionen im Raume. Berlin. In-8°, xiv-417 p. avec 94 fig. 11^f,25. (2477)

- RIEMANN (B.). — Elliptische Functionen. Vorlesungen. Mit Zusätzen herausgegeben von *H. Stahl*. Leipzig. In-8°, viii-144 p. avec fig. 7 fr. (4005)
- SROLZ (O.). — Grundzüge der Differential- und Integralrechnung. III. Thl. Die Lehre von den Doppelintegralen. Eine Ergänzung zum I. Thle. des Werkes. Leipzig. In-8°, viii-296 p. avec 41 fig. 10 fr. (4014)

2° *Physique et Chimie.*

- AUERBACH (F.). — Kanon der Physik. Die Begriffe, Principien, Sätze, Formeln, Dimensionsformeln und Konstanten der Physik, nach dem neuesten Stande der Wissenschaft systematisch dargestellt. Leipzig. In-8°, xii-522 p. 13^f,75. (2809)
- AUTENRIETH (W.). — Quantitative chemische Analyse. Gewichtsanalyse, Maassanalyse und physiologisch-chemische Bestimmungen. Zum Gebrauche in chemischen Laboratorien. Fribourg-en-Brigau. In-8°, xvi-232 p. avec 15 fig. 6^f,50. (3980)
- BLÜCHER (H.). — Die Luft. Ihre Zusammensetzung und Untersuchung, ihr Einfluss und ihre Wirkungen sowie ihre technische Ausnutzung. Leipzig. In-8°, xi-322 p. avec 34 fig. 7^f,50. (3983)
- DU BOIS-REYMOND (E.). — Vorlesungen über die Physik des organischen Stoffwechsels. Herausgegeben von *R. du Bois-Reymond*. Berlin. In-8°, xv-208 p. avec 26 fig. 7^f,50. (4374)
- DONATH (B.). — Die Einrichtungen zur Erzeugung der Roentgenstrahlen und ihr Gebrauch. Berlin. In-8°, viii-175 p. avec 110 fig. et 2 pl. 5^f,65. (2462)
- EDER (J.-M.) und E. VALENTA. — Das Spectrum des Chlors. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne. In-4°, 11 p. avec 3 fig., 1 pl. double et 2 pl. 3^f,75. (3190)
- Handwörterbuch der Chemie herausgegeben von *A. Ladenburg*. 83. u. 84. Lfg. Brunswick. In-8°. 3 fr. (3594)
- HEINKE (C.). — Energetische Streifzüge. Eine Studie über physikalische Probleme. Leipzig. In-8°, iii-49 p. 1^f,75. (4380)
- ROSCOE und SCHORLEMMER's ausführliches Lehrbuch der Chemie von *J.-W. Brühl*. VII. Bd. Die Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate oder organische Chemie. 3. Thl. Brunswick. In-8°, xxvii-1320 p. 35 fr. (3246)
- Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge. Herausgegeben von *F.-B. Ahrens*. Stuttgart. In-8°. IV. Bd. 5. Heft. Ueber Aluminium und seine Verwendung. Von *E. Milde*.

- 32 p. avec fig. — IV. Bd. 6. Heft. Das Acetylen in der Technik. Von *F.-B. Ahrens*. 52 p. avec 25 fig. — IV. Bd. 7. u. 8. Heft. Ueber den Raum der Atome. Von *J. Traube*. iv-78 p. — IV. Bd. 9. Heft. Der Einfluss der Raumerfüllung der Atomgruppen auf den Verlauf chemischer Reaktionen. Von *M. Scholtz*. 44 p. — IV. Bd. 10. Heft. Ueber die Molekulargrösse der Körper im festen und flüssigen Aggregatzustande. Von *W. Herz*. 44 p. Chaque fascicule 1^f,50. (2841-3218-3613-4006-4392)
- SCHEINER (J.). — Strahlung und Temperatur der Sonne. Leipzig. In-8°, iv-99 p. 3 fr. (4007)
- SIEVEKING (H.). — Ueber Ausstrahlung statischer Electricität aus Spitzen. Fribourg-en-Brisgau. In-8°, 41 p. avec 4 fig. 1^f,85. (4396)
- TAMS (H.). — Zur Kenntnis des Methylcyclohexylamins und des Methylhexanons. Hildesheim et Göttingen. In-8°, 78 p. 2 fr. (3229)
- TREADWELL (F.-P.). — Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie in 2 Bdn. I. Bd. Qualitative Analyse. Vienne. In-8°, ix-426 p. avec 14 fig. et 1 pl. de spectres. 10 fr. (2849)
- VAN'T HOFF (J.-H.). — Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie. 2. Heft. Die chemische Statik. Brunswick. In-8°, x-148 p. avec fig. 5 fr. (2473)
- WEDEKIND (E.). — Zur Stereochemie des fünfwertigen Stickstoffes. Mit besonderer Berücksichtigung des asymmetrischen Stickstoffes in der aromatischen Reihe. Leipzig. In-8°, v-126 p. avec fig. 4^f,40. (4015)
- WINTER (H.). — Beiträge zur Kenntniss der Amalgame der Alkalimetalle. Göttingen. In-8°, 63 p. 2 fr. (3233)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

- BROILI (F.). — Ein Beitrag zur Kenntniss von *Eryops macrocephalus* (Cope) (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart. In-4°, 24 p. avec fig. et 3 pl. 12^f,50. (3987)
- CHAMMER (H.). — Eishöhlen- und Windröhren-Studien (Extr. des *Abhand d. k. k. geographischen Gesellschaft in Wien*). Vienne. In-8°, 62 p. avec 5 pl. 4 fr. (2161)
- FELIX (J.) und H. LENK. — Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Republik Mexico. II. Thl. 2. u. 3. Heft. Leipzig. In-8°, iii p. et p. 51-210. 22^f,50. (3994)
- FRECH (F.). — Die Steinkohlenformation. Mit 1 Karte der europ.

- Kohlenbecken u. Gebirge in Fol., 2 Weltkarten, 9 Taf. u. 99 Fig. (Extr. des *Lethæa palæozoica*.) Stuttgart. In-8°, 175-24 p. et pl. 22^f,50. (4377)
- HOFMANN (A.) und F. RYBA. — Leitpflanzen der palæozoischen Steinkohlenablagerungen in Mittel-Europa. Prague, J.-G. Calve. In-8°, 108 p., avec 2 tabl. et 1 atlas in-fol. de 20 pl. phototyp. 25 fr.
- HINTZE (C.). — Handbuch der Mineralogie. 15. Lfg. I. Bd. Elemente, Sulfide, Oxyde, Haloide, Carbonate, Sulfate, Borate, Phosphate. 3. Lfg. Leipzig. In-8°, p. 321-480, avec 55 fig. 6^f,25. (2472)
- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchilien-Cabinet. 442-446. Lfg. Nürnberg. In-4°. Chaque livraison 11^f,25. (2478-3604)
- — Systematisches Conchilien-Cabinet. Sect. 145-147. Nürnberg. In-4°. Chaque section 33^f,75. (3605)
- — Systematisches Conchilien-Cabinet. I. Bd. 8. Abth. Die Familie der Aplysiidæ. Von *S. Clessin*. Nürnberg. In-4°, 58 p. avec 14 pl. color. 25 fr. (3606)
- PETERSEN (J.). — Geschiebestudien. Beiträge zur Kenntniss der Bewegungsrichtungen des diluvialen Inlandseises. I. Thl. (Extr. des *Mittheil. d. geographischen Gesellschaft in Hamburg*). Hamburg. In-8°, 64 p. avec 1 carte. 3 fr. (2839)
- REISS (W.) und A. STÜBEL. — Reisen in Süd-Amerika. Geologische Studien in der Republik Colomba. II. Petrographie. 2. Die älteren Massengesteine, krystallinen Schiefer und Sedimente, bearbeitet von *W. Bergt*. Berlin. In-4°, xvi-239 p. avec 1 carte, 8 pl. phototyp. et fig. dans le texte. 27^f,50. (4390)
- SCHLOSSER (M.). — Ueber die Bären und bärenähnlichen Formen des europäischen Tertiärs (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart. In-4°, 53 p. avec 2 pl. 15 fr. (4008)
- STICKLER (L.). — Ueber den microscopischen Bau der Faltenzähne von *Eryops megaccephalus* Cope (Extr. du même recueil). In-4°, 10 p. avec 1 fig. et 2 pl. 10 fr. (4010)
- UHLIG (V.). — Die Geologie des Tatragebirges. II. Tektonik des Tatragebirges. III. Geologische Geschichte des Tatragebirges. IV. Beiträge zur Oberflächengeologie (Extr. des *Denksch. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne. In-4°, 88 p. avec 1 carte géol., 4 pl. de coupes, 1 pl. tecton., 2 pl. phototyp. et 26 fig. dans le texte. 14 fr. (3230)

4° Mécanique appliquée et Machines.

- BECK (T.). — Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues. Berlin. In-8°, VII-559 p. avec 806 fig. 11^f,25. (4224)
- BRAUER (E.-A.). — Grundriss der Turbinen-Theorie. Leipzig. In-8°, IV-124 p. avec 73 fig. 5 fr. (3439)
- FÖPPL (A.). — Vorlesungen über technische Mechanik. III. Bd. Festigkeitslehre. — IV. Bd. Dynamik. Leipzig. In-8°, XVI-472 p. avec 70 fig. — XIV-446 avec 69 fig. Chaque vol. 15 fr. (2671)
- ZEUNER (G.). — Vorlesungen über Theorie der Turbinen. Mit vorbereitenden Untersuchungen aus der technischen Hydraulik. Leipzig. In-8°, XI-372 p. avec 80 fig. 12^f,50. (3075)

5° Applications industrielles de la physique et de la chimie. —
Métallurgie.

- BECKMANN (E.) und T. PAUL. — Das neubegründete Laboratorium für angewandte Chemie an der Universität Leipzig. Berlin. In-8°, VII-62 p. avec 8 fig. et 1 tabl. 2^f,50. (3183)
- HAUSBRAND (E.). — Verdampfen, Kondensiren und Kühlen. Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch. Berlin. In-8°, XVIII-390 p. avec 21 fig. dans le texte et 76 tabl. 11^f,25. (4232)
- HOLZT (A.). — Die Schule des Elektrotechnikers. Lehrhefte für die angewandte Elektrizitätslehre. Herausgegeben im Verein mit H. Vieweger und H. Stapelfeldt. 32.-33. Heft. Leipzig. In-8°. Chaque fascicule 0^f,95. (2675-3840)
- LÖB (W.). — Leitfaden der praktischen Electrochemie. Leipzig. In-8°, VII-244 p. avec fig. 7^f,50. (3999)
- WÜRST (F.) und W. BORCHERS. — Eisen- und Metallhüttenkunde. Zum Selbststudium für Hüttenleute, Chemiker, Studierende an Bergakademien und technischen Hochschulen, sowie für weitere Kreise übersichtlich dargestellt. (Extr. du *Buch der Erfindungen*). Leipzig. In-8°, V-595 p. avec 212 fig. et 6 annexes. 7^f,50. (3854)
- ZACHARIAS (J.). — Galvanische Elemente der Neuzeit in Herstellung, Einrichtung und Leistung, nach praktischen Erfahrungen dargestellt. Halle. In-8°, VIII-132 p. avec 62 fig. dans le texte et 7 pl. 7^f,50. (3234)

6° Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.

- DAHLBLOM (T.) und P. UHLICH. — Ueber magnetische Erglagerstätten und deren Untersuchung durch magnetische Messungen. Freiberg i. Sachsen, Craz und Gerlach. In-8°, 66 p. avec 1 pl. 3^f,15.
- HERRMANN (O.). — Steinbruch-Industrie und Steinbruch-Geologie. Berlin, Gebr. Borntraeger. In-8°, XVI-428 p. avec fig. et 6 pl. 14^f,40.
- LAMPRECHT. — Die Grubenbrand-Gewältigung. Leipzig, A. Felix. In-8°, XX-142 p. avec 7 pl. 8^f,75.
- TROMPETER (W.-H.). — Die Expansivkraft im Gestein als Hauptsache der Bewegung des den Bergbau umgebenden Gebirges. Essen. In-8°, 34 p. av. 7 pl. 5 fr. (2689)

7° Construction. — Chemins de fer.

- BODA (M.). — Die Schaltungstheorie der Blockwerke. Mit einem Vorwort von G. Barkhausen (Extr. de l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahn-Wesens*). Wiesbaden. In-4°, 94 p. av. 19 pl. 10 fr. (4620)
- FOERSTER (M.). — Die Eisenkonstruktionen der Ingenieur-Hochbauten. Ein Lehrbuch zum Gebrauche an technischen Hochschulen und in der Praxis. 1. Lfg. I. Abschn. Das Material, die Beanspr. und Querschnittsbemessung eiserner Stäbe. II. Abschn. Die Konstruktionselemente in Eisen. Leipzig. In-8°, 112 p. 174 fig. et 1 pl. 7^f,50 en souscriv. ; 11^f,25. (4624)
- HAHN (M.). — Kompendium der Bahnen niederer Ordnung. Jahrg. 1899/1900. Berlin. In-8°, XLVIII-702 p. et LVIII p. 12^f,50. (4629)

8° Objets divers.

- FUHRMANN (A.). — Anwendungen der Infinitesimalrechnung in den Naturwissenschaften, im Hochbau und in der Technik. Lehrbuch und Aufgabensammlung. III. Thl. Bauwissenschaftliche Anwendungen der Differentialrechnung. 2. Hälfte. Berlin. In-8°, XVI p. et p. 181-348, av. 62 fig. 6^f,90. (2824)
- PUTSCH (A.). — Neuere Gas- und Kohlenstaubfeuerungen. Sachliche Würdigung der seit 1885 auf diesem Gebiete in Deutschland ertheilten Patente. Berlin. In-8°, IV-132 p. av. 103 fig. 5 fr. (2683)

OUVRAGES SUISSES.

- TARNUZZER (C.) und A. BODMER-BEDER. — Neue Beiträge zur Geologie und Petrographie des östlichen Rhätikons (Extr. des *Jahresberichte der naturforschenden Gesellschaft Graubündens*). Coire. In-8°, 53 p. av. 2 fig. dans le texte et 3 pl. 2^f, 50.

OUVRAGES DANOIS.

- HANNOVER (H.-I.). — Mekanisk Teknologi. I. Metallernes og Lege-ringernes Egenskaber og Anvendelse. Copenhagen. In-8°, 224 p. 8^f, 50.

OUVRAGES RUSSES.

- HOLM (G.). — Über die Organisation des *Eurypterus Fischeri* Eichw. (Extr. des *Mém. de l'Acad. imp. des sciences de St-Petersbourg*). St-Petersbourg. In-4°, III-57 p. av. 10 pl. 10 fr.
- HOLZAPFEL (E.). — Die Cephalopoden des Domanik im südlichen Timan (Extr. des *Mém. du Comité géologique*). St-Petersbourg. In-4°, IV-56 p., av. fig. et 10 pl. 11 fr.
- KOGAN (R.-L.). — L'asphalte et son emploi pour la construction des ponts et autres travaux (en russe). St-Petersbourg. In-8°, 176 p. 5 fr.
- LÆWINSON-LESSING (F.). — Studien über die Eruptivgesteine (Extr. du *Compte rendu de la VII^e sess. du Congrès géol. internat. de Russie*). St-Petersbourg. In-8°, IV-272 p., av. 1 tabl. et 4 pl. color. 15 fr.
- PSCHEWALSKIJ (E.). — Géométrie anatomique et collection des données tirées de la géométrie analytique (en russe). Moscou. In-8°, 340 p. 10 fr.

- SEDERHOLM (J.-J.). — Über eine archaische Sedimentformation im südwestlichen Finland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges (Extr. du *Bull. de la Commission géologique de la Finlande*). Helsingfors. In-8°, v-257 p., av. 97 fig., 2 cartes color. et 3 pl. 6^f, 25.
- TALLOVIST (H.). — Grunderna af potentialteorin med användning pa elektrostatischen och magnetism. Helsingfors. In-8°, XI-253 p. 7^f, 50.

OUVRAGES ESPAGNOLS.

- SALAZAR Y QUINTANA (F.). — Tratado de análisis química. Tomo II. Madrid. In-4°, 369 p. 18 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

- AIAZIA (C.). — Geometria e trigonometria della sfera. Milan, U. Hoepli. In-16, VI-207 p. avec fig. (9, 26)
- BIANCHI (L.). — Lezioni sulla teoria dei gruppi di sostituzione e delle equazioni algebriche secondo Galois. Pise. In-8°, 283 p. 10 fr.
- COMINOTTO (E.). — Sulla natura della reazione dovuta all'inerzia: nota. Florence, tip. L. Niccolai. In-8°, 4 p. avec fig. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale di Firenze*). (5455)
- MAFFIOTTI (G.-B.). — Il planimetro a scure di H. Prytz: teoria e pratica. Turin, G.-B. Paravia e C. In-8°, 31 p. avec fig. 1^f, 60. (9734)
- MORALE (M.). — La rigata razionale d'ordine n dello spazio a quattro dimensioni e sua rigata trasversale, con particolare considerazione al caso di $n = 5$. Palermo, tip. Matematica. In-8°, 21 p. (8347)

- MORALE (M.). — Tre metodi per la costruzione di superficie rigate nello spazio a 4 dimensioni. Palermo, tip. Matematica. In-8°, 13 p. (8848)
- PASCAL (E.). — Repertorio di matematiche superiori : definizioni-formole, teoremi, cenni bibliografici. II. (Geometria). Milan, U. Hoepli. In-16°, xviii-928 p. (8851)
- PIGONE-GUSMANO (A.). — Il metodo Gauss applicato alla compensazione degli errori nel rilevamento topografico. Vol. I. Melli, tip. G. Grieco. In-8°, xi-238 p. avec 5 pl. 6 fr. (7509)
- PIGNATARI (G.). — Piani ed ellissi centrali nei sistemi di forma invariabile. Naples, tip. Gennaro M. Priore. In-8°, 41 p. (9270)
- SASSO (M.). — Formole dei quadrati e cubi del polinomi: loro applicazioni per fare il quadrato e cubo dei numeri. Avellino, tip. E. Pergola. In-8°, 22 p. 1 fr. (7511)

2° Physique et Chimie.

- ANDREIS (L. DE). — I raggi X : manuale pratico per la loro produzione e le loro applicazioni. Milan, tip. della soc. edit. Sonzogno. In-26, 178 p. avec fig. et 7 pl. 1^r, 50. (7147)
- BERTELLI (T.). — Ricerche storiche sulla pila di Volta. Monza, tip. Artigianelli-orfani. In-8°, 14 p. (Extr. de *La Scuola cattolica e la scienza italiana*). (8408)
- BLASERNA (P.). — Sulle perturbazioni prodotte dalle tramvie elettriche sui galvanometri: considerazioni. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, 5 p. (*Atti del 1° Congresso nazionale di elettricisti*). (8409)
- Sulle variazioni secolari dell'inclinazione magnetica nei tempi antichi: considerazioni e proposte. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, 6 p. (*Atti del 1° Congresso nazionale di elettricisti*). (8410)
- CALZOLARI (F.). — Nuove anomalie crioscopiche dovute a formazione di soluzione solida: tesi. Ferrare, tip. Sociale. In-8°, 58 p. (8412)
- CARDANI (P.). — Lezioni di fisica generale, dettate nella r. università di Parma nell'anno accademico 1898-1899. Parme, tip. F. Zafferri. In-8°, 8-552 p. avec fig. (7932)
- Sunti delle lezioni di fisica speciale per il corso di scienze, esposte nella r. università di Parma nell'anno accademico 1898-99. Parme, tip. F. Zafferri. In-8°, 184 p. (7933)
- CAVAZZI (A.). — Nuovo processo per la preparazione del carbonato di calcio idrato cristallino: nota. Bologne, tip. Gamberini e

- Parmeggiani. In-8°, 8 p. (Extr. du *Rendiconto delle sessioni della r. acad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (7503)
- CEPPELLINI (I.). — Riconoscimento della fecola e della destrina con l'ioduro di potassio. Milan, tip. del Riformatorio patronato. In-8°, 4 p. (Extr. du *Bollettino chimico-farmaceutico*). (7504)
- CHISTONI (C.). — Le formole di Bouguer per il calcolo degli spessori atmosferici e della trasparenza dell'atmosfera. Modène, tip. Vincenzi. In-8°, 23 p. avec planche (Extr. des *Atti della soc. dei naturalisti di Modena*). (6259)
- CONTINI (D.-A.). — Da Volta a Marconi: conferenza letta a favore della società Dante Alighieri. Messine, A. Trimarchi. In-8°, 25 p. (9266)
- DONATI (L.). — Osservazioni sulle equazioni di Hertz e sul teorema di Poynting: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 8 p. (Extr. des *Mem. della r. acad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (5821)
- Commissione per la terminologia elettrica: relazione della commissione della società italiana di fisica. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, 6 p. (*Atti del 1° Congresso nazionale di elettricisti*). (8416)
- GALILEI GALILEO. — Le opere. Edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia. Volume IX. Florence, tip. G. Barbera. In-4°, 296 p. avec fig. (10179)
- GILARDI (A.). — Le onde hertziane e il coherer. Milan, tip. Guidetti e Mondini. In-16, 42 p. avec planche et fig. (Extr. de *l'Elettricità*). (8622)
- GRASSI (G.). — Commissione per la terminologia elettrica: relazione. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, 10 p. (*Atti del 1° Congresso nazionale di elettricisti*). (8423)
- KELLER (F.). — Intensità orizzontale del magnetismo terrestre presso Carsoli ed Orte. Rome, tip. Ad. ved. Paleras. In-8°, 20 p. (5823)
- MARTINI (T.). — Intorno alle scoperte di Alessandro Volta: discorso letto nell'adunanza solenne del r. istituto veneto del 24 maggio 1899. Venise, tip. C. Ferrari. In-8°, 16 p. (Extr. des *Atti del r. istituto veneto di scienze, lettere ed arti*). (8426)
- MAZZARA (G.). — Lezioni di chimica generale, dettate nella r. università di Parma nell'anno accademico 1898-99. Parme, tip. F. Zafferri. In-8°, 480 p. avec fig. (7939)
- ONÈ (U.). — Per il centenario della pila voltiana: cenni storici, biografici, illustrativi sulla vita, studi e scoperte del sommo fisico Alessandro Volta. Gènes, tip. G. Schenone. In-8°, 195 p. avec fig. et 2 portraits. 2 fr. (5824)

- PALMERI (P.). — La chimica dell'acqua e dell'idrogeno secondo Platone. Portici, tip. Vesuviano. In-8°, 9 p. (6732)
- REBORA (E.). — Sulla formazione di basi pirroliche dell'etilendiamina. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (6733)
- RIGHI (A.). — Volta e la pila : lettura fatta in Como il 18 settembre 1899, inaugurandosi il primo congresso nazionale di elettricità. Côme, tip. Ostinelli di Bertolini Nani e C. In-8°, 54 p. (Extr. de la *Raccolta storica*). (8428)
- SERRA (E.). — Comportamento del monocloruro di iodio p. f. 27,2 e del triclorigenato di fosforo nelle soluzioni bollenti in tetraclorometano : nota II. Cagliari, tip. Commerciale. In-8°, 3 p. (10186)
- Peso molecolare dell'iodio, dello zolfo, del protocloruro di zolfo e dell'ossicloruro di fosforo determinato in soluzione nel tetraclorometano col metodo ebulliscopico : nota I. Cagliari, tip. Commerciale. In-8°, 8 p. (10187)
- SOLDANI (A.) e E. BERTÉ. — Sul citrato di calcio e sua analisi. Milan, tip. del Riformatorio patronato. In-8°, 7 p. (Extr. du *Bollettino chimico-farmaceutico*). (7945)
- VITALI (D.). — Di alcune reazioni differenziali fra i clorati, bromati e iodati e di un nuovo metodo di riconoscere gli uni in presenza degli altri : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (7160)
- 3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*
- ACHIARDI (G. D'). — Studio di alcuni opali della Toscana (Laboratorio di mineralogia dell'università di Pisa). Pise, tip. succ. fr. Nistri. In-8°, 25 p. (Extr. des *Atti della soc. toscana di scienze naturali*). (7146)
- Minerali dei marmi di Carrara : nota preventiva. Pise, tip. succ. fr. Nistri. In-8°, 4 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di scienze naturali*). (9260)
- Studio ottico di quarzi bipiramidati senza potere rotatorio. Pise, tip. succ. fr. Nistri. In-8°, 20 p. av. fig. (Extr. des *Atti della soc. toscana di scienze naturali*). (9261)
- BASSANI (C.). — Il dinamismo del terremoto laziale del 19 luglio 1899 : nota. Turin, tip. s. Giuseppe degli Artigianelli. In-16, 8 p. (9262)
- BENASSI (P.). — Materiali per la storia dei fenomeni sismici della

- regione parmense. Parme, tip. ditta Fiaccadori. In-8°, xxii-135 p. (9263)
- BICKNELL (C.). — Osservazioni ulteriori sulle incisioni rupestri in Val Fontanalba. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 8 p. av. fig. et planche (Extr. des *Atti della soc. ligustica disc. naturali e geografiche*). (7151)
- BOMBICCI (L.). — Relazione sull'origine del fango termale vulcanico di Battaglia. Venise, tip. C. Ferrari. In-8°, 5 p. (8411)
- CAPELLINI (G.). — Balenottere mioceniche di S. Michele presso Cagliari : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 21 p. av. 2 pl. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (8413)
- COMPAGNONI-NATALI (G.-B.). — Cenni di paleontologia ovvero dall'archeologia alla paleontologia in ordine all'antichità e all'evoluzione dell'uomo, con appendice ed illustrazione di preistorici cimeli. Montegiorgio, Zizzini-Finucci. In-8°, 146 p. av. fig. 2 f. 50. (9265)
- FLORES (E.). — Il Pulo di Molfetta, stazione neolitica pugliese : conferenza tenuta in Molfetta nella sede della società Dante Alighieri il 19 marzo 1899. Trani, V. Vecchi. In-8°, 32 p. (7506)
- FORNASINI (C.). — La *Biloculina alata* di A.-D. D'Orbigny : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 4 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia*). (5822)
- Le Polistomelline fossili d'Italia : studio monografico. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 24 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (7154)
- Isomorfismo ed eteromorfismo nei foraminiferi. Parme, tip. Adorni di L. Battei. In-8°, 2 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia*). (7937)
- PANEBIANCO (R.). — Risoluzione grafica dei due problemi relativi a quattro facce in zona nei cristalli. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 7 p. av. fig. (7940)
- PARAVICINI (G.). — Osservazioni filogenetiche sui molluschi : nota preventiva. Milan, tip. Luigi di Pirola. In-8°, 18 p. av. planche (5460)
- PEOLA (P.). — Flora dell'Elzeviano torinese : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 13 p. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia*). (5827)
- Florula del Fossaniano di Sommariva-Perone in Piemonte : nota. Parme, tip. Adorni di L. Battei. In-8°, 3 p. (Extr. du même recueil). (7942)
- PORTA (V.-A.). — Nuovi Chelonii fossili del Piacentino : nota.

- Parme, tip. Adorni di L. Battei. In-8°, 18 p. av. planche (Extr. du même recueil). (7943)
- PRATO (A. DEL). — Sulla presenza del genere *Burtinopsis* nel pliocene italiano : nota. Parme, tip. Adorni di L. Battei. In-8°, 8 p. (Extr. du même recueil). (7944)
- ROVERETO (G.). — Prime ricerche sinonimiche sui generi dei Gasleropodi. Gènes, tip. Cimnago. In-8°, 10 p. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (6734)
- SCARABELLI GONMI FLAMINI (G.). — Osservazioni geologiche e tecniche fatte in Imola in occasione di un pozzo artesiano eseguito a spese della cassa di risparmio dalla ditta ing. A. Bonariva nell'ultimo trimestre 1898. Imola, tip. Galeati. In-4°, 2p. (9736)
- SQUINABOL (S.). — Revisione della florula fossile di Teolo. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 12 p. (Extr. des *Atti della soc. veneto-trentina di scienze naturali*). (7946)
- Sulla vera natura delle *Helminthoida*. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 11 p. (Extr. du même recueil). (7947)
- STOPPANI (A.). — Corso di geologia. Terza edizione con note ed aggiunte per cura del prof. Al. Malladra. Volume I, fasc. 4 et 5. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, p. 193-256, p. 257-320, av. fig. 1^a, 20 le fascicule. (6266-8853)
- UGOLINI (P.-R.). — Molluschi nuovi o poco noti del pliocene della Val d'Era : nota. Bologna, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 7 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista italiana di paleontologia*). (5833)
- 4° *Mécanique appliquée et Machines.*
- ALASIA (C.). — Calcolo grafico ed applicazioni della statica grafica. Città di Castello, S. Lapi. In-8°, 97 p. av. 7 pl. 4 fr. (10172)
- DINARO SALVATORE. — Il montatore di macchine. Opera arricchita da oltre 250 esempi pratici e problemi risolti. Milan, U. Hoepli. In-16°, xi-467 p. (8946)
- GALILEI GALILEO. — Delle meccaniche lette in Padova l'anno 1594, per la prima volta pubblicate ed illustrate da A. Favaro. Venise, tip. C. Ferrari. In-4°, 26 p. av. fig. (Extr. des *Mem. del r. istit. veneto di scienze, lettere ad arti*). (8421)
- GARUFFA (E.). — Il costruttore di macchine : trattato completo sulla costruzione ed il disegno degli organi elementari delle macchine (Meccanica industriale). Seconda edizione rifatta. Milan, U. Hoepli. In-8°, xxvii-765 p. av. fig. 24 fr. (8911)
- Macchine (Delle) a vapore ed in particolare modo della locomotiva. Parte I : Macchine a vapore (Società italiana per le strade

- ferrate meridionali in Firenze; esercizio della rete adriatica : scuola allievi fuochisti). Florence, tip. G. Civelli. In-8°, 106 p. av. fig. (8913)
- RADDI (A.). — Le nostre forze idrauliche e la loro utilizzazione. Bologna, tip. succ. Monti. In-8°, 26 p. (Extr. de la *Rivista tecnica Emiliana*). (6799)
- TEMPESTINI (B.). — Sugli effetti idraulici della chiusura di un comprensorio. Florence, tip. Bonducciana di A. Meozzi. In-8°, 8 p. (Extr. du *Bollett. della soc. toscana degli ingegneri ed architetti*). (8004)
- 5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*
- Associazione elettrotecnica italiana, sezione di Torino : norme per la sicurezza negli impianti elettrici. Turin, tip. G. U. Casene. In-4°, 19 p. (8931)
- BARNI (E.). — Il montatore elettricista. Quinta edizione riveduta e aumentata. Milan, L'Elettricità. In-16, 489 p. avec fig. 3 fr. (9794)
- CASTELLANI (L.). — La collodionatura delle reticelle per incandescenza a gas. Potenza, Garramone e Marchesiello. In-8°, 7 p. (8941)
- Détails (Quelques) sur les appareils Braccialini (télé mètres, transmetteurs d'ordres, etc.) construits par l'officina Galileo. Florence, G. Martinez et C^{ie}. In-8°, 12 p. (6725)
- GUIDETTI e SILVANO. — Apparecchi per la trasmissione di segnali a distanza colla corrente elettrica. Turin, tip. Roux Frassati e C. In-4°, 7 p. avec planche. (6389)
- SANTARELLI (G.). — Le moderne teorie sui parafulmini : conferenza tenuta alla società toscana degli ingegneri ed architetti. Florence, tip. Bonducciana di A. Meozzi. In-8°, 22 p. (Extr. du *Bollett. della soc. toscana degli ingegneri e architetti*). (8003)
- 6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*
- Elenco dei marmi della Sicilia, presentati dalla r. scuola d'applicazione degli ingegneri ed architetti di Palermo all'esposizione d'ingegneria di Bologna. Palermo, tip. Lo Statuto. In-4°, 17 p. (9267)
- FROMENT (A.). — Rapport sur les mines de Tavagnasco, avec sup-

- plément. Ivree, typ. L. Garda. In-4°, 2 fasc., 55-19 p. av. 10 pl. (6839)
- Miniere cinabrifere del Siele, solforate, ecc. della ditta Angelo Rosselli [in Siele]: regolamento per gli operai. Livourne, tip. S. Belforte e C. In-16, 16 p. (7235)
- Miniere cinabrifere di Cornacchino e solforate degli eredi Schwarzenberg [in Cornacchino]: regolamento per gli operai. Pitigliano, tip. O. Paggi. In-16, 15 p. (7236)
- Rivista del servizio minerario nel 1898 (Ministero di agricoltura, industria e commercio: direzione generale dell'agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, cxvi-399 p. 3 fr. (9816)
- VALLE (G. LA). — I giacimenti metalliferi di Sicilia in provincia di Messina. Messine, tip. Fugazotto. In-8°, 34 p. avec 1 pl. (7948)

7° Construction. — Chemins de fer.

- CANOVETTI (C.). — Sulla resistenza dei treni e sulle formule ultimamente proposte. Florence, soc. tip. Fiorentina. In-8°, 9 p. (Extr. de la *Rivista generale delle ferrovie*). (8906)
- CORNAGLIA (A.). — Tramvie e strade ferrate a trazione elettrica: memoria. Fossano, tip. M. Rossetti. In-16, 12 p. (7194)
- Costruttore (II): Trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell'ingegnere civile ed industriale, dell'architetto, dell'agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4000 incisioni. Disp. 198-203. Milan, F. Vallardi. In-4°, p. 753-920, avec fig. et 3 pl. (6344-7192)
- Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie: norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 147-152 bis. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4° avec fig.; p. 457-488, 89-128, 1-56, avec 10 pl.; p. 305-372, 57-120, avec 1 pl.; p. 1-24, 33-43, av. 4 pl. 2 fr. la livraison. (5874-7574-10240)
- FAZIO (A.). — Ferrovie economiche ed esercizio idro-elettrico: problemi e dubbi: conferenze tenute alla società degli ingegneri ed architetti italiani a Roma. Rome, tip. coop. Sociale. In-8°, 93 p. (6794)
- GUNDI (C.). — Lezioni sulla scienza delle costruzioni. Parte II (Teoria dell'elasticità e resistenza dei materiali). Terza edizione. Turin, N. Bertolero. In-8°, vii-240 p. avec fig. et 6 pl. 6 fr. (6795)

- MAGNANI (A.). — La trazione elettrica sulle linee a forti pendenze: studio dei lavori recuperabili nelle discese. Florence, tip. Bonducciana A. Meozzi. In-8°, 11 p. av. planche. (6345)
- Relazione sull'esercizio delle strade ferrate italiane per l'anno 1894 (Ministero dei lavori pubblici: r. ispettorato generale delle strade ferrate). Rome, tip. dell'Unione cooperativa editrice. In-4°, vii-354 p. (8507)
- VACCHELLI (G.). — Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato. Milan, U. Hoepli. In-16°, xv-311 p. (8005)

8° Objets divers.

- ASINARI DI BERNEZZO (E.). — La più grande scoperta del secolo: breve cenno sul sistema astronomico di G. B. Olivero. Turin, tip. fr. Canonica. In-8°, 37 p. av. fig. et 2 pl. (7148)
- BOCCARDO (E.-C.) e V. BAGGI. — Trattato elementare completo di geometria pratica. Disp. 62-63. Applicazioni alla topografia. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 169-232, av. 8 pl. 1 fr. 50 la livraison. (5818-7930)
- COLOMBO (G.). — Manuale dell'ingegnere civile e industriale. Diciassettesima edizione e modificata e aumentata. Milan, U. Hoepli. In-16°, xiii-415 p. av. fig. (8908)
- Trattato generale teorico-pratico dell'arte dell'ingegnere civile, industriale ed architetto, redatto dai professori E. Basile, C. Ceradini, E. Garuffa, E. Piazzoli, D. Spataro, G. Stabilini, G. Torricelli, G. Turazza, ecc. Fasc. 17-20. Milan, F. Vallardi. In-8° av. fig.; p. 33-64, 65-96, 33-64, 225-256. 1 fr. le fascicule. (7196)
- VARDARO (V.). — Una nuova scala trigonometrica sul regolo calcolatore. Pavie, tip. Cooperativa. In-8°, 7 p. av. fig. (Extr. du *Giornale dei geometri*). (6269)

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS
FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des Mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1899, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — ROYAL SOCIETY OF LONDON. *Londres.*
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — SOCIETA TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOC. D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH-KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. —
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and Iron Trades. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH. *Édimbourg.*
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Étienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. —
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des ARCHITECTEN- UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
28. — Berg- und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*
33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
34. — BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston.*
36. — SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE NORMANDIE. *Caen.*
37. — COMITÉ GÉOLOGIQUE DE LA RUSSIE. *St-Petersbourg.*
38. — Bulletin of the GEOLOGICAL INSTITUTION OF THE UNIVERSITY OF UPSALA. *Upsal.*
39. — KÖNIGLICHE UNGARISCHE GEOLOGISCHE ANSTALT. *Buda-Pesth.*
40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
44. — Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LEOBEN UND PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pensylvanie).*
48. — REALE ACCADEMIA DEI LINCEI. *Rome.*
49. — AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *New-York.*
50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. —
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le Génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
58. — Annales de la SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE. *Liège.*
59. — UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Washington.*
60. — INSTITUT ROYAL GÉOLOGIQUE DE SUÈDE. *Stockholm.*
61. —
62. — Revue de la législation des mines. *Paris.*

63. — DIRECTION DES TRAVAUX GÉOLOGIQUES DU PORTUGAL. *Lisbonne.*
 64. — GEOLOGICAL AND NATURAL HISTORY SURVEY OF MINNESOTA. *Minneapolis.*
 65. — K. K. NATURHISTORISCHER HOFMUSEUM. *Vienne.*
 66. — COLLEGE OF SCIENCE, Imperial University, Japan. *Tokyo.*
 67. — KAIS. LEOPOLDINISCH-CAROLINISCHE DEUTSCHE AKADEMIE DER NATURFORSCHER. *Halle-sur-Saale.*
 68. — ANNALES DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE.
 69. — NEW-YORK ACADEMY OF SCIENCES. *New-York.*
 70. — INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. *Londres.*
 71. — Beitrage zur geologischen Karte der Schweiz. *Berne.*
 72. — DEPARTMENT OF MINES OF NEW SOUTH WALES. *Sydney.*
 73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Paris.*
 74. — The SCHOOL OF MINES Quarterly. *New-York.*
 75. — GEOLOGICAL AND NATURAL HISTORY SURVEY OF CANADA. *Ottawa.*
 76. — La Réforme sociale. *Paris.*
 77. — SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS. *Paris.*
 78. — Bulletin of the GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. *Rochester (N.-Y.).*
 79. — COMMISSION INTERNATIONALE DU CONGRÈS DES CHEMINS DE FER. *Bruzelles.*
 80. — ASSOCIATION AMICALE DES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES. *Paris.*
 81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
 82. — The Journal of Geology, UNIVERSITY OF CHICAGO.
 83. — Bulletin of the Department of Geology, UNIVERSITY OF CALIFORNIA. *Berkeley.*
 84. — Bulletin de l'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS-ÉLECTRICIENS SORTIS DE L'Institut électro-technique Montefiore. *Liège.*
 85. — SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE. *Bruzelles.*
 86. — La Revue Technique. *Paris.*
 87. — AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY. *New-York.*
 88. — AUSTRALASIAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Melbourne.*
 89. — Bulletin technologique de la SOCIÉTÉ DES ANCIENS ÉLÈVES DES ÉCOLES NATIONALES D'ARTS ET MÉTIERS. *Paris.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEIZIÈME.

EXPLOITATION DES MINES. — GÎTES MINÉRAUX.

	Pages.
Les mines du Laurion dans l'antiquité; par M. L. de Launay.	5
Les mouvements des eaux souterraines dans la région de Teplitz et de Brûx, en Bohême; par M. L. de Launay....	103
Analyse des rapports officiels sur les accidents de grisou survenus en France pendant les années 1891 à 1897; par M. Glasser.....	137
Notice sur la construction d'une galerie souterraine destinée à relier la concession des mines de lignite de Gardanne à la mer près Marseille; par M. Damage.....	307
— Suite.....	349
— Suite et fin.....	457
Commission du grisou. — Rapport fait au nom de la Commission du grisou sur l'emploi des explosifs de sûreté dans les mines à grisou; par M. L. Aguilhon.....	551

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Analyses des eaux minérales françaises exécutées au Bureau d'essai de l'École nationale supérieure des mines; par M. Adolphe Carnot.....	33
Note sur une cause apparente d'erreur dans le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité; par M. Lebreton.	98

	Pages.
Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1897 par les Ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.....	190

MÉCANIQUE. — MACHINES.

Note sur la rupture d'un tube à fumée survenue le 26 novembre 1898 dans la sucrerie de MM. Brabant frères, à Onnaing (Nord); par M. Léon.....	436
---	-----

Note sur l'explosion d'un récipient de vapeur survenue le 4 janvier 1899 dans une fabrique de caoutchouc, à Haluin; par M. Herscher.....	442
--	-----

Note sur la détermination des charges remorquées par les locomotives et sur celle des quantités de vapeur consommées aux différentes conditions de la marche; par M. F. Maison.....	499
---	-----

Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1898.....	574
--	-----

OBJETS DIVERS.

Le nivellement général de la France; par M. Charles Lallemand.....	227
--	-----

BULLETIN.

Statistique de l'industrie minérale de la Hongrie en 1897.....	402
Résumé de la production minérale du Canada en 1898.....	225
Statistique de l'industrie minérale de l'Espagne en 1898.....	347
Statistique de l'industrie minérale de la Suède pour l'année 1897.....	450
Production du plomb, du cuivre, du zinc, de l'étain, du nickel, de l'aluminium et du mercure dans le monde en 1897 et 1898..	453

	Pages.
Statistique de l'industrie minérale des États-Unis en 1897 et en 1898.....	545
Statistique de l'industrie minérale de la République Sud-Africaine.	548
Actes de courage et de dévouement : Accidents survenus dans les mines et carrières.....	598
Statistique de l'industrie minérale de la Belgique en 1898.....	602

BIBLIOGRAPHIE.

Deuxième semestre de 1899.

Ouvrages français.....	609
Ouvrages anglais.....	621
Ouvrages américains.....	625
Ouvrages allemands.....	626
Ouvrages suisses.....	632
Ouvrages danois.....	632
Ouvrages russes.....	632
Ouvrages espagnols.....	633
Ouvrages italiens.....	633

Liste des échanges autorisés entre les <i>Annales des Mines</i> et les publications françaises et étrangères.....	642
---	-----

ERRATUM

AU TOME SEIZIÈME.

Page 442, ligne 5 du titre, *au lieu de :*

4 JANVIER 1898, lire : 4 JANVIER 1899.

Fig. 2.
Vis d'Archimède
[Mine antique de la Coronada]

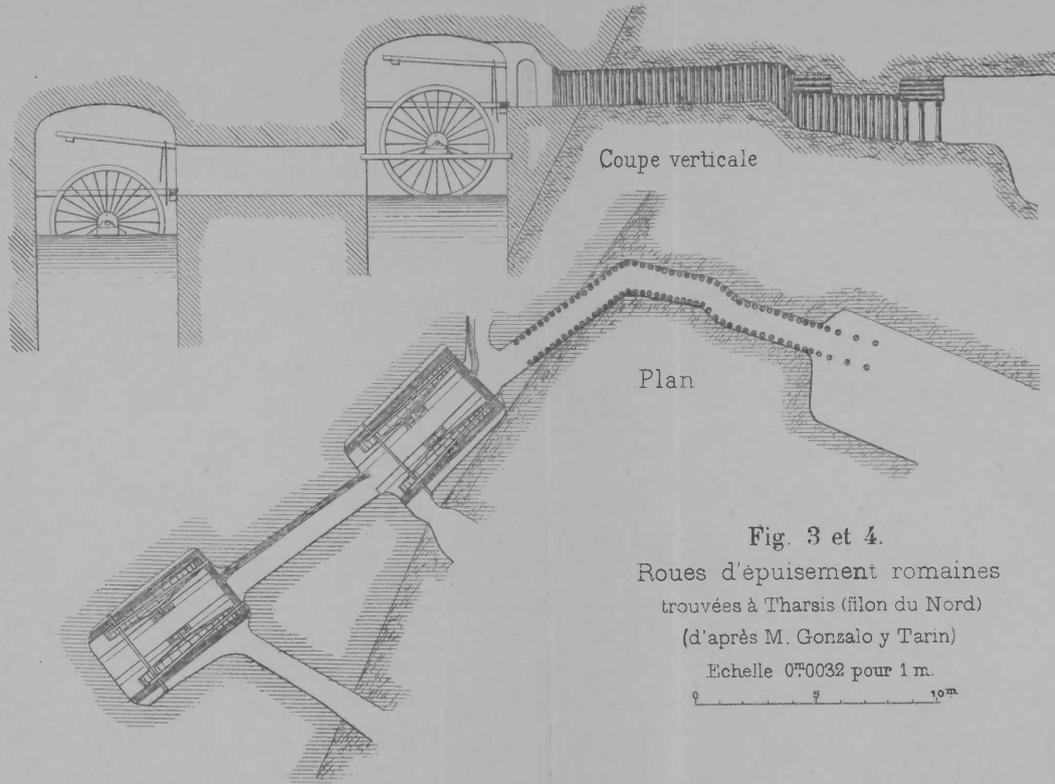
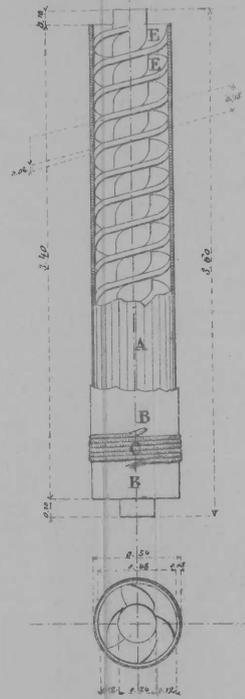


Fig. 3 et 4.
Roues d'épuisement romaines
trouvées à Tharsis (filon du Nord)
(d'après M. Gonzalo y Tarin)
Echelle 0^m0032 pour 1 m.
0 5 10^m

Fig. 1.
Plan de la Mine antique de Demoliaki
Echelle de 1/4000
(d'après M. Ardaillon)

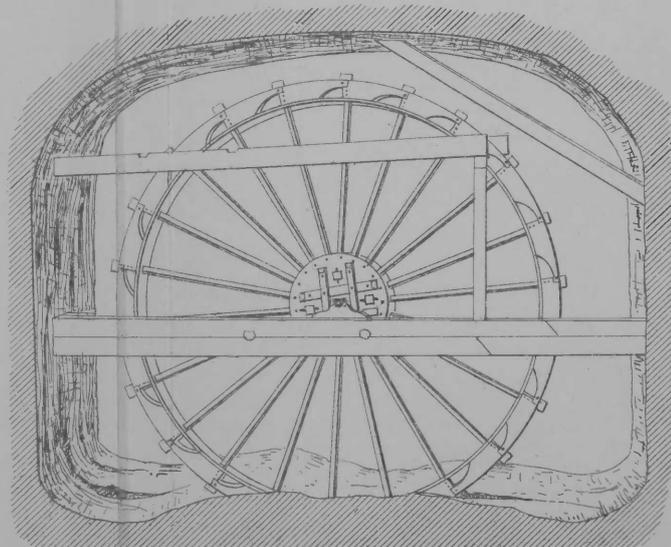
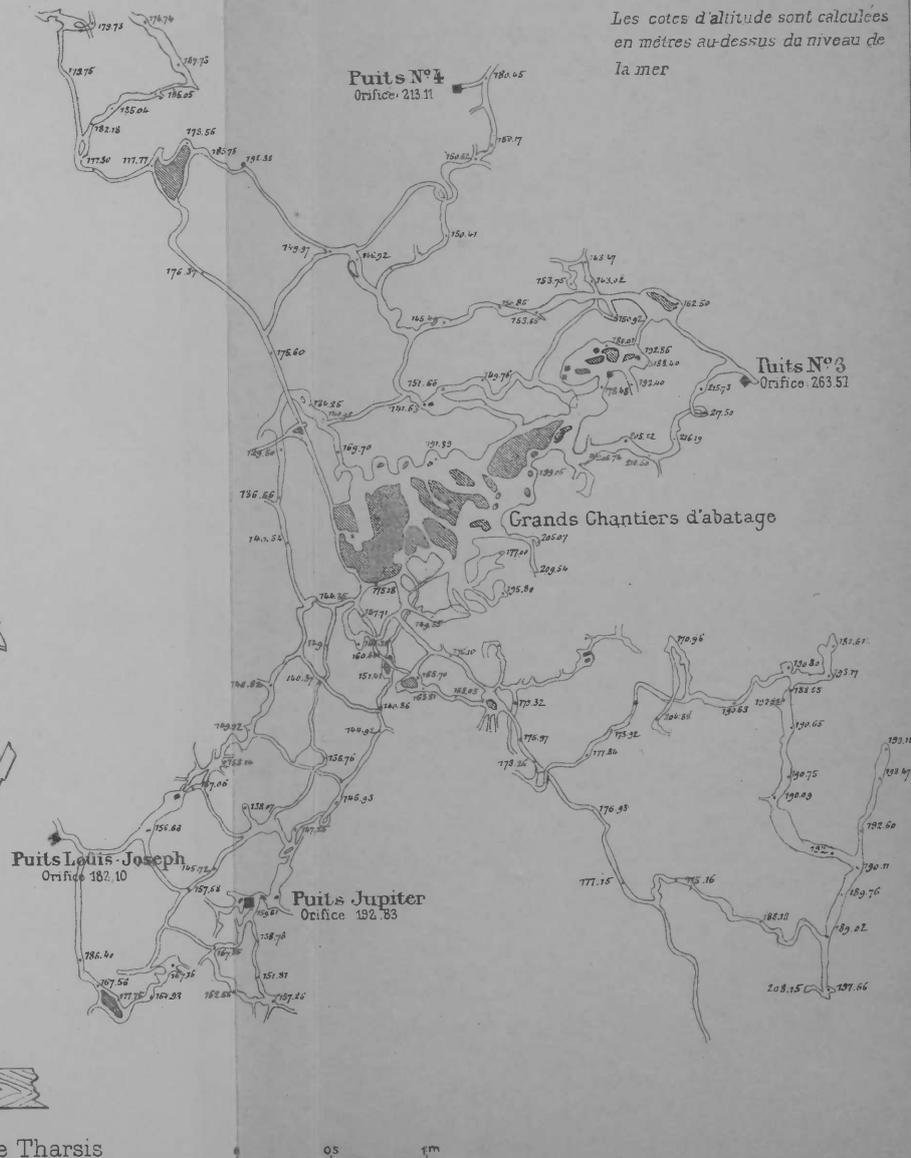


Fig. 6. — Roue romaine de Santo Domingo (Portugal)

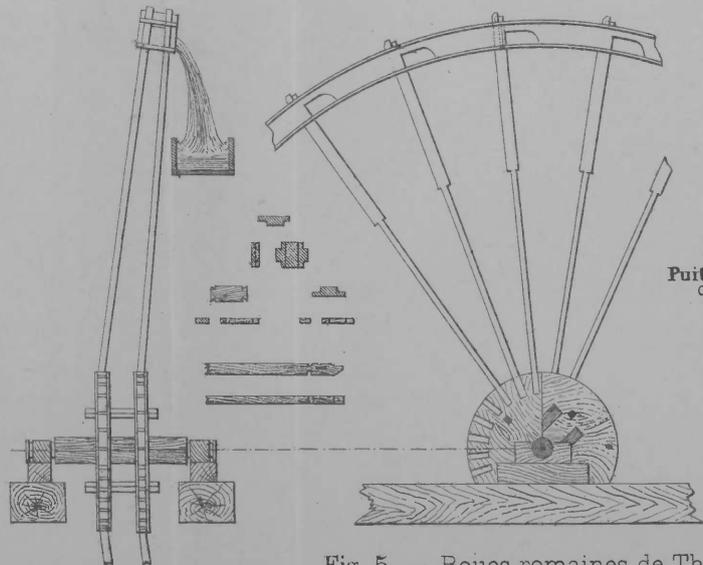
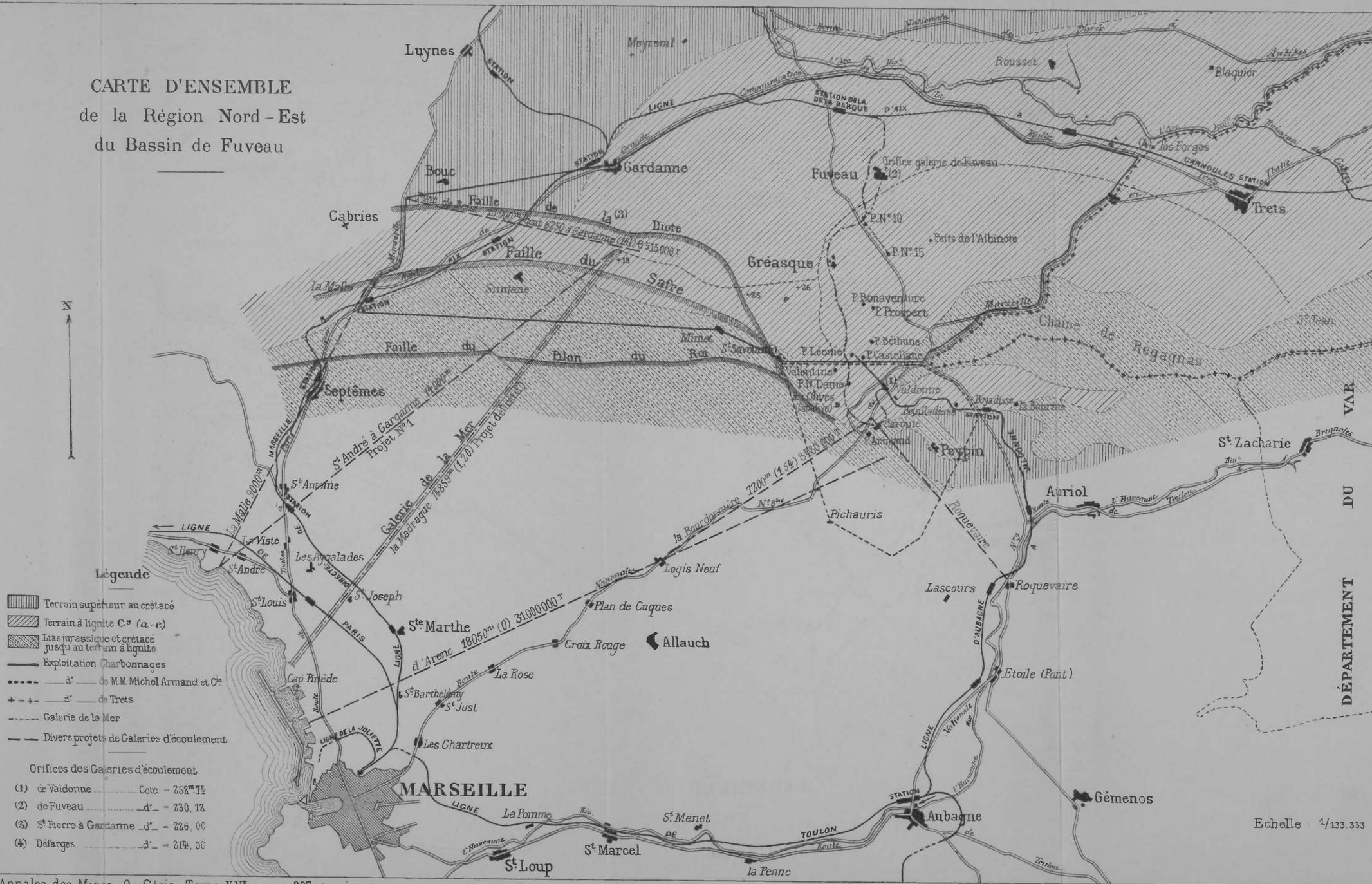


Fig. 5. — Roues romaines de Tharsis
Coupes verticales suivant deux plans perpendiculaires et détails

CARTE D'ENSEMBLE
de la Région Nord-Est
du Bassin de Fuveau



- Légende**
- Terrain supérieur au crétacé
 - Terrain à lignite C^a (a-e)
 - Lias jurassique et crétacé jusqu'au terrain à lignite
 - Exploitation Charbonnages
 - ... d' ... de M.M. Michel Armand et C^e
 - ... d' ... de Trets
 - Galerie de la Mer
 - Divers projets de Galeries d'écoulement
- Orifices des Galeries d'écoulement**
- (1) de Valdonne Cote - 252^m.74
 - (2) de Fuveau d' - 230.12
 - (3) St Pierre à Gardanne d' - 226.00
 - (4) Défarques d' - 214.00

Echelle : 1/133.333

GALERIE SOUTERRAINE DES MINES A MARSEILLE

Coupes Géologiques

Fig. 1. Coupe de M^rDieulafait (1880)
Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Marseille

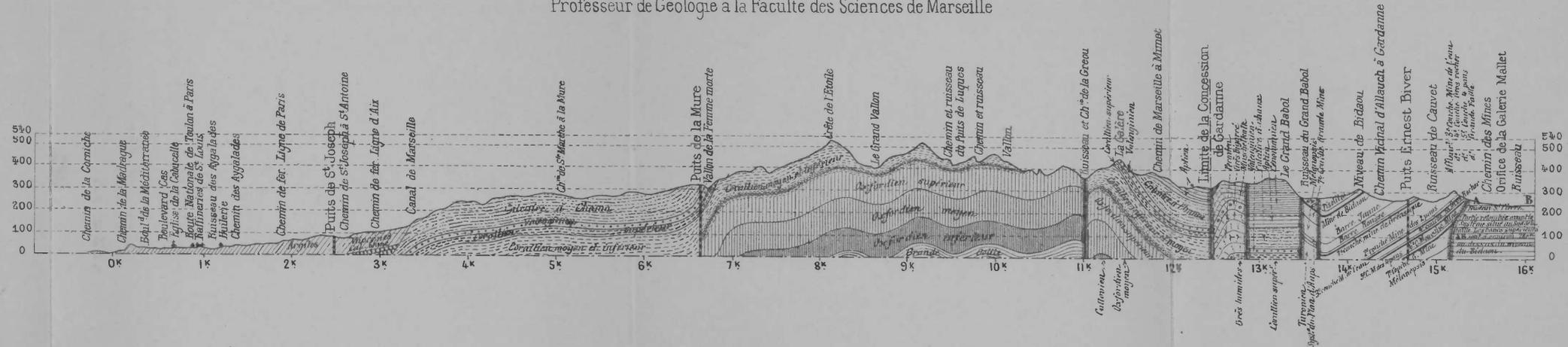


Fig. 2. Coupe résultant des travaux exécutés au 30 Juin 1899
et pour la partie inconnue, d'une étude de M^rBertrand, Ingénieur en Chef des Mines, Membre de l'Institut
Professeur de Géologie à l'École Nationale des Mines

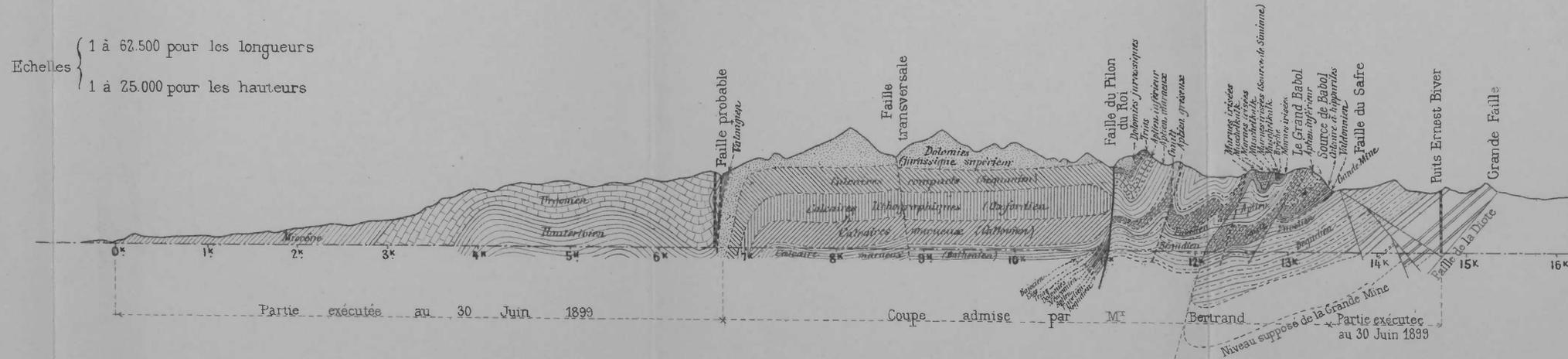
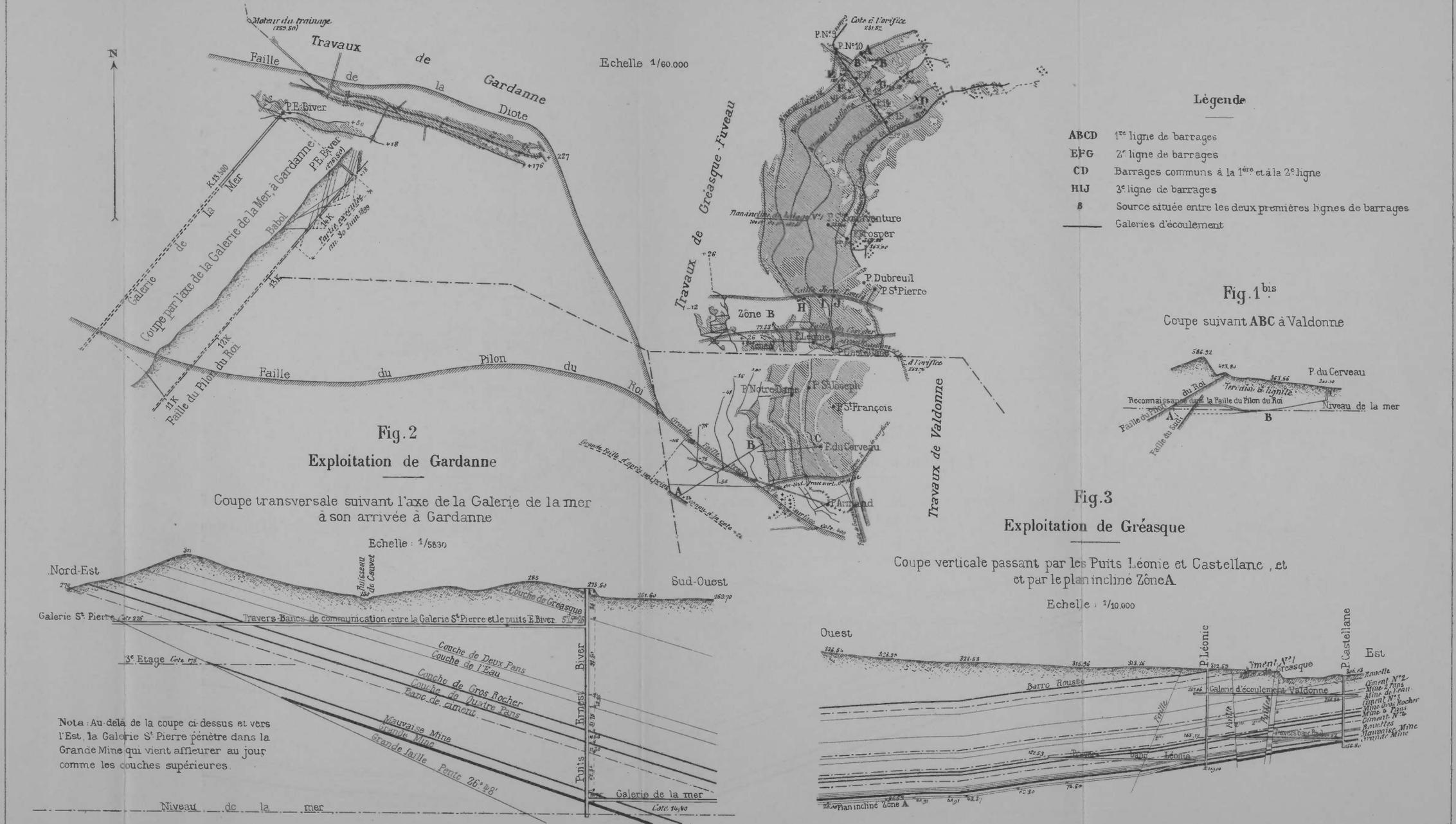


Fig. 1. — PLAN DES TRAVAUX DANS LA GRANDE-MINE, A GARDANNE, GRÉASQUE, FUYEAU ET A VALDONNÉ



Légende

- ABCD 1^{re} ligne de barrages
- EFG 2^e ligne de barrages
- CD Barrages communs à la 1^{re} et à la 2^e ligne
- HIJ 3^e ligne de barrages
- B Source située entre les deux premières lignes de barrages
- Galeries d'écoulement

Fig. 1 bis

Coupe suivant ABC à Valdonné

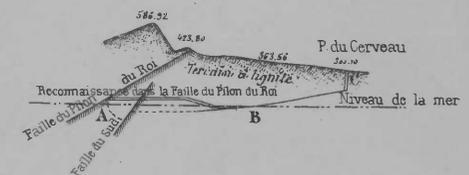


Fig. 3

Exploitation de Gréasque

Coupe verticale passant par les Puits Léonie et Castellane, et par le plan incliné Zône A

Echelle : 1/10.000

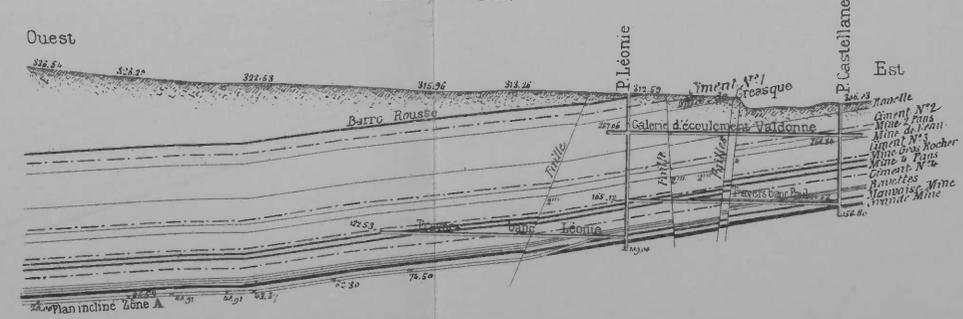
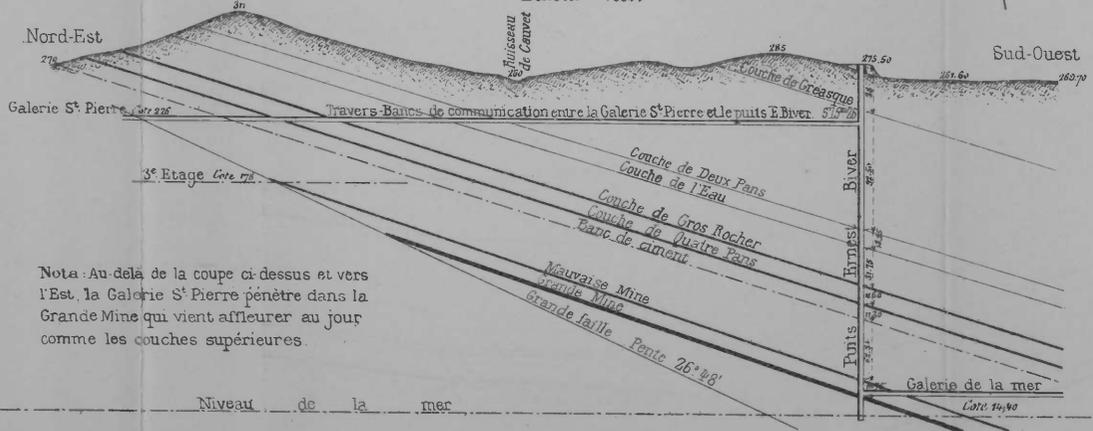


Fig. 2
Exploitation de Gardanne

Coupe transversale suivant l'axe de la Galerie de la mer à son arrivée à Gardanne

Echelle : 1/5830



Nota : Au delà de la coupe ci-dessus et vers l'Est, la Galerie S^t Pierre pénètre dans la Grande Mine qui vient affleurer au jour comme les couches supérieures.

Fig. 1. Plan

Echelle 1/6.000

▨ Terrains acquis de riverains Particuliers
▩ Terrain acquis à l'Etat

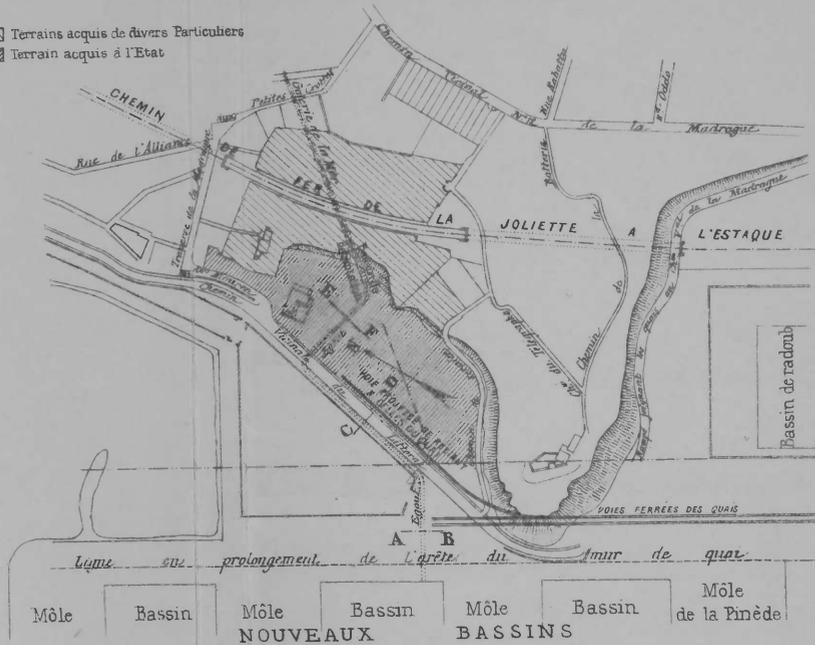


Fig. 2 à 6. Coupes transversales de l'égout

Echelle 1/300

Fig. 2. Coupe passant par CD du plan

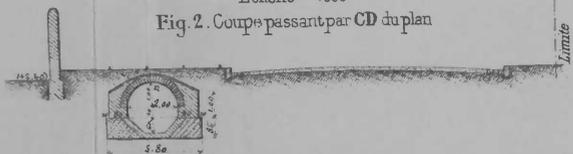


Fig. 3. Coupe passant par EF du plan

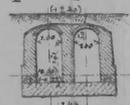


Fig. 4. Coupe passant par AB du plan

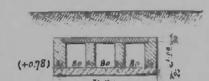


Fig. 6. Elevation de l'entrée de la Galerie et coupe en travers du bassin de décanation.

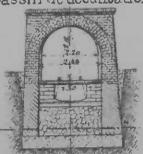


Fig. 5. Coupe longitudinale

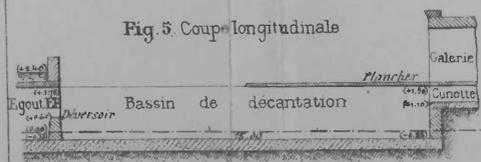


Fig. 7. Profil avec revêtement en maçonnerie de béton au mortier de ciment

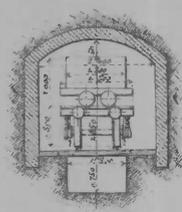


Fig. 8. Cuvelage en fonte

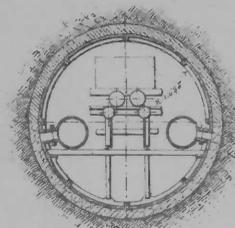


Fig. 9. Cuvelage en maçonnerie de béton au mortier de ciment

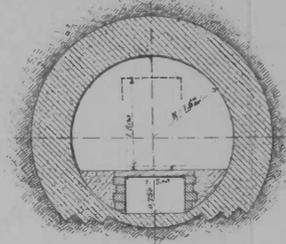


Fig. 10. Cuvelage partie en fonte partie en maçonnerie de béton au mortier de ciment

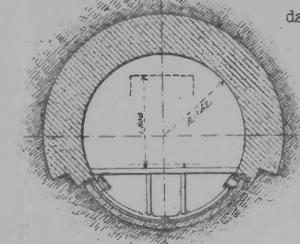


Fig. 11. Profil dans les parties au rocher solides

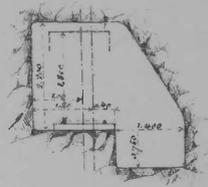


Fig. 7 à 11. Profils adoptés dans les calcaires secondaires

Echelle 1/150

Fig. 12. Dispositions des chantiers successifs dans les argiles miocènes

Profil en long Echelle 1/150

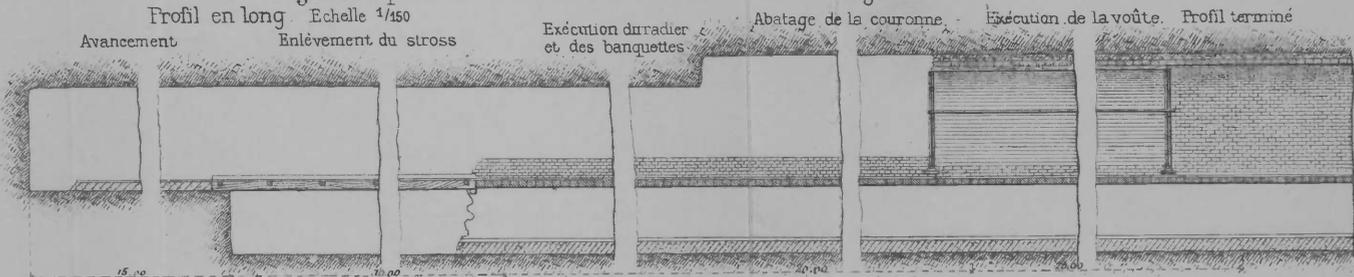


Fig. 13 à 18. Profils en travers (Echelle 1/150)

Fig. 13. Avancement

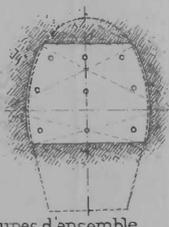


Fig. 14. Enlèvement du stross

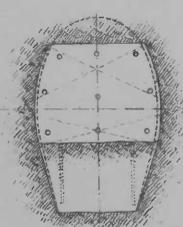


Fig. 15. Exécution du radier et des banquettes

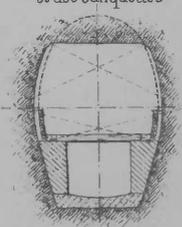


Fig. 16. Abatage de la couronne

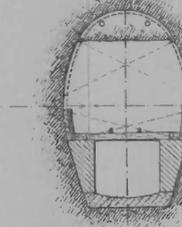


Fig. 17. Exécution de la voûte

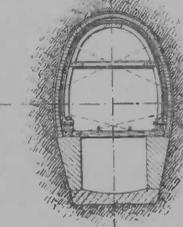


Fig. 18. Profil terminé

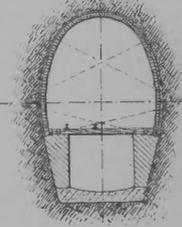


Fig. 19. Coupes d'ensemble du projet complet de Galeries

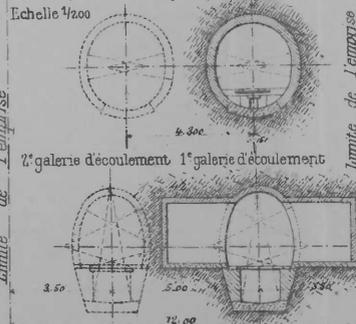


Fig. 20 et 21. Aérage des travaux d'avancement des galeries inférieure et supérieure entre le puits St Joseph et le puits de la Mure

Echelle 1/1000

Fig. 20. Coupe verticale

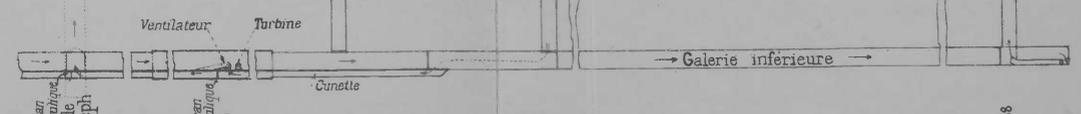
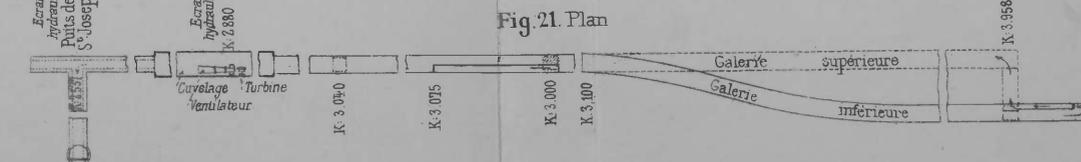


Fig. 21. Plan



TRAINAGE MÉCANIQUE PAR TREUILS A VAPEUR ET HYDRAULIQUE

Fig. 7 à 9. Installation d'un ventilateur Ser à l'entrée de la Galerie

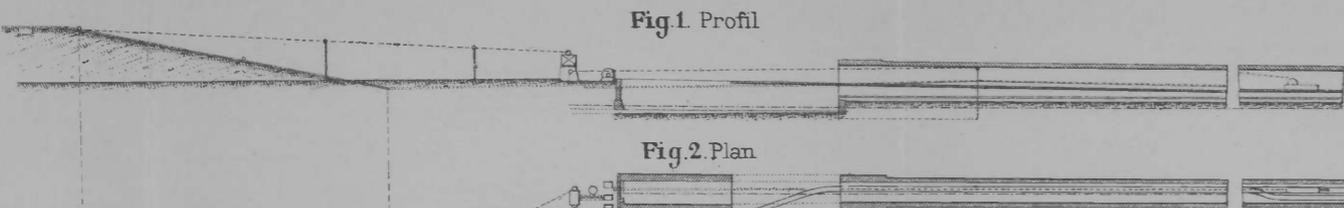


Fig. 1. Profil

Fig. 2. Plan

Fig. 3 et 4. Treuil à vapeur actionnant le trainage de l'intérieur de la Galerie et celui de la décharge du jour (1^{er} Système)

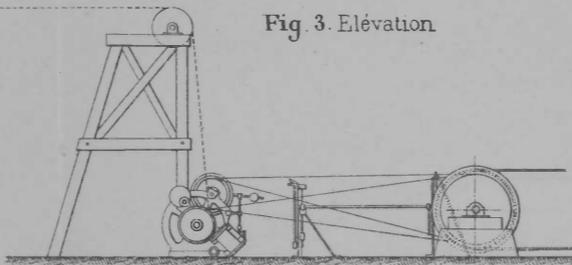


Fig. 3. Elévation

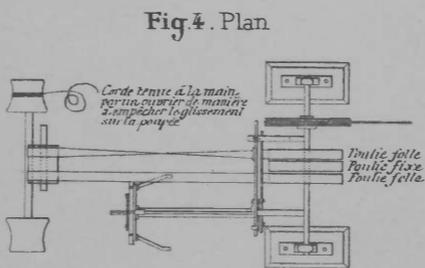


Fig. 4. Plan

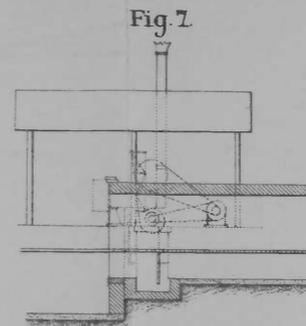


Fig. 7.

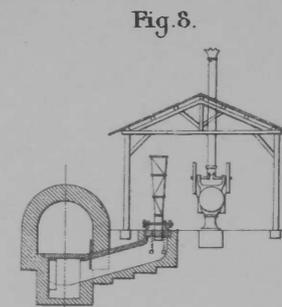


Fig. 8.

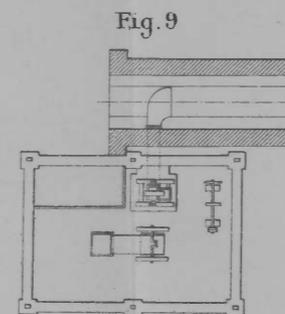


Fig. 9.

Echelles

Fig. 1 et 2	1/800
Fig. 3 à 6	1/100
Fig. 7 à 9	1/320
Fig. 10 à 12	1/100
Fig. 13	1/150
Fig. 14	1/50

Fig. 5 et 6. Poulie établie au sommet du plan incliné

Fig. 5. Coupe verticale



Fig. 6. Plan

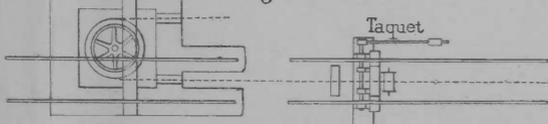


Fig. 10. Trainage de la décharge actionné par le treuil hydraulique de l'intérieur de la Galerie (2^e Système.)

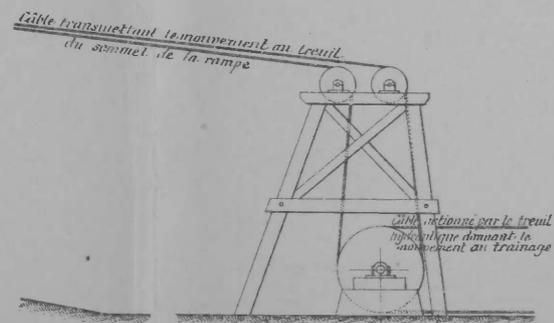


Fig. 13. Détail de l'installation des fils de la sonnerie électrique et des poulies et rouleaux pour support des brins du câble du trainage mécanique

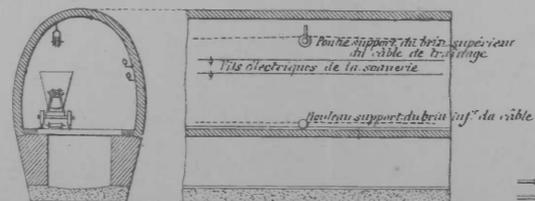


Fig. 14. Appareil de décrochage des bennes

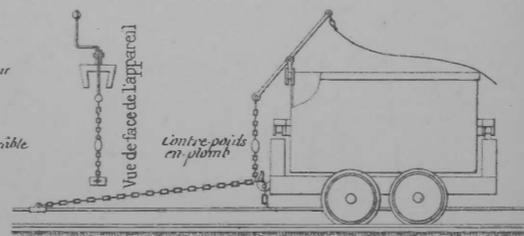


Fig. 11. Elévation

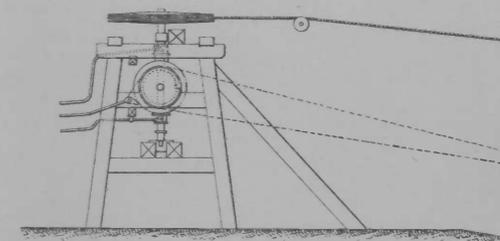


Fig. 12. Plan

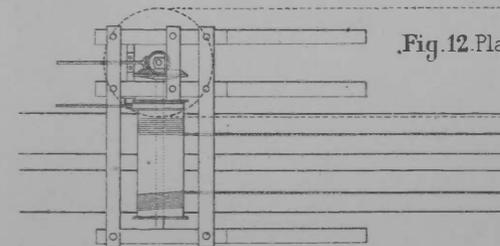


Fig.1. Cuvelages entre les cotes 2799,45; 2820,17; 2821,20; 2831,68; 2897,915; 2909,15
Echelle : 1/400

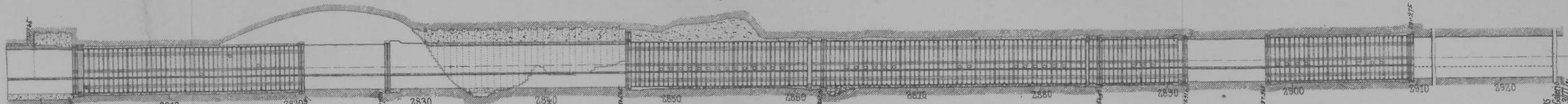


Fig.2. Coupe du terrain dans la partie cuvelée
Echelle 1/400

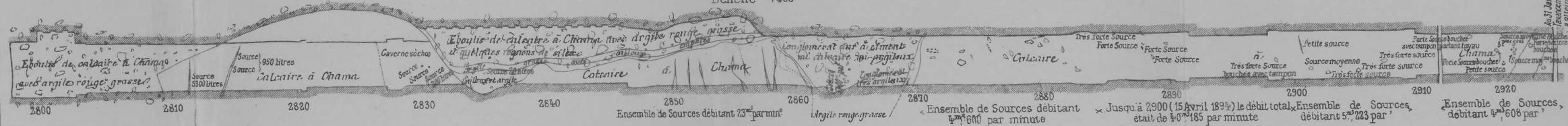


Fig.2 bis

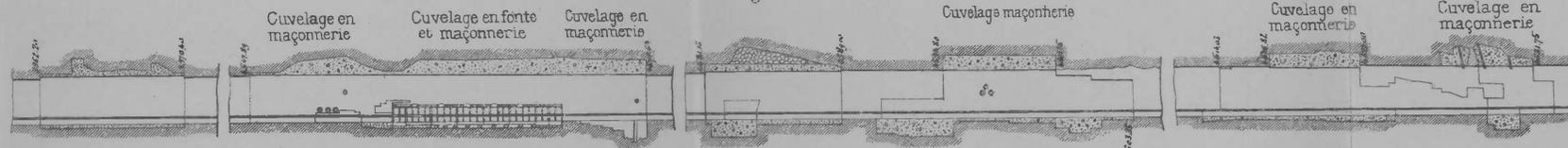


Fig.3. Coupe du terrain dans la partie cuvelée



Fig.5. Coupe longitudinale

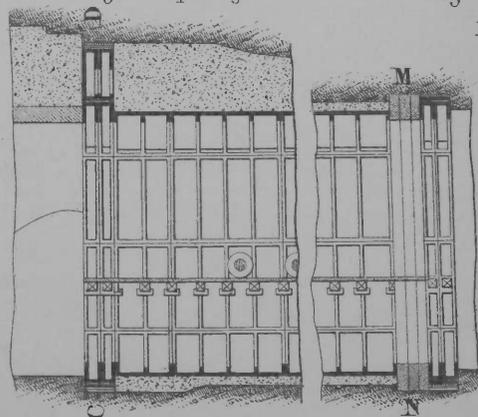
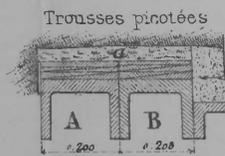


Fig.4 à 6. Cuvelage en fonte

Echelle des Fig. 4 et 5 (1/100)

Fig.6. (1/20)



Légende

Trousses picotées, Fig. 4 et 6
MN. Fermeture du cuvelage en bois

Fig.7 et 8. Chariot pour la mise en place des pièces supérieures du cuvelage

Echelle : 1/80

Fig.7.

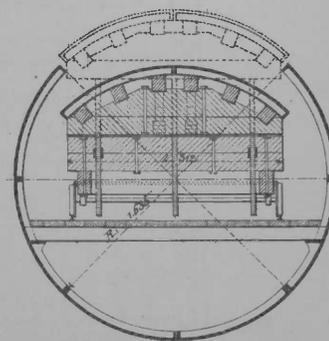
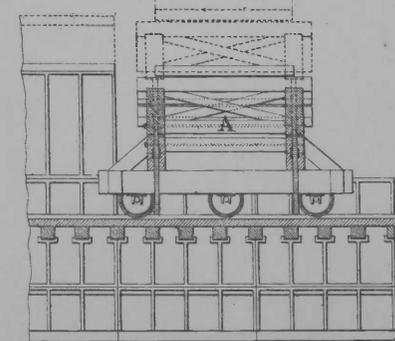


Fig.8



Nota: L'une des deux traverses A devra être posée en coulisseau de manière à pouvoir être facilement enlevée pour permettre l'accès dans le chariot.

Fig. 1 à 4.
Chariot affût à 3 perforatrices

Fig. 1

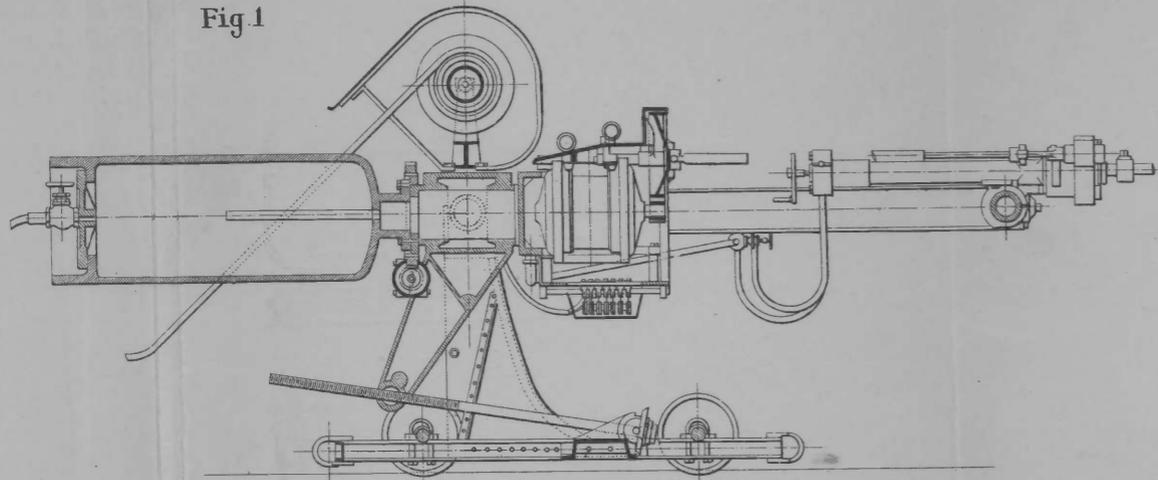


Fig. 2

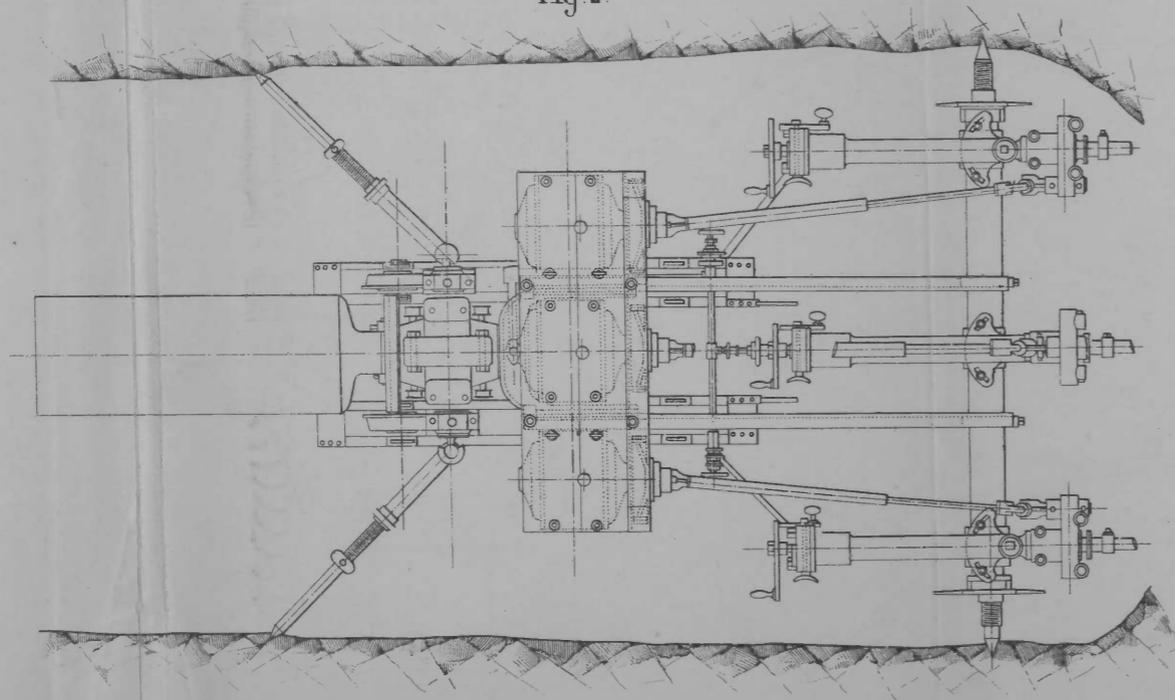


Fig. 3

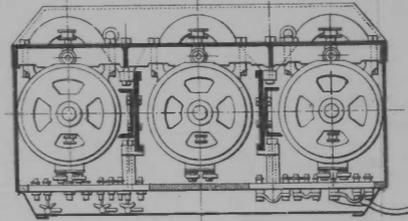


Fig. 4

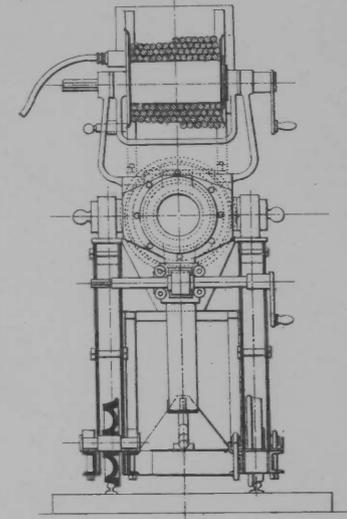


Fig. 5. Turbine

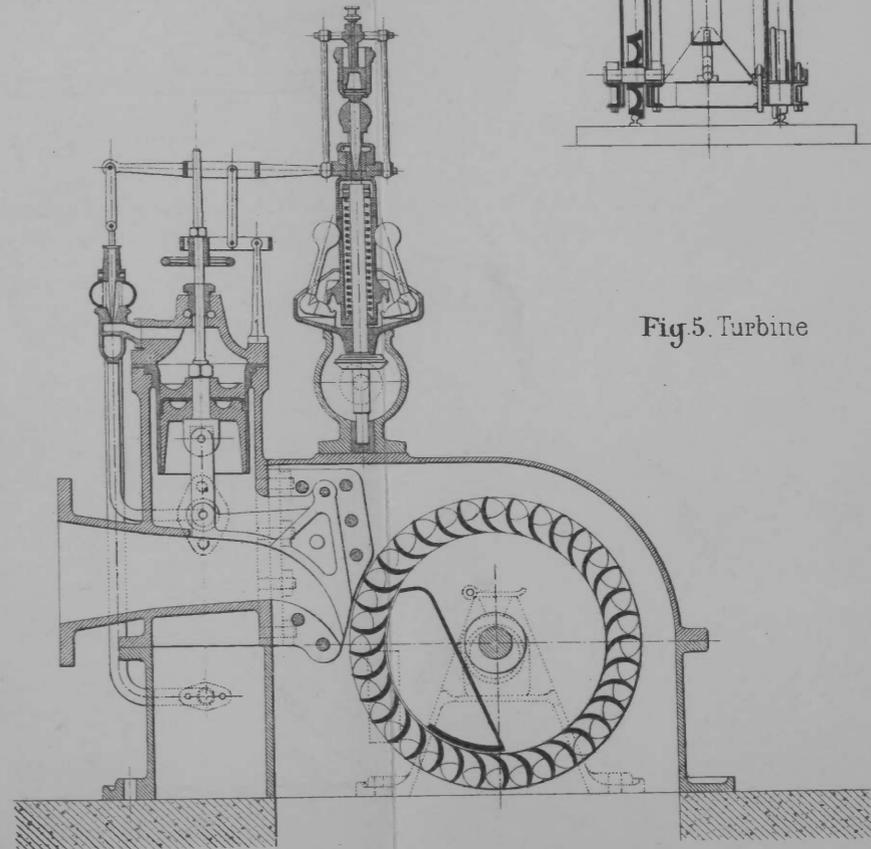


Fig. 1. Plan général des installations, dans le cuvelage de la galerie, pour la perforation électrique, la ventilation et la traction mécanique

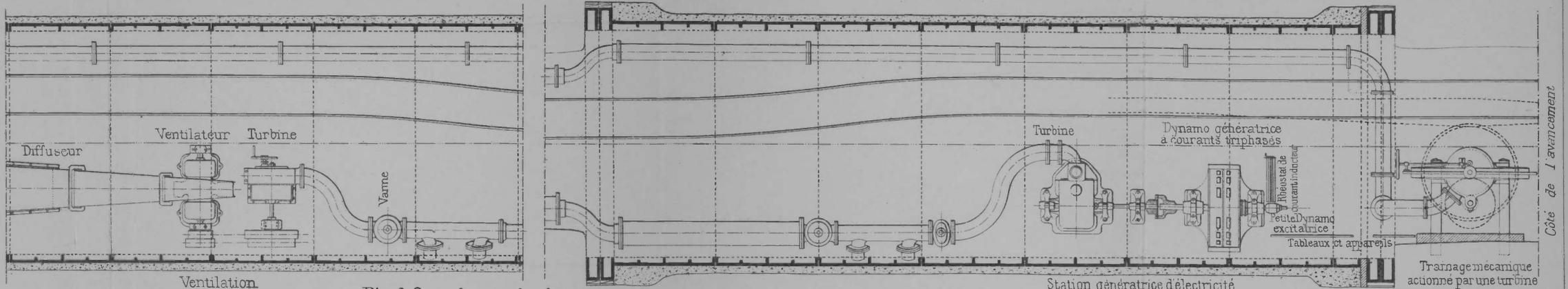


Fig. 2. Coupe transversale

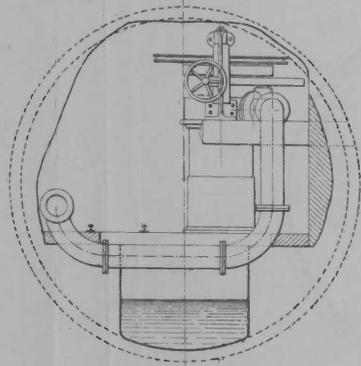


Fig. 6. Coupe transversale

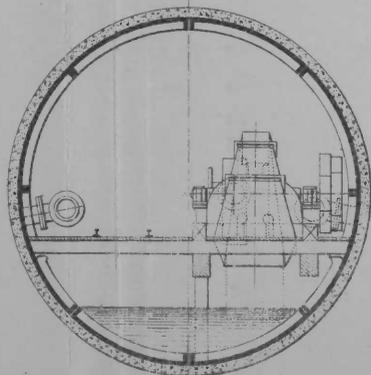


Fig. 3. Coupe longitudinale

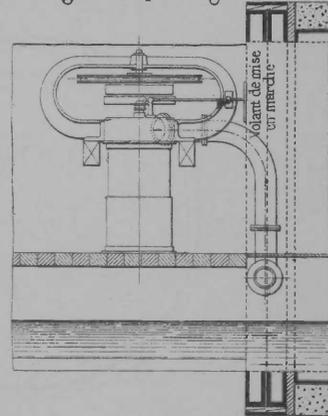


Fig. 7. Coupe longitudinale

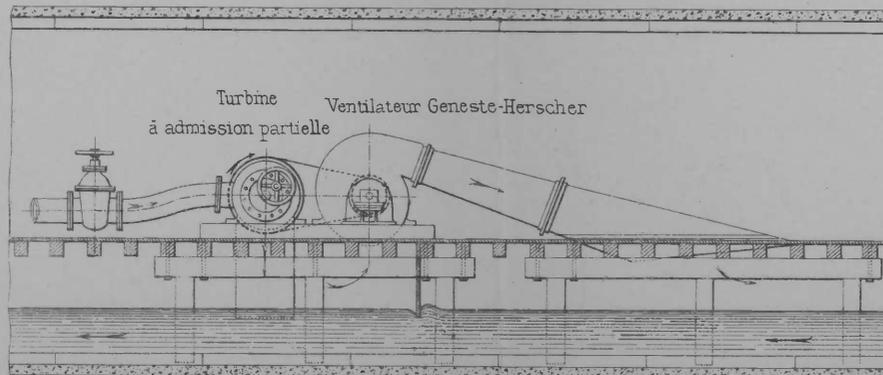


Fig. 2 et 3. Trainage mécanique actionné par une turbine

Pression de l'eau motrice : 7 à 9 kilos
 Diamètre de la poulie d'entraînement du câble - 1^m300
 Nombre de tours de la poulie - 42, à la minute
 Vitesse du câble - 27^m86 à la seconde
 Puissance du treuil : Remorquage d'un train formé de 12 wagonnets pesant l'un 1100 K, soit 13.200 K sur une pente de 1/2^m par mètre.

Fig. 4. Coupe transversale

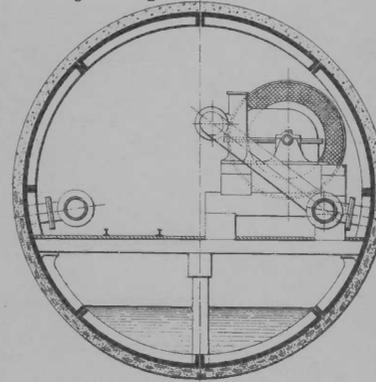


Fig. 4 et 5. Station génératrice d'électricité

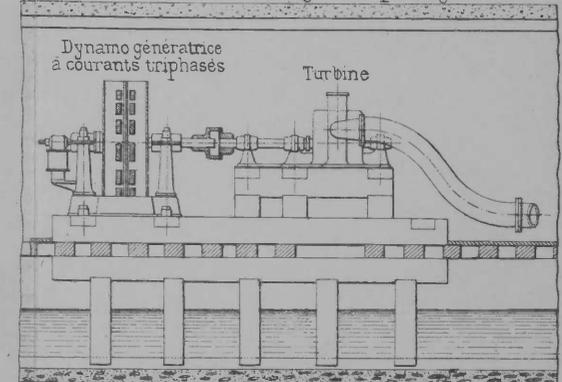


Fig. 6 et 7. Ventilation

Diamètre des roues à ailettes du ventilateur - 0^m550
 Nombre de tours par seconde : { au ventilateur, 1200 et 1600
 à la turbine 800

Débit d'air et consommation d'eau : { 4^m000 d'air par seconde, avec un travail utile de 7 chevaux, sous une dépression de 130^{mm}, le ventilateur marchant à une vitesse de 1200 tours et la turbine de 800 tours, avec une consommation d'eau, sous pression de 7 à 8 Kilos, de 18 litres par seconde
 5^m300 d'air par seconde, avec un travail utile de 16^{ch}2 sous une dépression de 230^{mm}, le ventilateur marchant à une vitesse de 1600 tours et la turbine de 800 tours, avec une consommation d'eau, sous pression de 7 à 8 Kilos, de 42 litres par seconde

Echelle des Fig. : 1/300

Fig. 1 et 2. Locomotive électrique de wagonnet pour terrassement. Echelle 1/15

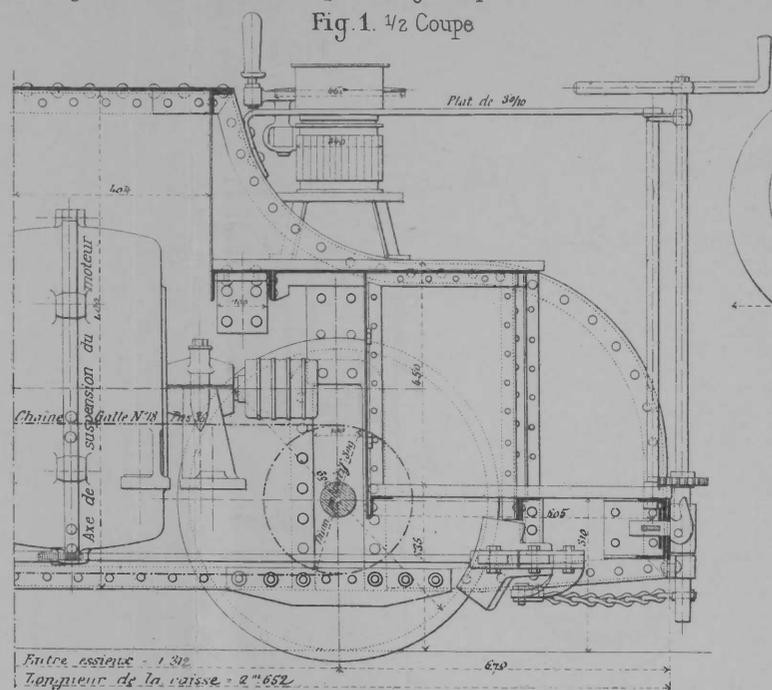


Fig. 2. 1/2 Plan

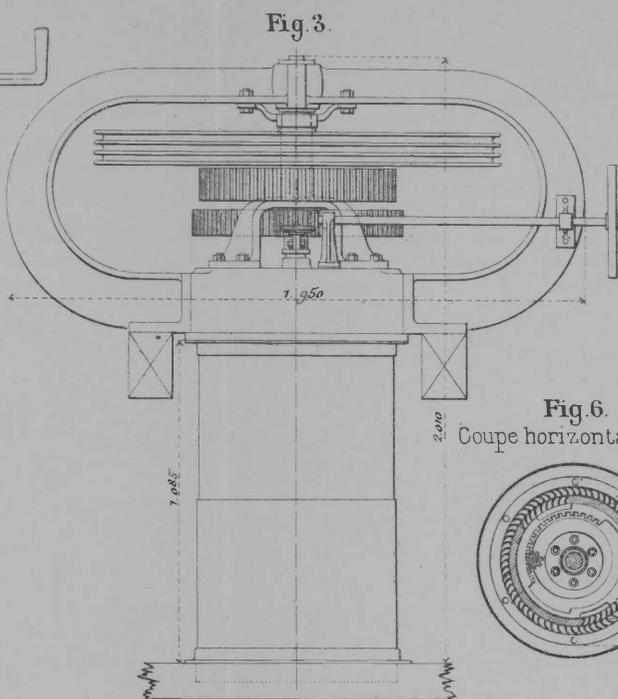
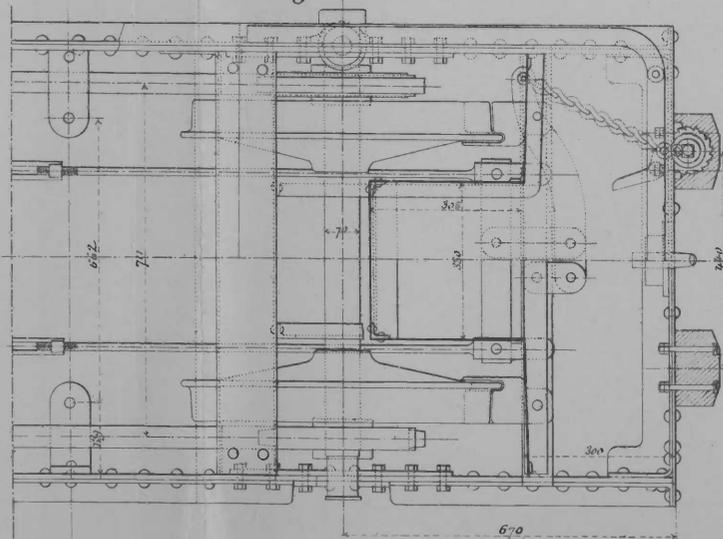


Fig. 3.

Fig. 6. Coupe horizontale CD

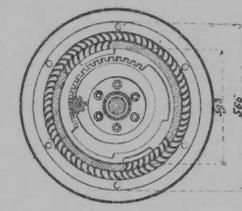


Fig. 3 à 6. Treuil hydraulique. Echelle 1/25

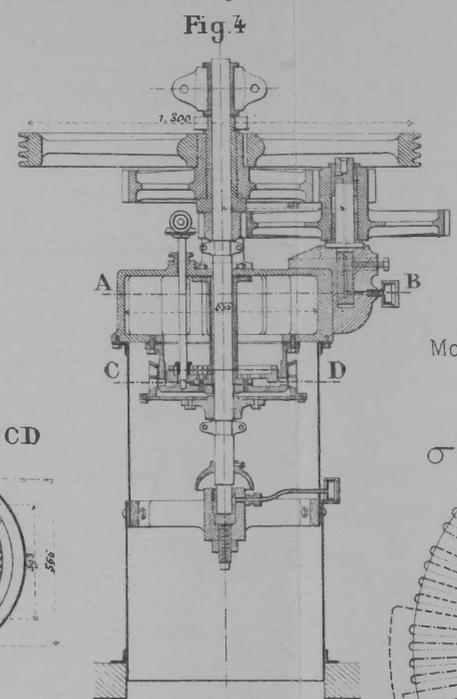


Fig. 4

Fig. 5. Coupe horizontale AB

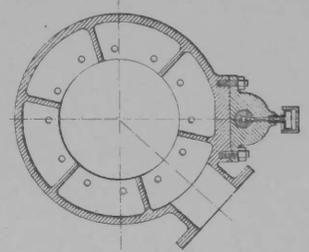


Fig. 7. Moteur-Locomotive. Schéma de l'induit (Partie mobile)

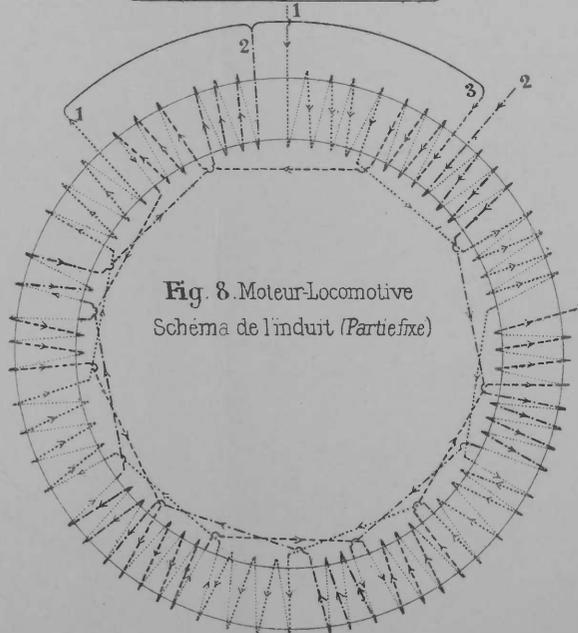
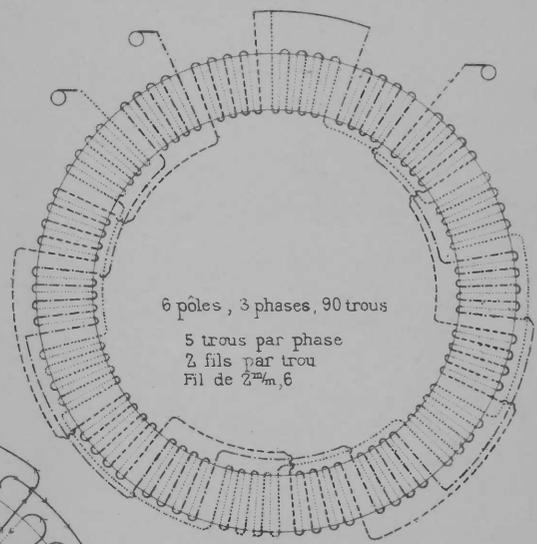


Fig. 8. Moteur-Locomotive. Schéma de l'induit (Partie fixe)

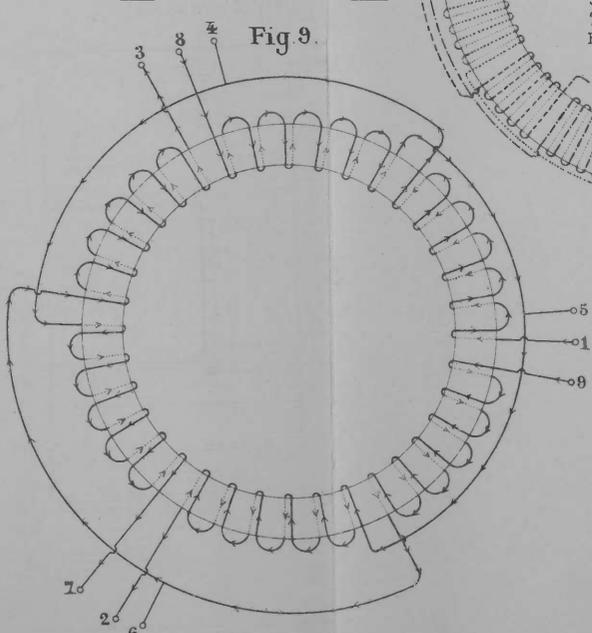


Fig. 9.

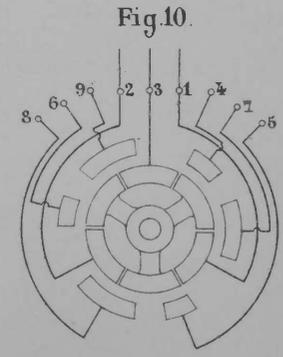


Fig. 10.

Fig. 1 et 2. Exécution avec interrupteur et coupe circuits montés sur le bâti

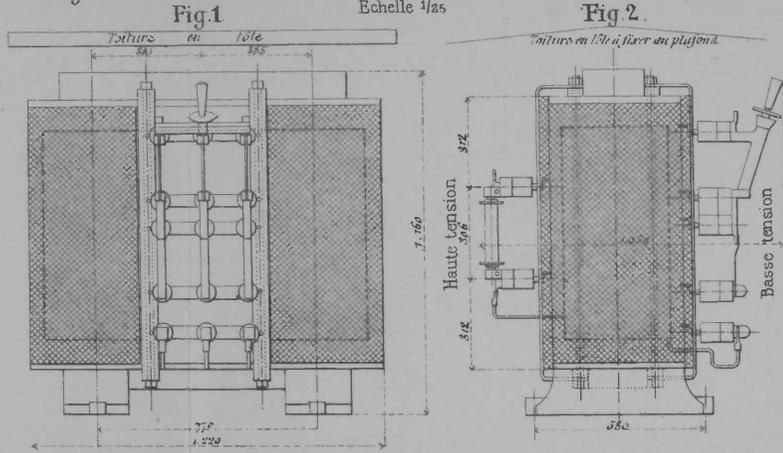


Fig. 3. Boîte de jonction pour câbles à 3 conducteurs N° 24

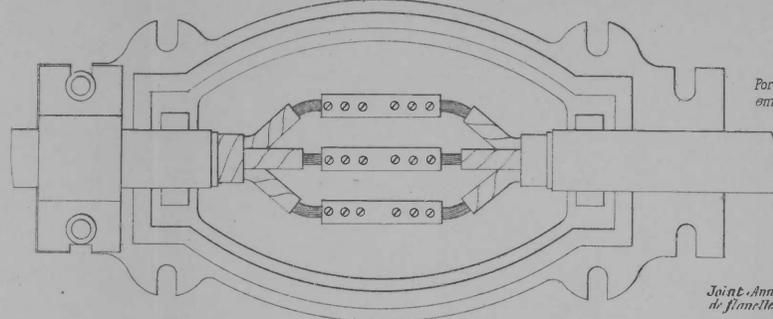


Fig. 4 à 6. Projet d'un barrage à la Galerie de la Mer Cote 18. Hauteur d'eau - 400^m

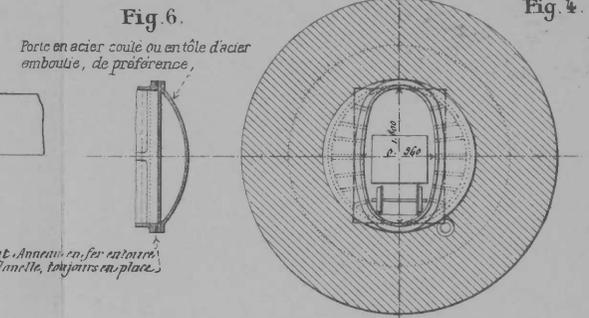


Fig. 8. Projet de barrages au fond du Puits Ernest Biver

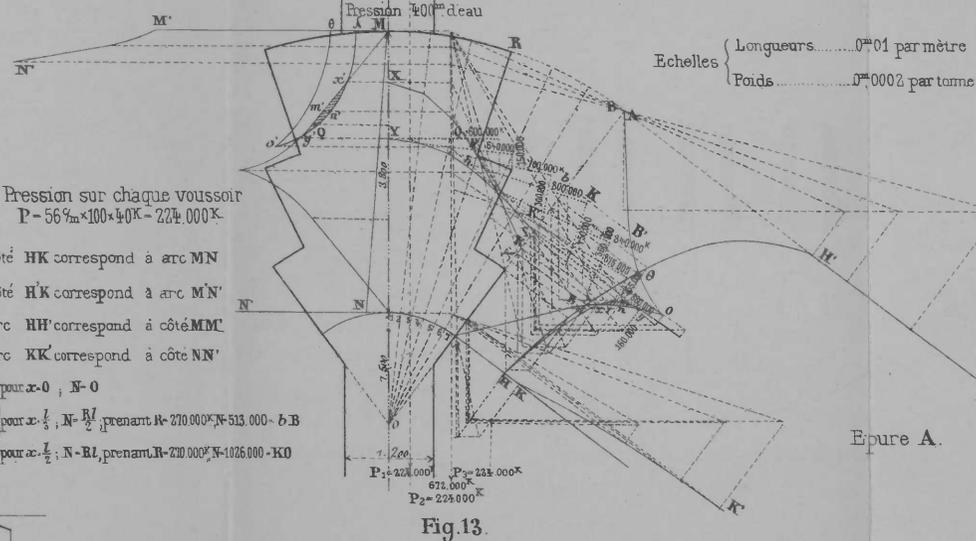


Fig. 7. Boîte d'extrémité pour câble à 3 conducteurs perdus pour une tension de 4000 volts alternatif. Modèle horizontal

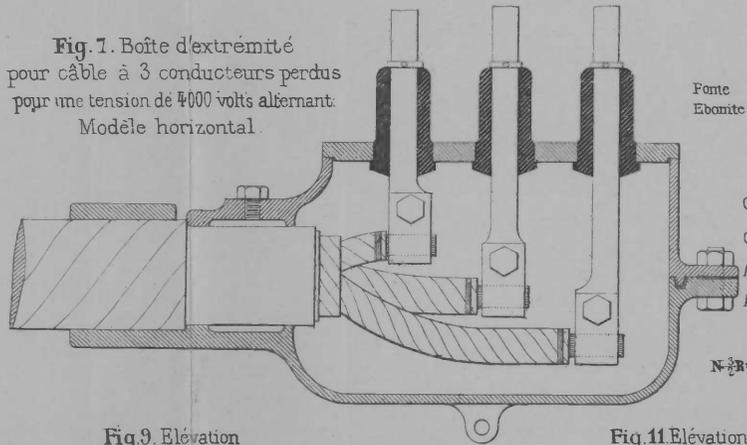


Fig. 9. Elévation

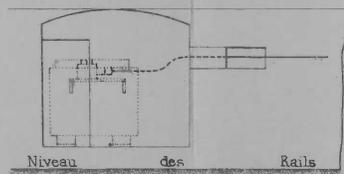


Fig. 11. Elévation

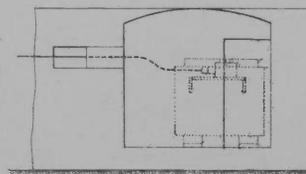


Fig. 10. Plan

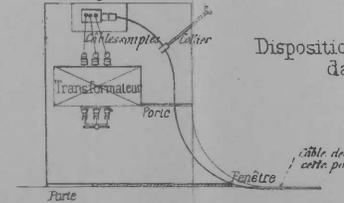


Fig. 9 à 12. Disposition des transformateurs dans la galerie
 Echelle 1/100

Fig. 12. Plan

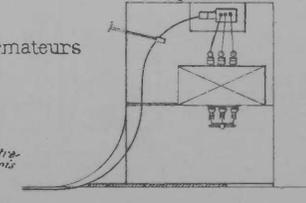
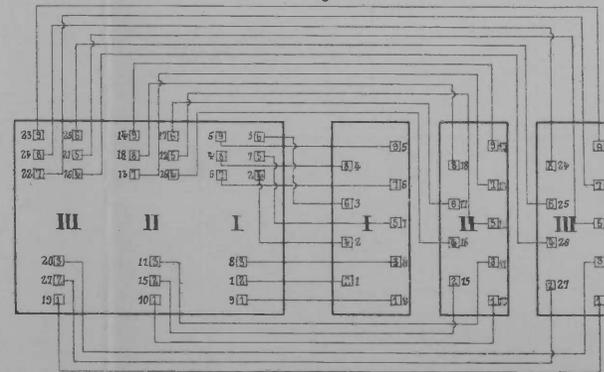


Fig. 13. Tableaux de distribution sur les moteurs des perforatrices à l'affût



Distribution sur les moteurs par numéros composés de toutes les prise de courant sur le tableau avec numéros identiques sur le moteur.

Les Numéros 1 à 27 portés à côté des petits carrés sont les numéros d'Orlikon.

Les Numéros 1 à 7 portés dans les petits carrés sont ceux se rapportant à tous les moteurs sans distinction.

Chaque fil porte un numéro correspondant, côté de 1 à 9.

GRAPHIQUE DE CHARGES

DE LA LOCOMOTIVE-TENDER A 3 ESSIEUX ACCOUPLES
DES CHEMINS DE FER CORSES

Application de la formule de M. LEDOUX

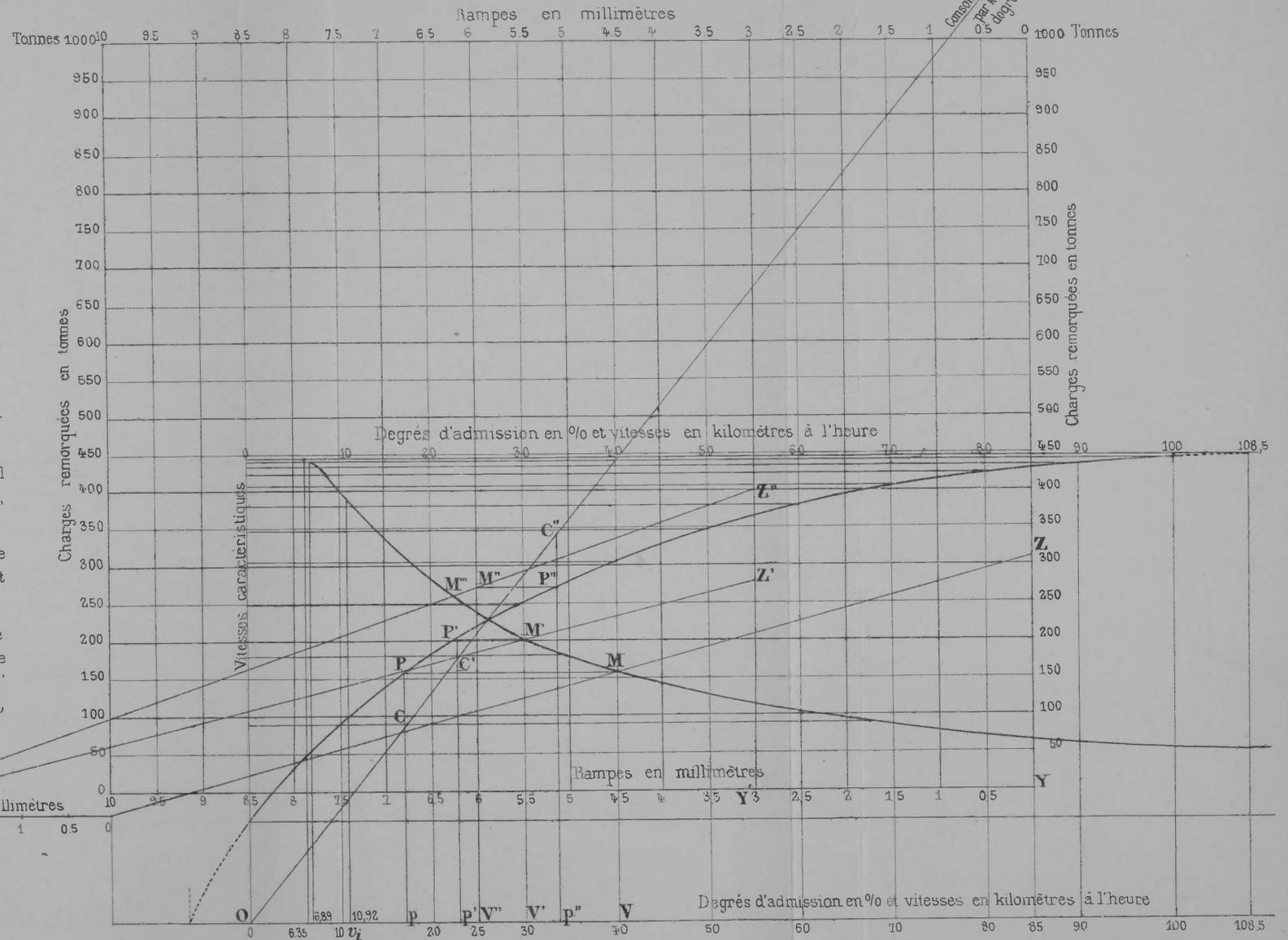
Échelles :

Des degrés d'admission en % }
Des vitesses en kilomètres à l'heure } 0,0015 par unité.
Des vitesses caractéristiques }
Des consommations de vapeur par kilomètre pour }
chaque degré d'admission } 0,0005 par kilogr.

En palier, à la vitesse OV (40^{km}); la machine remorque, à travail complet, une charge YZ (307^t), avec une admission Op ($17,2\%$), et en consommant pC (63^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

En rampe de $3^{m/m}$, à la vitesse OV' (30^{km}), elle remorque une charge $Y'Z'$ (277^t), avec une admission Op' (23%), et en consommant $p'C'$ (85^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

Pour remorquer une charge de 400 tonnes, par exemple, en rampe de $3^{m/m}$, à la vitesse OV'' (25^{km}), le degré d'admission devrait être Op'' ($33,7\%$), et la consommation kilométrique de vapeur de $p''C''$ (124^{kg}), supérieure, dans l'espèce, à la production de la chaudière, M'' étant au-dessus de M''' .



GRAPHIQUE DE CHARGES

DE LA LOCOMOTIVE TENDER A 3 ESSIEUX ACCOULÉS
DES CHEMINS DE FER CORSES

Application de la formule de PONCELET

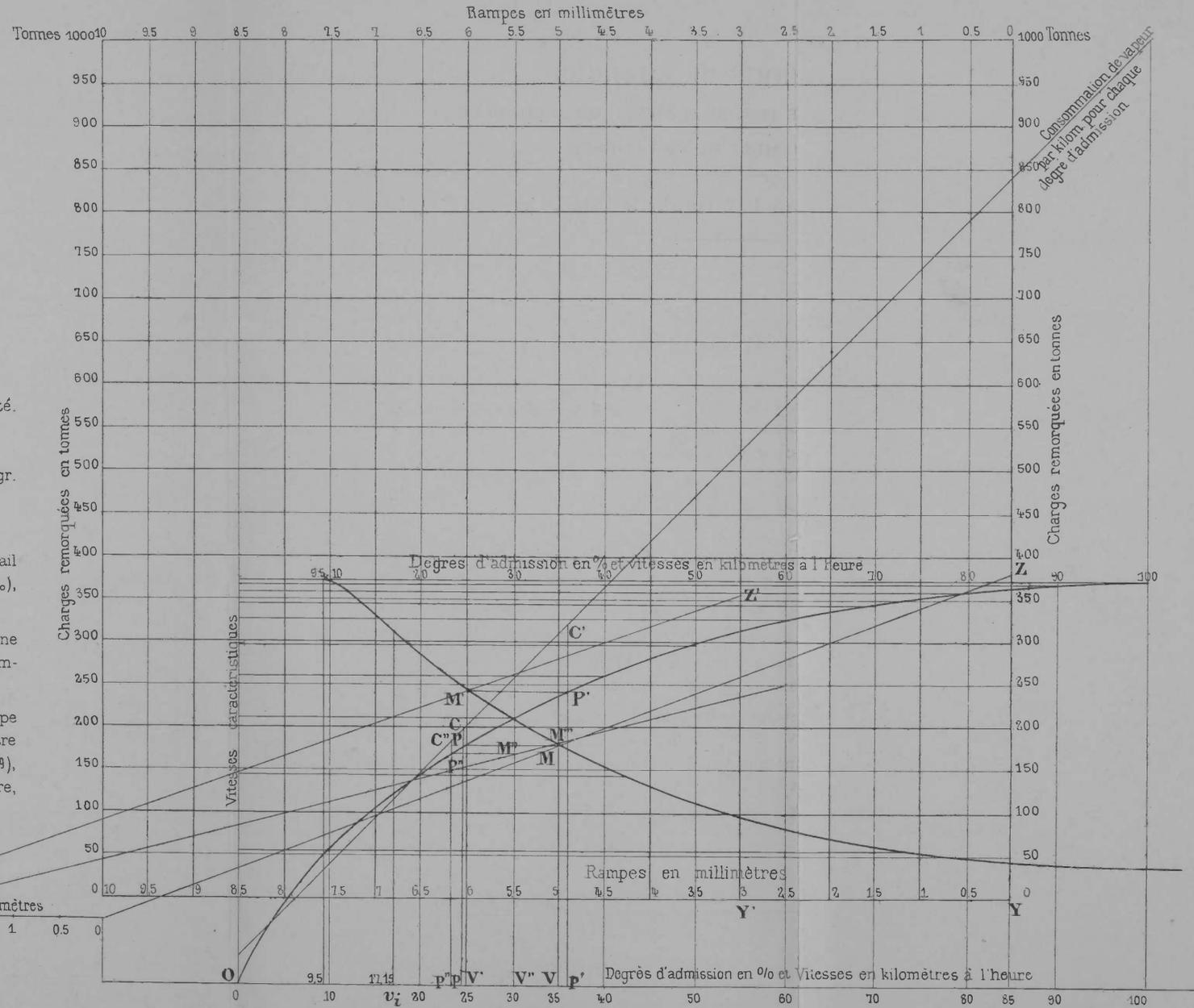
Echelles :

Des degrés d'admission en % }
Des vitesses, en kilomètres à l'heure } 0,0015 par unité.
Des vitesses caractéristiques }
Des consommations de vapeur par kilomètre pour }
chaque degré d'admission } 0,0005 par kilogr.

En palier, à la vitesse O V (35^{km}), la machine remorque, à travail complet, une charge Y Z (383^t), avec une admission O p (24,5 %), et en consommant p C (83^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

En rampe de 3^m/m, à la vitesse O V' (25^{km}), elle remorque une charge Y' Z' (355^t), avec une admission O p' (35,76 %), et en consommant p' C' (115^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

Pour remorquer une charge de 250 tonnes, par exemple, en rampe de 2^m/m 5, à la vitesse O V'' (30^{km}), le degré d'admission devrait être O p'' (23,1 %), et la consommation kilométrique de p'' C'' (78^{kg}), inférieure, dans l'espèce, à la puissance de production de la chaudière, M'' étant au-dessous de M'''.



GRAPHIQUE DE CHARGES
DE LA LOCOMOTIVE TENDER A 3 ESSIEUX ACCOULÉS
DES CHEMINS DE FER CORSES
 Application de la solution algébrique

Échelles :

Des degrés de détente et d'admission en %..... }
 Des vitesses, en kilomètres à l'heure..... } 0,001 par unité.
 Des vitesses caractéristiques..... }
 Des consommations de vapeur par kilomètre pour }
 chaque degré d'admission..... } 0,0005 par kilogr.

En palier, à la vitesse O V (40^{km}), la machine remorque, à travail complet, une charge Y Z (300^t), avec une admission O' p (21,4 %), et en consommant p C (73^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

En rampe de 2^{m/m}, à la vitesse O V' (25^{km}), elle remorque une charge Y' Z' (380^t), avec une admission O' p' (36,2 %) ou une détente O p' (63,8 %) et en consommant p' C' (116^{kg}) kilogrammes de vapeur par kilomètre.

Pour remorquer une charge de 250 tonnes en rampe de 5^{m/m}, par exemple, à la vitesse O V'' (20^{km}), le degré d'admission devrait être O' p'' (30,2 %), et la consommation kilométrique p' C'' (99^{kg}), inférieure, dans l'espèce, à la puissance de production de la chaudière, M'' étant au-dessous de M''.

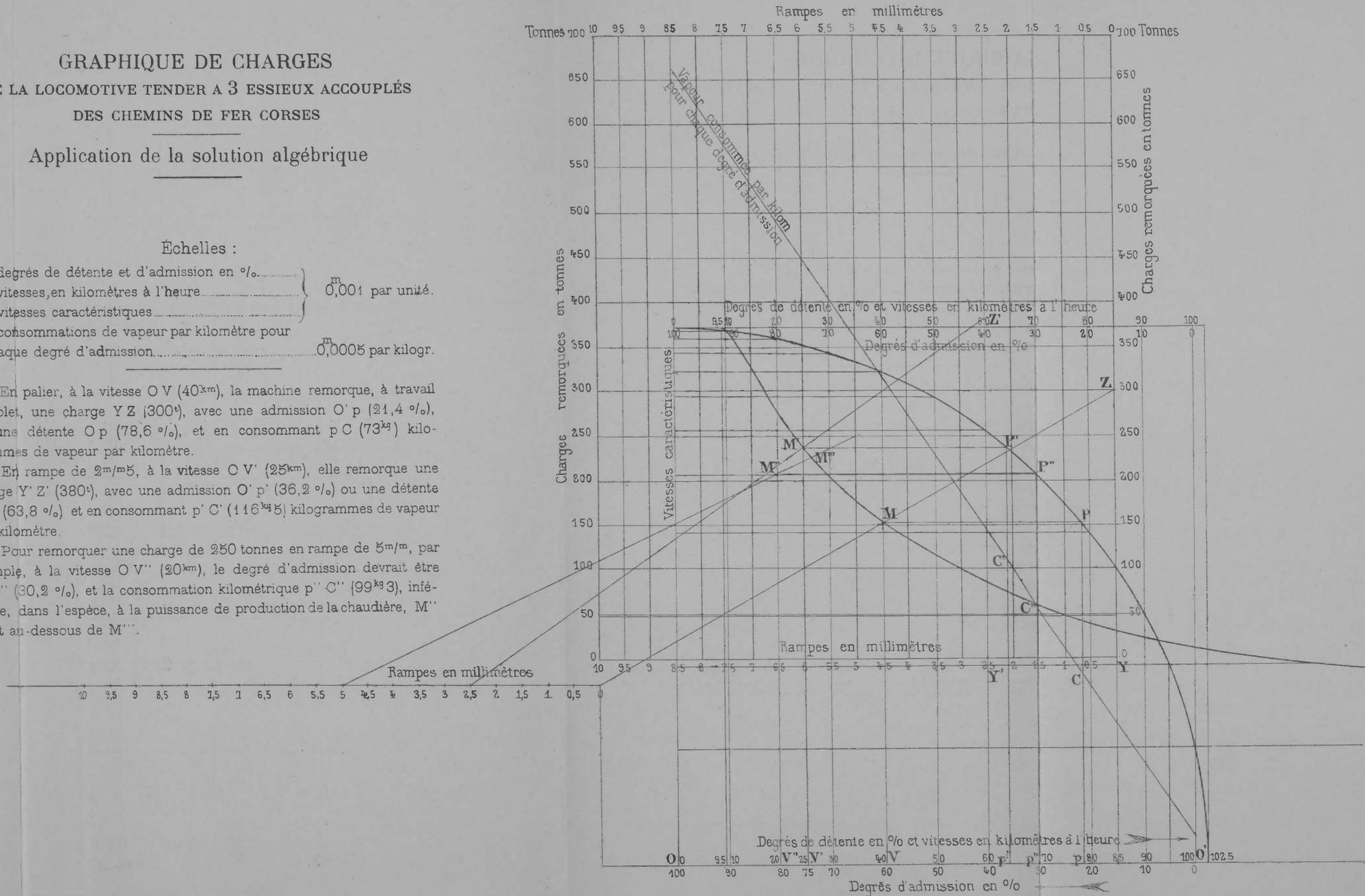


Fig.1 à 3. Explosion d'une valve de prise de vapeur survenue le 5 Janvier 1898

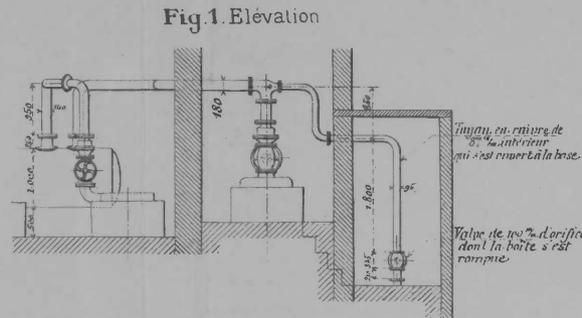


Fig. 1. Elévation

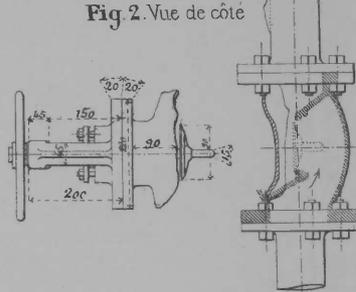


Fig. 2. Vue de côté

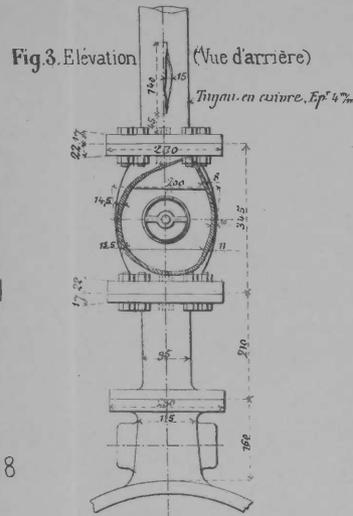


Fig. 3. Elévation (Vue d'arrière)

Fig. 6 et 7. Accident du 12 Février 1898

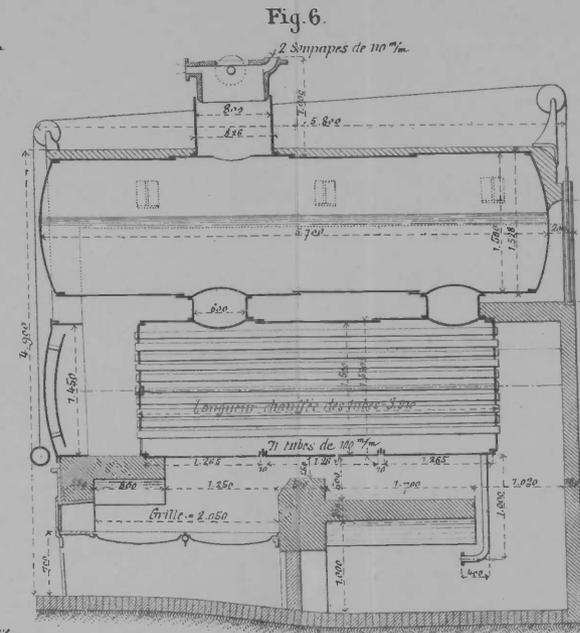


Fig. 6. 2 Soupapes de 100 mm

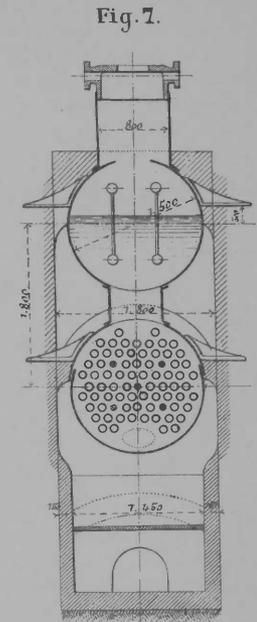


Fig. 7.

Fig. 4 et 5. Explosion de la chaudière des treuils d'un trois-mâts voilier

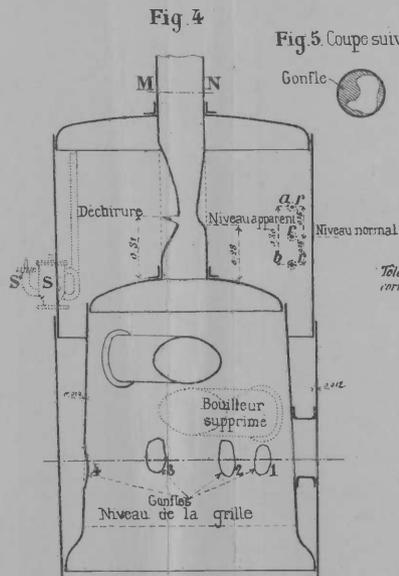


Fig. 4

Fig. 5. Coupe suiv. MN

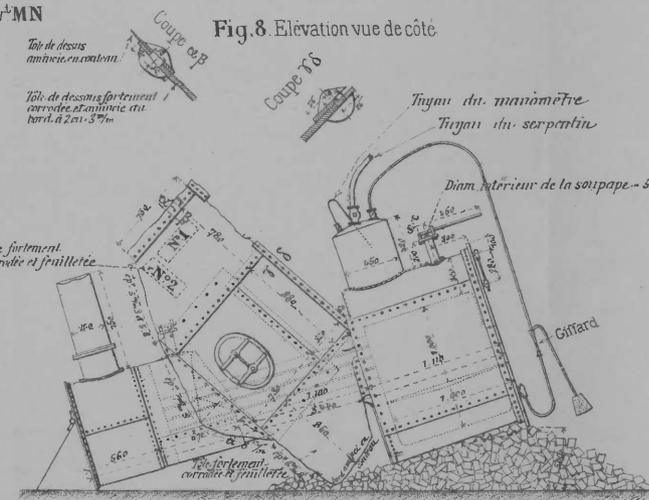


Fig. 8 et 9. Accident du 24 Février 1898

Fig. 8 et 9.

Fig. 8. Elévation vue de côté

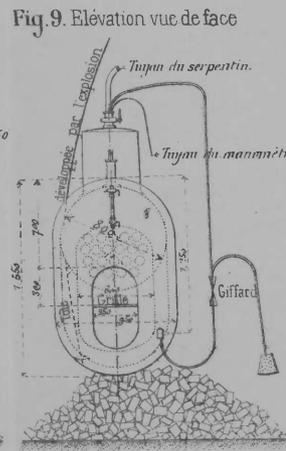


Fig. 9. Elévation vue de face

Fig. 10 et 11. Accident du 8 Mars 1898

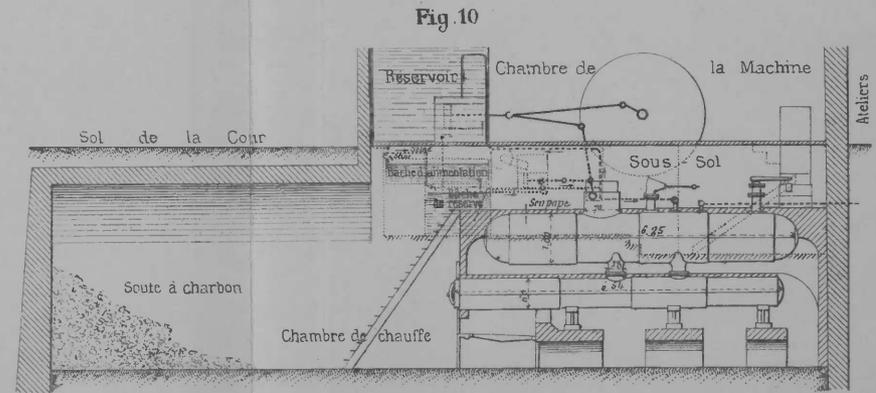


Fig. 10

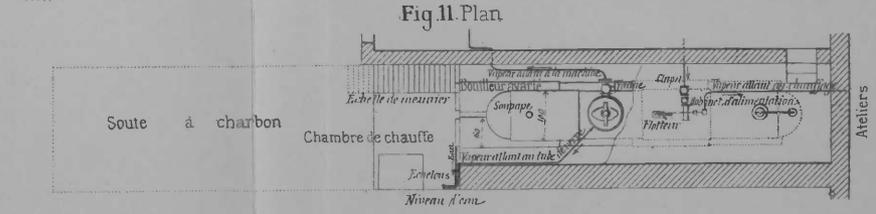


Fig. 11. Plan

Fig. 14 à 16. Explosion d'un générateur, le 22 Mars 1898.

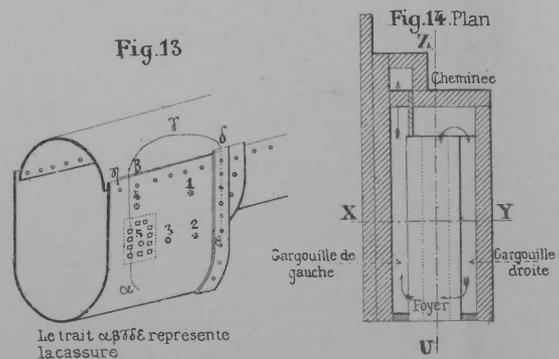


Fig. 14. Plan

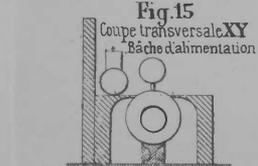


Fig. 15. Coupe transversale XY Bâche d'alimentation

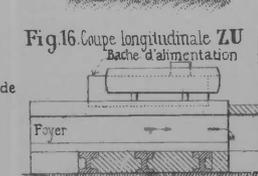


Fig. 16. Coupe longitudinale ZU Bâche d'alimentation

Fig. 12 et 13. Explosion de chaudière du 15 Mars 1898.

Fig. 12

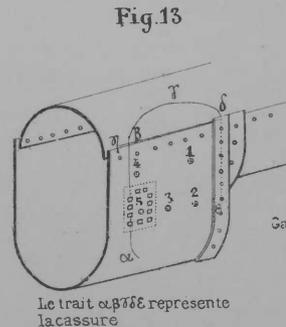
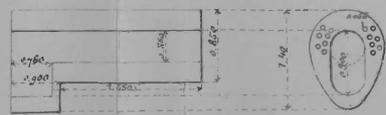


Fig. 13

Le trait αβγδε représente la cassure

Fig. 1 et 2. Accident du 19 Avril 1898

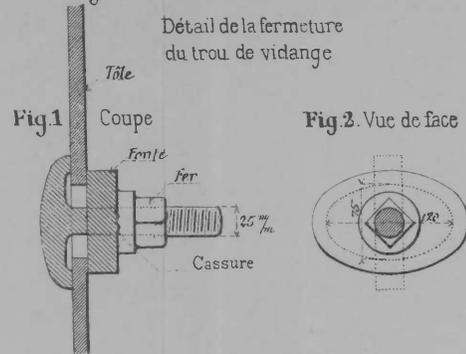


Fig. 4 à 6. Rupture d'une valve de prise de vapeur, Accident du 15 Juin 1898

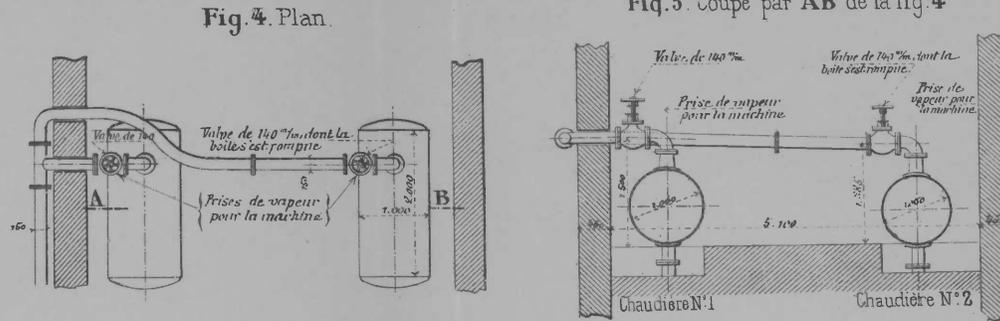


Fig. 6. Vue de côté

Fig. 3. Explosion d'un cylindre sécheur, Accident du 9 Juin 1898

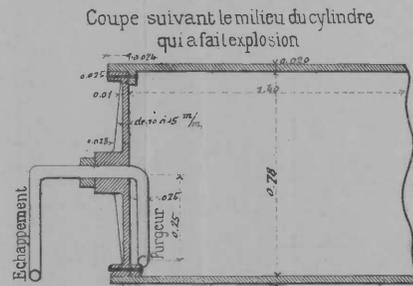


Fig. 7 et 8. Rupture d'un robinet de purge de chaudière Babcock et Wilcox survenue le 30 Juin 1898

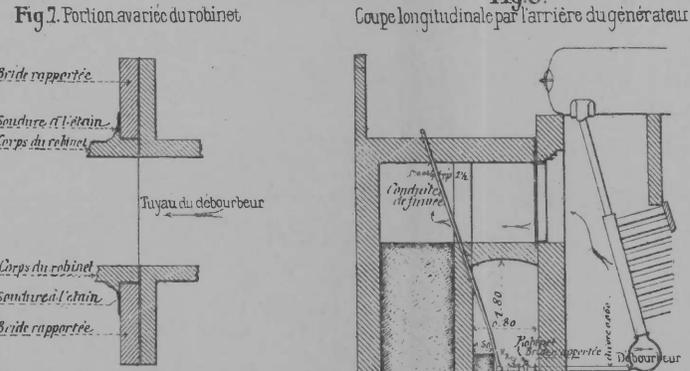


Fig. 8.

Coupe longitudinale par l'arrière du générateur

Fig. 9. Accident du 16 Juillet 1898

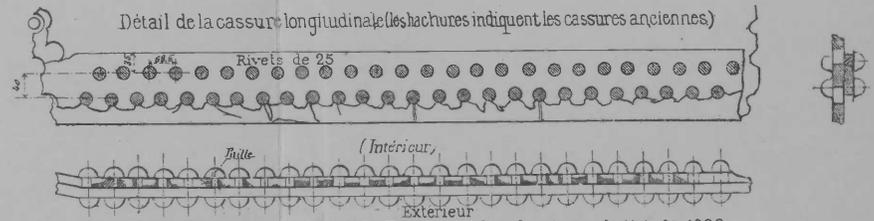
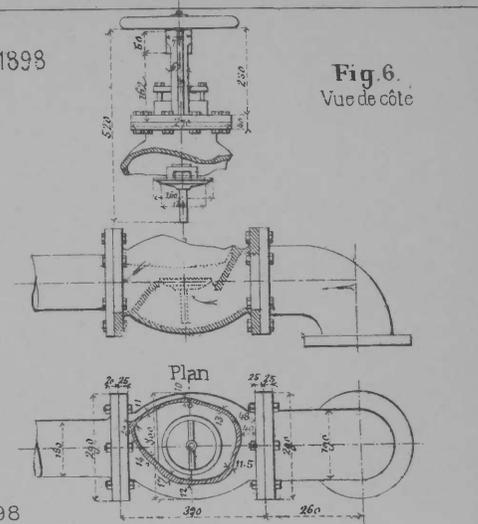


Fig. 15. Explosion d'un lessiveur, le 5 Août 1898. Elevation et coupe du lessiveur

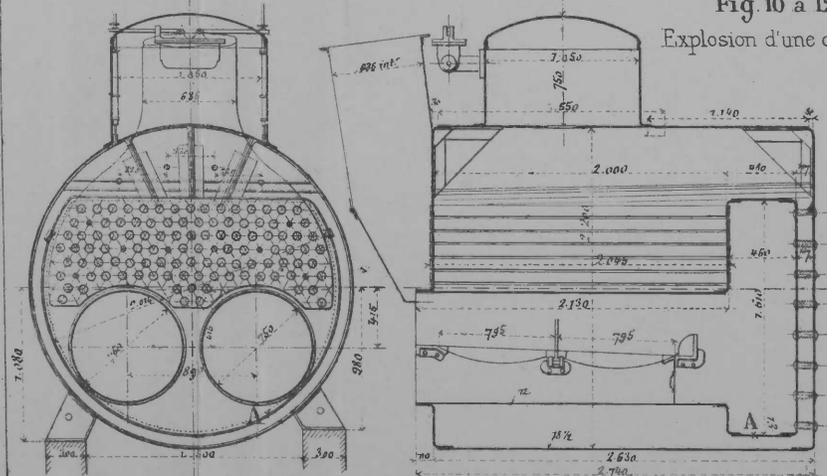
Fig. 10

Fig. 11

Fig. 10 à 12

Explosion d'une chaudière de bateau, le 17 Juillet 1898

Fig. 12. Avarie dans la boîte à feu en face le foyer tribord



A. Endroit où s'est produite la déchirure

AB. Déchirure de la tubulure

Fig. 14.

EE. Partie offrant une discontinuité d'homogénéité

Coupe αβ

Nota: Les chiffres droits indiquent les épaisseurs de la tôle aux endroits indiqués

Fig. 16. Accident du 4 Octobre 1898

