sion, et en outre les indemnités qui pourraient résulter du fait de son exploitation, et qui sont spécifiées par l'article 43 et suivans de la loi du 21 avril 1810.

Il se conformera aux lois et réglemens rendus et à intervenir sur les mines.

Art. X. En exécution de l'article 14 de la loi du 21 avril 1810, le concessionnaire ne pourra confier la direction de ses ouvrages qu'à un individu qui justifiera des facultés nécessaires pour bien conduire les travaux.

Conformément à l'article 25 du réglement du 3 janvier 1813, il ne pourra employer, en qualité de maître mineur, ou chef particulier d'ateliers, que des individus qui auront été employés dans les mines, comme mineurs, boiseurs ou charpentiers, au moins trois années consécutives, ou des élèves de l'école royale des mineurs ayant achevé leurs cours d'études, et pourvus d'un brevet de M. le directeur général des mines.

Art. XI. Le concessionnaire ne pourra abandonner aucune partie de ses travaux sans en avoir prévenu le préfet, au moins trois mois à l'avance, pour l'exécution des dispositions des articles 8 et 9 du décret du 3 janvier 1813.

Si le concessionnaire voulait renoncer à sa concession, il devra en prévenir le préfet, par pétition régulière, au moins six mois à l'avance, pour qu'il puisse être pris les mesures convenables, soit pour sauver les droits des tiers, par la publication qui sera donnée à la pétition, soit pour la reconnaissance complète, la conservation, ou, s'il y a lieu, l'abandon définitif des travaux.

Art. XII. Il y aura lieu particulièrement à l'exercice de la surveillance de l'administration, en exécution des articles 47 à 50 de la loi du 21 avril 1810, et du titre 2 du réglement du 3 janvier 1813, si, en vertu du titre 7 de ladite loi, la propriété de la mine vient à être transmise, d'une manière quelconque, par le concessionnaire, soit à un autre individu, soit à une autre société. Ce cas échéant, le titulaire quelconque de la concession sera tenu de se conformer aux clauses et conditions prescrites par l'acte de concession.

NOTE

SUR LES MACHINES A VAPEUR,

Par M. COMBES, Ingénieur au Corps royal des Mines.

Les machines à vapeur sont, sans contredit, les plus importantes de tous : elles remplacent, avec un avantage considérable, les chevaux employés à l'extraction de l'eau et du minerai dans les exploitations de mines ; elles offrent aux maîtres de forges un moteur d'autant plus précieux, qu'il peut être établi par-tout où l'on a une petite quantité d'eau et de combustible. On peut les employer aux transports, par bateaux et par terre, sur des chemins de fer. Quoique très-répandues en France depuis quelques années, leur usage est loin d'y être aussi commun qu'en Angleterre. On voit encore des hommes occupés au halage des bateaux sur le canal de Givors, dans la partie de la France la plus riche en combustible minéral. La plupart des machines établies sur les exploitations de houille du département de la Loire sont d'ailleurs très-imparfaites, et le bas prix de la houille est un obstacle à leur perfectionnement.

Ces considérations m'ont engagé à réunir dans cette note les observations les plus récentes, faites sur la vapeur en général, et à en faire l'application aux machines à feu. J'exposerai les motifs qui doivent faire préférer celles où la vapeur agit à une tension élevée, et je ferai voir le désavantage qu'il y a à condenser la vapeur avant qu'elle ait développé, en se débandant, toute la puissance mécanique dont elle est susceptible.

§ I. — *Du maximum de quantité d'action que peut donner un poids donné de vapeur.*

Soient : θ la température de la vapeur dans la chaudière ;

P la pression correspondante (l'espace étant saturé) ;

θ' la température dans le condenseur ;

P' la pression correspondante ;

B la surface d'un piston, pressé, d'un côté, par la vapeur affluente de la chaudière, de l'autre par la vapeur existant dans le condenseur à la température θ' ;

L la longueur de la course du piston :

Si la vapeur arrive pendant toute la durée de la course, la puissance mécanique développée sera exprimée par

$$B(P - P')\,L. \quad (1).$$

Si P et P' sont les pressions de la vapeur, sur un centimètre carré de surface, exprimées en kilogrammes, on prendra pour unité linéaire le centimètre, et l'expression (1) représentera la puissance mécanique en kilogrammes élevés à un centimètre de hauteur. En divisant par 100, pour obtenir des unités dynamiques ordinaires, on aura

$$\frac{BL}{100}(P - P') \text{ kilo.} \times \text{m. (A).}$$

BL est le volume de la vapeur dépensée.

En condensant la vapeur qui possède encore une tension représentée par P, on anéantit un moteur, qu'il eût été facile d'utiliser en laissant la vapeur se détendre jusqu'à ce que sa pression fût devenue égale à P'. Si nous admettons qu'on laisse la vapeur se détendre, et que pendant son expansion on l'entretienne à la température θ, comme cela a lieu dans la machine de Woolf, l'expression de la quantité d'action développée changera.

Soient : x la pression variable de la vapeur ;

z la distance du piston au fond du cylindre ;

dz l'espace parcouru par le piston pendant un temps infiniment petit,

La quantité d'action développée par l'expansion de la vapeur sera égale à l'intégrale

$\int B(x - P')\,dz$, prise depuis $z = L$ jusqu'à la valeur de z, correspondant à $x = P'$.

D'après la loi de Mariotte, $x = P \times \frac{L}{z}$, et la valeur de z, qui est la limite supérieure de l'intégrale, est par conséquent égale à

$$\frac{P}{P'} \times L.$$

On a donc

$$\int B(x - P')\,dz \begin{Bmatrix} z = L \\ x = P' \end{Bmatrix} = \int B\left(\frac{PL}{z} - P'\right)dz \begin{Bmatrix} z = L \\ z = \frac{P}{P'} \times L. \end{Bmatrix}$$

$= BL \times P. \log. \frac{P}{P'} - BL(P - P')$ kilo. élevés à un centimètre.

Divisant cette expression par 100, et l'ajoutant avec A, on a, pour le maximum de quantité d'action développé par la vapeur,

$$\frac{\mathrm{BL}}{100} \cdot \mathrm{P}.\log.\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{P}'}\ \text{kilo.} \times \text{m.}$$

Il faut se souvenir que le logarithme qui entre dans cette formule est hyperbolique, et que BL est le volume de la vapeur, en centimètres cubes, sous la pression P.

Il est essentiel de connaître le poids de cette vapeur, et il est facile de le calculer. Un litre de vapeur à 100 degrés, et sous la pression atmosphérique, pèse 0g,59 ; la densité des vapeurs n'est pas proportionnelle à leur force élastique : les expériences faites sur ce sujet montrent que l'on peut leur appliquer (qu'elles saturent ou non l'espace qui les renferment) la même équation qu'aux gaz permanens.

$$p = a\rho(1 + \delta\theta).\ (m)$$

a est un coefficient constant pour la même vapeur ; ρ est la densité, p la pression, θ la température de la vapeur. $\delta = 0{,}00375$, coefficient constant de la dilatation des gaz et des vapeurs, déterminé par les expériences de M. Gay-Lussac. On tire de l'équation précédente :

$$\rho = \frac{p}{a(1+\delta\theta)}.$$

Le coefficient a est facile à déterminer ; il suffit de poser, dans l'équation (m), p = la pression atmosphérique, 1 kilog. par centimètre carré à-peu-près.

$$\rho = 0^{g}{,}59 \text{ et } \theta = 100 :$$

on trouve ainsi

$$a = \frac{1}{0{,}59 \times 1{,}375} = \frac{1}{0{,}81125}.$$

Le poids d'un litre de vapeur, sous la pression P, est donc égal à

$$\frac{\mathrm{P} \times 0{,}81125}{1 + 0{,}00375 \cdot \theta}\ \text{grammes.}$$

Il est utile de placer ici un tableau des forces élastiques de la vapeur d'eau correspondant aux diverses températures, et des poids d'un litre de vapeur sous chaque pression. Ce tableau est extrait du *Traité des Machines* de M. Hachette et de la *Mécanique industrielle* de M. Christian.

Température en degrés centigrades.	Pression sur un centimètre carré de surface en kilogrammes.	Poids du litre de vapeur en grammes.
	plus simplement	
10 deg.	0,01 0,01	. . . . . .
20	0,02 0,02	. . . . . .
30	0,04 0,04	. . . . . .
40	0,07 0,07	. . . . . .
100	1,03 1,00	0,59
110	1,44 1,40	0,80
120	1,94 2,00	1,12
130	2,65 2,60	1,42
140	3,78 3,80	2,02
150	4,93 5,00	2,60
160	6,46 6,50	3,30
170	8,06 8,00	3,96
215	35,00 35,00	15,72

Les nombres consignés dans le tableau précédent sont suffisamment exacts pour qu'on puisse les employer sans inconvénient grave dans la pratique.

§ II. — *Du minimum de combustible correspondant à une quantité d'action déterminée.*

Pour résoudre la question précédente, il serait nécessaire de connaître exactement la chaleur latente de la vapeur d'eau à toutes les pressions et à toutes les températures, ainsi que la quantité de chaleur développée par les divers combustibles ordinairement employés, tels que la houille, le bois, la tourbe. Les expériences manquent sur le premier point; mais on peut y remédier, en admettant, avec MM. Clément et Desormes, qu'un gramme de vapeur contient la même quantité de chaleur à toutes les pressions et à toutes les températures, pourvu que l'espace soit saturé : c'est ainsi qu'un gramme d'air, renfermé dans un vase dont les parois seraient imperméables au calorique, contiendrait la même quantité de chaleur sous toutes les pressions et à toutes les températures que l'on pourrait faire varier à l'infini, en changeant le volume du vase. Ce volume suffira pour calculer la quantité de chaleur, tant qu'on ne profitera pas de la force expansive de la vapeur ; mais, dans ce dernier cas, la vapeur ne saturant plus l'espace qui la renferme, il est nécessaire de tenir compte de la chaleur qu'elle a absorbée en se dilatant.

M. Poisson, dans un mémoire inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique* (août 1823),

s'est occupé de déterminer, par l'analyse, la quantité de chaleur au-dessus de 0 contenue dans un gramme d'air ou de vapeur d'eau.

Voici le résultat auquel il est parvenu :

Q désigne la quantité de chaleur au-dessus de 0 contenue dans un gramme de vapeur, sous la pression h et à la température θ;

γ est le calorique spécifique de la vapeur à la température de 100°, et sous la pression de $0^{m},76$ de mercure;

k est le rapport du calorique spécifique de la vapeur à pression constante au calorique spécifique de la vapeur à volume constant;

C est la quantité de chaleur contenue dans un gramme de vapeur à 100°, et sous la pression de $0^{m},76$ de mercure.

$$Q = C + \gamma \left\{ (266,67 + \theta) \left(\frac{0,76}{h} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 366,67. \right\}$$

L'équation précédente suppose : 1°. que le nombre k est invariable, pourvu qu'il ne s'ajoute ni ne se précipite de la vapeur ; 2°. que le calorique spécifique de la vapeur à pression constante ne dépend point de la température. Le nombre k est évidemment plus grand que 1 : c'est un nombre fractionnaire, dont le numérateur est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme de vapeur, en lui laissant la faculté de se dilater sous une pression qui demeure la même. Son dénominateur est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme de vapeur, en l'empêchant de se dilater.

Plusieurs physiciens se sont occupés de la détermination des nombres C et γ. En prenant pour unité de chaleur celle nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme d'eau, les valeurs adoptées par M. Poisson sont :

$$C = 650 \,.\, \gamma = 0{,}847.$$

Quant au nombre k, il a été déterminé en admettant la vérité du principe de M. Clément. Dans cette hypothèse, on doit avoir $Q = C$ à toutes les pressions et à toutes les températures, pourvu que l'espace soit saturé.

Ainsi, en remplaçant θ par une température quelconque, et h par la pression correspondant à cette température, dans le cas de la saturation, on devra avoir

$$650 + 0{,}847 \left\{ (266{,}67 + \theta) \left(\frac{0{,}76}{h}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 366{,}67 \right\} = 650.$$

En substituant, dans le premier membre de cette équation, des valeurs très-différentes de θ avec les valeurs de h correspondantes, on trouve, en effet, des valeurs de k très-peu différentes les unes des autres ; ce qui prouve que le principe de M. Clément s'approche beaucoup de la vérité. En faisant $\theta = 50^d$ et $h = 0{,}08874^2$, la valeur de $\frac{k-1}{k}$ est égale à $0{,}0683$: d'où

$$k = 1{,}073.$$

$$Q = 650 + 0{,}847 \left\{ (266{,}67 + \theta) \left(\frac{1}{h}\right)^{0{,}0683} - 366{,}67. \right\}$$

J'ai remplacé 0,76 par l'unité, parce que je représente la pression atmosphérique par un kilogramme.

Si cette équation était rigoureusement exacte, elle devrait fournir les valeurs des forces élastiques correspondantes à la saturation pour des températures données, en y faisant $Q = 650$. Les résultats obtenus de cette manière s'écartent trop de ceux de l'expérience pour qu'on puisse ne pas les supposer erronés.

D'après ce qui précède, il est aisé de calculer la quantité de chaleur dépensée dans chaque cas ; il suffira de multiplier le poids de la vapeur en grammes par Q, Q étant égal à 650, toutes les fois qu'on ne profitera pas de la force expansive de la vapeur. Dans ce dernier cas, la valeur de Q sera plus grande : on l'obtiendra en remplaçant, dans la formule (B), h par la force élastique de la vapeur au moment où elle est condensée.

Dans tous les cas, la quantité de chaleur sera exprimée par $\pi \times Q$, et si nous admettons qu'un kilogramme de houille est capable d'échauffer d'un degré 7000 kilogrammes d'eau, la dépense de houille sera de

$$\frac{\pi \times Q}{7000} \text{ grammes}$$

§ III. — *Application de ces principes aux machines à vapeur.*

Cette application ne présente plus aucune difficulté.

1°. Si la vapeur est condensée avant de s'être dilatée, la quantité d'action développée sera égale à

$$\frac{BL}{100} \times (P - P')\ \text{kilo. m.}\ (A.)$$

Faisons BL égal à un litre ou 1000 centimètres cubes, (A) devient alors égal à

$$10\,(P - P')\ \text{kilo.} \times \text{m.}$$

Si la température dans le condenseur est de 40°, on aura $P' = 0{,}07^{k.}$ à-peu-près.

Le poids de vapeur dépensé sera égal à

$$\frac{P \times 0{,}81125}{1 + 0{,}00375\,\theta}\ \text{grammes},$$

et la quantité de charbon à

$$\frac{P \times 0{,}81125}{1 + 0{,}00375 . \theta} \times \frac{650 - 40}{7000} = \frac{P \times 0{,}81125}{1 + 0{,}00375 . \theta} \times 0{,}087^{g.}$$

Le rapport de la quantité d'action développée au poids du combustible dépensé en grammes sera de

$$\frac{10\,(P - 0{,}07)\,(1 + 0{,}00365 . \theta)}{P \times 0{,}81125 \times 0{,}087} =$$

$$141{,}68\,\frac{(P - 0{,}07)\,(1 + 0{,}00375 . \theta)}{P}\ \ldots\ldots (E)$$

Cette expression (E) est celle de la quantité

d'action maximum développée par un gramme de houille (la vapeur étant condensée avant sa dilatation); elle peut se mettre sous la forme :

$$141{,}68\left(1 - \frac{0{,}07}{P}\right)(1 + 0{,}00375\,\theta).$$

On voit donc qu'elle augmente avec θ et P; mais cette augmentation est très-peu rapide.

2°. Je passe au cas où la valeur n'est condensée qu'après son expansion. Je suppose qu'elle est entretenue à la température θ, et qu'elle se débande jusqu'à ce que sa force élastique soit égale à celle de la vapeur dans le condenseur ($0{,}07^{k.}$ par cent. carré). En suivant la même marche que précédemment, on trouve, pour la quantité d'action développée par un gramme de houille,

$$\frac{10 \times P \times \log. \frac{P}{0{,}07}\,(1 + 0{,}00375\,\theta) \times 7000}{0{,}81125 . P \left\{610 + 0{,}847 \left\{(266{,}67 + \theta)\left(\frac{1}{0{,}07}\right)^{0{,}0683} - 366{,}67\right\}\right.}\ (F).$$

On admet toujours que la tension dans le condenseur est de $0{,}07^{k}$. En effectuant les calculs autant que possible, il vient :

$$86286{,}59 \times \frac{\log. \frac{P}{0{,}07}\,(1 + 0{,}0375\,\theta)}{570{,}2845623 + 1{,}01569 \times \theta}\ (F).$$

Il est bon de remarquer que l'expression (F) peut se mettre sous la forme

$$\frac{70000}{0{,}81125} \times \frac{\log. \frac{P}{0{,}07}}{0{,}847 \times \left(\frac{1}{0{,}07}\right)^{0{,}0683} \times 266{,}67 + \frac{610 - 366{,}67 \times 0{,}847}{1 + 0{,}00375\,\theta}},$$

fraction dont le numérateur croît avec P, tandis que le dénominateur décroît lorsque θ augmente. Il y a donc avantage à employer la vapeur à des pressions plus élevées, et cet avantage est beaucoup plus grand que lorsqu'on ne profite pas de la force expansive de la vapeur.

J'ai calculé les valeurs de (E) et (F) pour les valeurs de P, consignées dans le tableau placé dans le paragraphe premier : en les multipliant par 100, on obtient les quantités d'action développées par 1000 grammes ou un kilogramme de charbon. Voici le tableau des résultats que j'ai obtenus ; la température du condenseur est de 40°.

Température en degrés centigrad.	Pression en kilo. sur un centimèt. carré.	Effet produit par un kilogramme de houille. La vapeur n'agit pas par la force expansive.	Effet produit par un kilogramme de houille, la vapeur étant condensée après son expansion totale.
100 d.	1 k.	181180 kilo. × m.	469600 kilo. × m.
110	1,4	191523.	535350
120	2	198071	605980
130	2,6	204792	660640
140	3,8	212245.	737690
150	5	217949	796400
160	6,5	223964	853650
170	8	230175.	895490
215	35	255403	1070120

La figure A (*Pl.* IV) fera mieux saisir l'ensemble des résultats précédens.

Les abscisses sont proportionnelles aux forces élastiques, et les ordonnées aux quantités d'action développées par un kilogramme de houille. Il y a deux courbes, dont l'une se rapporte au cas où la vapeur n'agit pas par expansion.

On voit qu'il y a un grand avantage à profiter de la force expansive de la vapeur. Cela tient à ce que le nombre k, exprimant le rapport de la chaleur spécifique de la vapeur à pression constante à sa chaleur spécifique à volume constant, est presque égal à l'unité (1,073); on ne peut cependant pas le supposer tout-à-fait égal à 1, comme nous l'avons vu.

Le même nombre k, pour l'air, est égal à 1,3750, d'après les expériences de M. Gay-Lussac, cité par M. Poisson dans son mémoire. Il faudrait donc plus de chaleur pour entretenir un poids d'air à une température constante, pendant qu'il se dilate, que pour produire le même effet sur un poids égal de vapeur d'eau.

Si on n'utilise pas la force expansive de la vapeur, il n'y a presque point d'avantage, théoriquement, à l'employer à une pression élevée. L'économie de combustible qu'on paraît obtenir dans la pratique tient évidemment à des différences dans la construction, et probablement elle est due, en très-grande partie, aux moindres dimensions de la chaudière.

§ IV. — *Exposé de quelques résultats obtenus par diverses machines à vapeur.*

A Valenciennes, on se sert, pour l'extraction de la houille, de machines à vapeur de la force moyenne de dix chevaux : le plus grand nombre sont des machines d'Edwards (système de Woolf). Le volume du grand cylindre est quatre fois celui du petit, et la tension de la vapeur dans la chaudière est de 3 à 4 atmosphères. Il existe cependant encore, sur plusieurs points, d'anciennes machines à basse pression de Perrier. Les résultats suivans feront connaître l'avantage des premières sur les secondes ; ils m'ont été fournis, à Valenciennes, avec une extrême complaisance.

Fosse Lacave. (Machine de Woolf).

64090 hectolitres de houille ont été élevés, en 1504 heures, de 150 mètres de profondeur.

On a consommé 430 hectolitres de houille de mauvaise qualité.

Le rapport de l'effet produit au combustible dépensé est égal à

$$\frac{64090 \times 150}{430} = 22357.$$

Fosse Bleussborne. (Machine de Woolf.)

52950 hectolitres ont été élevés, en 1131 heures, de 181 mètres de profondeur.

On a dépensé 396 hectolitres de houille, mauvaise qualité, comme à Lacave.

Rapport de l'effet à la dépense :

$$\frac{52950 \times 181}{396} = 24202.$$

Fosse l'Écluse. (Machine de Woolf).

66810 hectolitres ont été élevés, en 1752 heures, de 280 mètres de profondeur.

Dépense : 579 hectolitres de houille mêlée, bonne et mauvaise qualité.

Rapport de l'effet à la dépense :

$$\frac{66810 \times 280}{579} = 32309.$$

Fosse de Chaufour. (Machine de Woolf.)

40940 hectolitres ont été élevés, en 1492 heures, de 365 mètres de profondeur.

Dépense : 469 hectolitres, même qualité qu'à l'Écluse.

Rapport :

$$\frac{40940 \times 365}{469} = 31862.$$

Fosse Saint-Pierre. (Machine de Woolf.)

68660 hectolitres ont été élevés, en 2014 heures, de 260 mètres de profondeur.

Dépense : 814 hectolitres (mauvaise qualité).

Rapport :

$$\frac{68660 \times 260}{814} = 21955.$$

Fosse Saint-Joseph Midi. (Machine de Perrier.)

48175 hectolitres ont été élevés, en 1817 heures, de 285 mètres de profondeur.

Dépense : 2090 hectolitres de houille, même qualité qu'à l'Écluse.

Rapport :

$$\frac{48175 \times 285}{2,090} = 6650.$$

Fosse Saint-Charles. (Machine de Perrier.)

8760 hectolitres ont été élevés, en 304 heures, de 187 mètres de profondeur.

Dépense : 294 hectolitres (qualité).

Rapport :

$$\frac{8760 \times 187}{294} = 5572.$$

On voit que les rapports qui se rapportent à des machines du même genre et à la même qualité de houille sont assez peu différens les uns des autres : de plus, la machine de Saint-Joseph Midi, comparée aux machines de l'Ecluse et du Chaufour, qui consomment du combustible de même qualité, dépense entre quatre et cinq fois autant pour produire le même effet utile.

Je ne comparerai pas les résultats précédemment exposés à ceux que l'on pourrait déduire de la théorie ; car le déchet est plus grand pour les machines d'extraction que pour toutes les autres, à cause de la mauvaise qualité du combustible employé, du changement fréquent dans le sens du mouvement de rotation de la machine, etc. Je dois cependant observer que les machines à haute pression et à expansion sont en bien meilleur état que les machines de Perrier; ce qui contribue peut-être pour beaucoup au grand avantage qu'elles ont sur ces dernières.

On n'a point encore donné de description détaillée de la machine à très-haute pression de M. Perkins ; toutefois, il paraît que, dans cette machine, la vapeur, ou plutôt l'eau qui sort de la chaudière, est lancée par bouffées : de sorte que la communication avec le cylindre ne demeure ouverte que pendant une petite partie de la course du piston. En appliquant à cette machine les mêmes principes qu'aux autres, la théorie n'indique point qu'elle ait un grand avantage sur une machine bien construite, dans laquelle la vapeur serait employée d'abord sous une pression de 8 atmosphères, et où on la laisserait se détendre jusqu'à la pression existant dans le condenseur ; mais si on la compare à une machine ordinaire de Watt, agissant à basse pression et sans expansion, on trouve, pour les effets produits par le même poids de combustible, 1070120 pour la machine de Perkins, et 181180 pour la machine de Watt; le rapport est celui de 6 à 1 à-peu-près. Le petit volume des diverses parties de la machine de Perkins, et sur-tout de la chaudière, permet de croire que l'économie de combustible peut être des $\frac{9}{10}$, comme on l'a annoncé. Au reste, les propriétés de la vapeur, sous la pression de 35 atmosphères, sont encore trop peu connues pour qu'on puisse appliquer avec certitude le calcul à une machine de ce genre.

Il résulte de ce qui précède que le perfectionnement le plus important à apporter aux machines à feu serait de les disposer de telle sorte que l'on pût profiter de toute la force expansive de la vapeur, et pour cela il suffirait de modifier très-peu la construction des machines à double cylindre. Je prendrai pour exemple une machine de la force de dix chevaux, et je supposerai que l'on veut employer la vapeur à une tension de 8 atmosphères, en la laissant se détendre Conclusion.

jusqu'à la force élastique du condenseur, qui sera de $0,07^{k.}$ à 40° de température. Dans cette hypothèse, le maximum de quantité d'action développé par un kilogramme de charbon est égal à 895490 kilo. $\times$ m. Il faut avoir égard d'abord au déchet qui aura lieu dans la pratique. M. Navier, dans un mémoire inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome 17, p. 369, estime que le combustible ne transmet à l'eau de la chaudière que les deux tiers de la chaleur qu'il développe en brûlant, et que la quantité d'action employée à vaincre les frottemens des pistons, ou absorbée par les autres causes de déchet, est les 0,38 de la quantité d'action totale de la vapeur. En admettant ces résultats, il faudra prendre les deux tiers de 895490, et ensuite les 0,62 du résultat : on trouve ainsi, pour la quantité d'action transmise par un kilogramme de charbon, 370136 kilo. $\times$ m.

La vapeur étant formée à une tension de 8 atmosphères, et devant se détendre jusqu'à ce que sa force élastique soit réduite à sept centièmes d'atmosphère, son volume, au moment où elle est condensée, doit être, à son volume primitif, dans le rapport de 800 à 7, ou de 114 à 1. Si on laissait le petit cylindre se remplir complétement de vapeur à 8 atmosphères, les dimensions du grand cylindre deviendraient trop considérables ; il vaut donc mieux ne laisser entrer la vapeur que pendant la dixième partie de la course du piston dans le petit cylindre : pendant les neuf autres dixièmes, la chaudière ne fournira point de nouvelle vapeur. La force élastique de la vapeur, au moment où elle commencera à passer d'un cylindre à l'autre, ne sera plus alors que de huit dixièmes d'atmosphère, et les capacités des deux cylindres seront entre elles dans le rapport de huit dixièmes à sept centièmes, ou de 11,4 à 1 : le diamètre du grand piston sera donc égal à 3,3 fois celui du petit. Voyons maintenant quelles dimensions il faut donner au petit cylindre pour que la force de la machine soit de dix chevaux. Je prends pour force de cheval 250000 kilo. $\times$ m. en une heure, ou 694,44 kilo. $\times$ m. par seconde.

Je détermine d'abord le volume de vapeur qu'il faudra dépenser par seconde. Le litre de vapeur pèse 3,96, et développe une quantité d'action théoriquement égale à

$$10 \times 8 \times \log.\frac{8}{0,07} \text{ kilo.} \times \text{m.} = 379,096 \text{ kil.} \times \text{m.}$$

Prenant les 0,62 pour avoir égard au déchet mentionné plus haut, on a pour résultat

$$235,040 \text{ kilo.} \times \text{m.}$$

pour la quantité d'action développée par un litre de vapeur. On devra donc dépenser par seconde,

$$\frac{694,44}{235,040} = 3 \text{ litres de vapeur à-peu-près.}$$

Je prends de préférence un nombre plus fort.

Si l'on veut que le piston fasse une demi-oscillation par seconde, la capacité du petit cylindre devra être égale à dix fois 3 litres, ou 30 décimètres cubes. On déterminera le diamètre du piston d'après la longueur de sa course. Si elle est d'un mètre, le diamètre sera déterminé par l'équation

$$\frac{22}{7}\,\frac{d^2}{4} \times 100 = 30000:$$

d'où $d = 20$ centimètres à-peu-près.

Le diamètre du grand piston sera de 66 centimètres; à chaque oscillation du piston, la dépense sera de 6 litres de vapeur, ou de

$$6 \times 3^g,96 = 23^g,76 \text{ d'eau.}$$

Ainsi, la pompe alimentaire devra fouler dans la chaudière 24 centimètres cubes d'eau à-peu-près.

Je pense qu'il y aurait un très-grand avantage à ne laisser qu'une petite portion de la chaudière remplie de vapeur. Il serait bien suffisant que le volume de vapeur fût de 30 litres, ou égal à celui du petit cylindre : c'est cinq fois ce qu'on dépense par oscillation du piston. Le volume d'eau contenu dans la chaudière pourrait être égal à deux fois le volume du petit cylindre; ce qui porterait la capacité totale de la chaudière à 90 litres.

Cette chaudière, beaucoup plus petite que celles que l'on construit ordinairement, pourrait avoir la forme cylindrique, et je crois qu'il faudrait établir ce cylindre dans une situation verticale. Il recevrait directement sur son fond la flamme du foyer, qui circulerait encore autour de lui, avant de s'échapper par la cheminée. Cette disposition économiserait probablement le combustible, parce qu'il n'y aurait qu'une très-petite portion de la chaudière qui ne fût

pas léchée par la flamme. Le désavantage qu'offrent les grandes chaudières des machines ordinaires tient probablement à ce grand magasin de vapeur qui existe à la partie supérieure, et autour duquel on ne peut faire circuler la flamme sans que la chaudière ne soit détruite promptement.

Quant à l'introduction de la vapeur pendant un dixième seulement de la course du piston, elle n'offrirait aucune difficulté, et s'obtiendrait par une modification très-simple de la boîte à vapeur des machines de M. Edwards. La vapeur arrive dans cette boîte par un robinet percé de deux trous à angles droits, qui demeure toujours dans la même position. On remplacerait ce robinet par un tiroir circulaire, percé de deux trous situés aux extrémités du même diamètre : chacun de ces trous occuperait la dixième partie de la circonférence. On donnerait au tiroir un mouvement circulaire continu, de telle sorte qu'il fît un tour entier pour chaque oscillation du piston: l'un des trous couvrirait le conduit par lequel la vapeur entre dans la boîte pendant la dixième partie de la descente, et l'autre pendant la dixième partie de la montée du piston. Pendant tout le reste du temps, le tiroir empêcherait l'entrée de la vapeur.

Il est probable que cette machine produirait 370236 kilo. $\times$ m. de quantité d'action par kilogramme de charbon dépensé. En supposant l'effet journalier d'un cheval égal à

$$1500000 \text{ kilo.} \times \text{m.},$$

chaque cheval serait remplacé par 4,08 kilogrammes de charbon, qui valent à-peu-près 4 centimes dans les départemens où l'on exploite de la houille. La dépense serait moindre aux environs de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier.

La dépense d'eau froide pour l'injection dépendrait de sa température ; elle est facile à calculer, puisque l'on connaît la quantité de chaleur contenue dans la vapeur au moment de la condensation.

N. B. Les meilleures machines de la force moyenne de dix chevaux ne fournissent guère que 115600 kilo. $\times$ m. de quantité d'action par kilogramme de charbon dépensé. Ce nombre n'est pas le tiers de 370236 kilo. $\times$ m., qu'on peut espérer de la machine dans laquelle on profiterait de toute la force expansive de la vapeur.

SUITE DU MÉMOIRE

SUR

LES MINES D'ÉTAIN DE SAXE ;

PAR M. MANÈS, Ingénieur au Corps royal des Mines (1).

MINE D'ÉTAIN DE ZINNWALD.

Aspect physique.

LE mont Zinnwald, de forme allongée, dans la direction de l'est à l'ouest, est séparé, comme nous l'avons déjà dit, de la contrée d'Altenberg par le ruisseau de Geyssing. Il a une pente assez rapide du côté ouest, plus douce du côté nord, et plus douce encore vers le sud, ou du côté de la Bohême. Il est assez nu, impropre à la culture, et couvert seulement de quelques misérables pins : du reste, un grand nombre de haldes le recouvrent de tous côtés, et sont des marques certaines de la grande quantité d'étain qu'on en a retirée autrefois. Ce mont, qui n'est éloigné d'Altenberg que d'une demi-lieue, et qui n'en est séparé par aucune grande vallée, offre cependant une nature de roches toutes différentes.

Constitution géologique.

Les roches qu'on y trouve sont le granite, le greisen et le quarz, qui forment des couches alternant entre elles dans un ordre assez régulier.

Le granite est à grains fins, formé de feld-

(1) Voyez, tome VIII de ce recueil, le commencement de ce Mémoire.