

l'excès de trituration le rend susceptible d'acquiescer une très-grande résistance.

Observations.

A quelle époque le mortier atteint-il son *maximum* de résistance? On sent que si ce terme était très-éloigné, les expériences faites sur des mortiers âgés de deux ou trois ans ne seraient point du tout concluantes. Mais en comparant, sous le rapport de la dureté, quelques mortiers du moyen âge et d'autres moins anciens avec des mortiers de douze à vingt mois, fabriqués avec les mêmes chaux, on a trouvé des différences qui ne tiennent qu'à l'inégalité des proportions de sables employés. Ces faits prouvent donc qu'une pièce de mortier d'un petit volume, exposée à l'air, parvient en fort peu de temps (dix-huit à vingt mois) à un degré de dureté qui, s'il n'est pas tout-à-fait le plus grand possible, approche du moins beaucoup de ce terme.

MÉMOIRE

Sur la chaux et le mortier en général, et en particulier sur la différence entre les mortiers de chaux de coquilles de moules et de pierres calcaires, avec la théorie des mortiers;

PAR M. J.-F. JOHN, Docteur en médecine, Professeur de chimie et membre de plusieurs Académies et Sociétés savantes.

EXTRAIT (1).

Le Mémoire de M. John, composé pour répondre à la question suivante, mise au concours par la Société Hollandaise des sciences, a été couronné en 1818 par cette Société.

QUESTION. Quelle est la cause chimique en vertu de laquelle la chaux de pierre fait en général une maçonnerie plus solide et plus durable que la chaux de coquilles, et quels sont les moyens de corriger à cet égard la chaux de coquilles?

Les coquilles sont presque uniquement composées de carbonate de chaux, ainsi qu'on peut en juger par les analyses suivantes :

(1) Cet extrait a été fait sur une traduction abrégée du mémoire allemand, présentée par M. l'ingénieur en chef Vauvillers à M. le Directeur général des Ponts-et-Chaussées et des Mines.

	HUITRES	CROUTES	MOULES
	SANS CROUTES.	D'HUITRES.	DE RIVAGE.
Chaux	0,5425	0,4830	0,5550
Magnésie.	0,0050	"	"
Acide carbonique.	0,4200	0,3870	0,4250
Mucus membraneux.	0,0100	0,1000	
Mucus soluble. Chlorure de Sodium. Sulfate alcalin.	0,0150	0,0300	0,0200
Phosphate de chaux. Oxyde de fer. Oxyde demanganèse.	0,0025		
Eau.	0,0050	"	"
	1,0000	1,0000	1,0000

Un grand nombre d'analyses font voir que les pierres à chaux ordinaires contiennent, outre le carbonate de chaux, une quantité très-variable de matières terreuses intimement mélangées : le tableau ci-dessous en présente quatre exemples.

	PIERRES DE LA BELGIQUE.			PIERRE de Berlin.
	Briels.	Namur.	Liège.	
Carbonate de chaux.	0,9575	0,9400	0,9625	0,7900
Carbonate de magnésie.	0,0050	0,0150	0,0150	.....
Matières insolubles dans les acides..	Silice	0,0175	0,0200	0,0800
	Alumine.	0,0050	0,0100	0,0800
	Oxyde de fer.	0,0025	0,0050	.....
	Charbon.	0,0050	0,0050	0,0050
Eau. . . . .	.....	.....	.....	0,0100
Hydrochlorate de soude. . . . .	.....	.....	.....	0,0250
Sulfures de potasse et de chaux.	0,0075	0,0050	0,0025	.....
	1,0000	1,0000	1,0000	0,9900

On admet généralement que l'endurcissement des mortiers est dû à une régénération de la pierre calcaire, qui s'opère, à l'aide du temps, par l'absorption de l'acide carbonique de l'air. Beckmann adopte cette opinion dans sa Technologie, et il ajoute que l'eau combinée dans l'hydrate de chaux s'évapore à mesure que le carbonate de chaux se reproduit, et que celui-ci prend vraisemblablement une structure cristalline, en vertu de laquelle les pointes des cristaux pénètrent de toutes parts dans les pores des pierres; ce qui augmente considérablement la force avec laquelle le mortier lie la maçonnerie.

Il est certain que les mortiers durcissent à mesure que l'hydrate de chaux qu'ils renferment se convertit en carbonate, et que, lorsque cette conversion est à-peu-près complète, ils possèdent une grande solidité. On fit un mortier avec du sable et de la chaux de coquilles de moules; on suspendit des boules de ce mortier dans des récipients remplis de gaz acide carbonique, et on les plongea dans l'eau de ces récipients : au bout de peu de temps, ces boules acquirent une dureté et une cohésion aussi grandes que celles de très-bons mortiers anciens complètement solidifiés; mais la conversion de l'hydrate de chaux en carbonate ne s'opère que très-lentement par la seule exposition à l'air; et voilà pourquoi les mortiers qui ne durcissent que par cette seule cause, conservent pendant si long-temps leur état de mollesse. Des mortiers composés d'hydrate de chaux préparé avec de la pierre calcaire pure (marbre de Carrare), des coquilles d'œufs ou des coquilles d'huitres,

et de diverses proportions de sable, ont été abandonnés à l'air pendant un an et demi : aucun ne s'est trouvé parfaitement durci au bout de ce temps, et leur saveur indiquait qu'ils contenaient encore une grande quantité de chaux caustique. S'il faut plusieurs années pour que des mortiers en couches minces se saturent entièrement d'acide carbonique, combien n'en faut-il pas pour que des mortiers renfermés dans des maçonneries épaissies, absorbent une quantité suffisante de cet acide pour se solidifier? Lorsqu'on démolit dernièrement un des piliers de la tour de Saint-Pierre, à Berlin, bâtie depuis quatre-vingts ans, sur 27 pieds de diamètre, on trouva le mortier de l'intérieur de la maçonnerie aussi frais que s'il n'avait été employé que depuis quelques jours : il avait la saveur caustique, et il formait du lait de chaux avec l'eau.

Il y a des mortiers qui se solidifient presque instantanément; leur solidification doit être due, dans ce cas, à une autre cause qu'à l'absorption de l'acide carbonique. Les expériences de Guyton de Morveau sur l'action mutuelle des terres, tant par la voie sèche que par la voie humide, donnèrent lieu de penser à M. John qu'une action analogue pourrait bien s'exercer entre la chaux et les matières terreuses dont se composent les mortiers, et être la cause du durcissement de ceux-ci. En conséquence il versa de l'eau de chaux en excès dans la liqueur des cailloux, et il obtint un précipité qui, après avoir été bien lavé et desséché entre des feuilles de papier Joseph, se trouva composé de

Silice.	0,4615	} 1,0000
Acide carbonique.	0,0769	
Chaux.	0,2420	
Eau.	0,2196	

Ce précipité contenait évidemment, ainsi que l'avait annoncé Guyton, une combinaison de silice et de chaux : cette combinaison est analogue au tafelspath.

Pour savoir s'il y a des mortiers qui doivent leur dureté à une combinaison du même genre, M. John a soumis à l'analyse plusieurs mortiers anciens et modernes qui jouissent à un haut degré des qualités requises pour les constructions : il les a trouvés composés comme il suit :

	MORTIERS A L'AIR.						MORTIERS HYDRAULIQUES.		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Acide carbonique.	0,0600	0,0575	0,0175	0,0500	0,0900	0,1200	0,0050	0,0225	0,0225
Chaux { à l'état de carbonate. Combinée avec d'aut. substances.	0,0800	0,0784	0,0260	0,0663	0,1194	0,1591	0,0070	0,0295	0,0298
	0,0170	0,0431	0,0665	0,0207	0,0322	0,0809	0,0305	0,0395	0,2977
Silice combinée.	0,0100	0,0115	0,0375	0,0125	0,0025	0,0025	0,0200	0,0035	0,0800
Quartz et sable.	0,8000	0,8010	0,7850	0,8375	0,6884	0,5600	0,7750	0,8950	0,3300
Alumine, oxide de fer.					0,0275	0,0275			
Eau.	0,0330	0,0088	0,0675	0,0130	0,0400	0,0500	0,1625	0,0100	0,2400
	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

- (1) Mortier de cent ans, provenant des joints extérieurs de l'église de Saint-Pierre, à Berlin.
 (2) Mortier de cent ans, provenant des joints intérieurs de la même église.
 (3) Mortier de six cents ans, provenant d'une

fondation encombrée de la même église; très-dur et très-tenace.

(4) Mortier de six cents ans, provenant des murs de la cathédrale de Brandebourg.

(5) Mortier romain, provenant d'un mur de ville construit à Cologne sous Agrippa, dans le premier siècle de l'ère chrétienne.

(6) Mortier romain provenant d'une tour bâtie par Agrippa.

Il paraît que, dans les deux derniers mortiers, la portion de chaux non saturée d'acide carbonique est combinée avec de l'alumine.

(7) Mortier de trois cents ans, provenant de l'enceinte du château de Berlin.

(8) Ancien mortier hydraulique romain.

(9) Mortier de Trêve, âgé de quatre ans.

On voit, par ces analyses, qu'aucun de ces mortiers ne contient une quantité d'acide carbonique suffisante pour la saturation de la chaux; mais que, d'un autre côté, une portion de cette terre est unie chimiquement, à la manière des corps terreux naturels, soit avec de la silice, soit avec de l'alumine, soit avec de l'oxide de fer, peut-être même quelquefois avec ces trois substances à-la-fois.

On conçoit que des mortiers aussi anciens (en exceptant le mortier de Trêve) ne doivent plus contenir d'hydrate de chaux; aussi ne peuvent-ils plus absorber d'acide carbonique lorsqu'on les plonge dans ce gaz pur. Dans les mortiers qui sont à découvert, la chaux attire l'acide carbonique de l'air; dans ceux qui sont toujours mouillés, la chaux attire bien plus rapidement encore l'acide carbonique que l'eau tient en dissolution.

On remarque que les mortiers les plus durs et les plus tenaces, tels que les mortiers hydrauliques, sont ceux qui renferment le moins de carbonate de chaux. Il est évident, d'après cela, que c'est à la combinaison terreuse de la chaux qu'ils doivent cette grande solidité.

On pourrait croire que cette combinaison se forme au moment où l'on mêle la chaux en bouillie avec le sable, mais il n'en est pas ainsi: des expériences directes ont prouvé que la chaux n'a aucune action sur les substances pierreuses par la voie humide. En effet, des cristaux de roche, des saphirs et des grenats, ayant été tenus pendant six mois dans de la chaux en bouillie, ne furent nullement altérés et ne perdirent pas la moindre chose de leur poids: d'un autre côté on a vu que, dans les pierres calcaires, la chaux est tout entière combinée avec de l'acide carbonique; il faut donc que ce soit pendant la cuisson de la pierre que se produise le composé de chaux et de silice qui existe dans les mortiers: l'expérience suivante a pleinement confirmé cette induction. Une certaine quantité de pierre calcaire de Berlin, ayant été fortement calcinée, on l'a traitée immédiatement par une grande quantité d'eau bouillante; l'eau a enlevé beaucoup de chaux pure, mais il est resté un résidu composé de silice, d'alumine et de chaux, qui s'est complètement dissous dans l'acide nitrique sans produire aucune effervescence: or, dans son état naturel, la même pierre laisse dans l'acide nitrique un résidu d'argile pure; cette argile est donc rendue soluble dans les acides par l'action que la

chaux exerce sur elle à une haute température (1).

Toutes ces considérations conduisent à la théorie suivante des mortiers. La pierre calcaire calcinée est une combinaison intime de beaucoup de chaux avec une certaine quantité variable de silice, d'alumine et d'oxide de fer; quand la proportion de ces dernières substances n'est pas trop considérable, la combinaison s'éteint et fait une bouillie avec l'eau comme la chaux pure. L'eau la transforme en deux nouveaux composés: l'un, formé des matières terreuses et d'une certaine quantité de chaux analogue au tafelspath, c'est le vrai *ciment*; et l'autre, formé de chaux et d'eau, unis, comme dans l'hydrate ordinaire, dans le rapport de 2 à 1. Le ciment durcit promptement en rejetant la portion d'eau qui ne peut y rester en combinaison, et en se durcissant il s'attache fortement par adhérence aux grains de sable que l'on met dans le mortier, et aux pierres de la maçonnerie. L'hydrate de chaux contribue aussi à la solidification et au durcissement du mortier en se transformant en carbonate; mais cette transformation ne s'opère que peu-à-peu, et elle n'est complète qu'au bout d'un grand nombre d'années: voilà pourquoi la solidité des mortiers s'accroît avec l'âge pendant un assez long-temps. L'absorption de l'acide carbonique a lieu d'autant plus lentement, que la chaux contient plus de ciment. Dans les mortiers hydrauliques qui sont

(1) Cette observation fondamentale a été faite, pour la première fois, par Descostils, en 1813, *Journal des Mines*, tome 34, page 303.

R.

toujours couverts d'eau, la transformation en carbonate est plus prompte que dans les mortiers qui sont exposés à l'air, parce que l'eau dissout une portion de l'hydrate de chaux en même temps qu'elle apporte la quantité d'acide carbonique nécessaire pour la saturation de l'autre portion.

Plus une chaux contient de ciment, plus le mortier qu'elle donne est dur et solide; cependant il existe une certaine limite, passé laquelle la chaux perdrait la faculté de s'éteindre et de faire pâte avec l'eau (1).

Pour avoir de bons mortiers, il est très-essentiel de n'employer que de la pierre à chaux parfaitement cuite. Les pierres à chaux sont d'autant plus difficiles à cuire qu'elles sont plus pures; la présence des matières terreuses facilite le dégagement de l'acide carbonique: il faut donc calciner fortement les coquilles dans des fourneaux élevés. La chaux mal cuite est une combinaison homogène de chaux et d'acide carbonique qui renferme moins d'acide que le carbo-

(1) Guyton-Morveau et Descostils, qui ont écrit sur la chaux maigre, paraissent être de l'opinion que les substances que renferment les pierres à chaux forment une espèce de fritte par la calcination. Guyton pense que la chaux est combinée avec du fer ou avec de l'alumine, ou bien avec de la silice comme la potasse dans la liqueur des cailloux. (*Annales de chimie*, tome 37, page 253; tome 38, page 19-26.) De Saussure et l'ingénieur anglais Sméaton sont aussi de cet avis. (*Bibliothèque britannique*, octobre, 1796, page 207.) Descostils et Sméaton, qui ont analysé beaucoup de pierres à chaux, et qui ont trouvé comme moi qu'elles sont mêlées d'une certaine proportion de substances insolubles dans l'acide nitrique, variable de 0,02 à 0,20, croient que leurs parties constituantes entrent dans un nouvel état de combinaison par la calcination. (Note de l'Auteur.)

nate neutre : elle ne fuse pas bien dans l'eau ; elle ne forme pas une pâte homogène, et elle n'adhère pas aussi fortement aux pierres que la chaux caustique. Les maçons croient, en général, que la chaux éteinte, conservée pendant un an dans des fosses, s'améliore : il est possible en effet qu'il résulte de cette longue macération une homogénéité plus parfaite dans la pâte ; mais il y a toujours du danger à la conserver long-temps ainsi, à moins que les fosses ne soient hermétiquement fermées : car la chaux en bouillie, exposée à l'air, absorbe déjà en quelques jours beaucoup d'acide carbonique, et la cohésion du mortier en est très-affaiblie.

Les substances que l'on mêle avec la bouillie de chaux pour faire les mortiers (*les alliages*) se comportent d'une manière absolument passive ; on ne les emploie que pour augmenter le volume, et par conséquent diminuer la consommation de la chaux. Si la bouillie de chaux ne s'endurcit point par elle-même, les mélanges que l'on fera ne durciront pas davantage. Toute substance dont la cohésion est aussi grande que celle de la matière calcaire arrivée à son dernier degré de durcissement, peut servir d'alliage. Des circonstances locales peuvent bien quelquefois donner aux alliages qui absorbent l'eau (tels que la pouzzolane, le trass, la tuile pilée, etc.) la préférence sur ceux qui n'attirent pas l'humidité, notamment les grains de quartz, le sable, le verre, les scories, etc. ; mais, en général, les derniers sont à préférer, parce que la chaux y adhère fortement. On doit se représenter un mortier comme une masse composée d'espaces cellulaires remplis par l'alliage : on peut augmenter la proportion de l'alliage tant que les grains

ne se touchent pas et que la continuité des cloisons des cellules n'est pas rompue ; il suit de là que la proportion *maximum* de l'alliage dépend de la grosseur des parties, et qu'elle est d'autant plus grande que celles-ci sont plus grosses : c'est pourquoi le mortier préparé avec de la poudre de trass ou de la tuile pilée exige plus de chaux que le mortier fait avec du sable. L'expérience fait voir que pour un volume de bouillie de chaux, il faut deux volumes de poudre de pouzzolane, etc., ou trois volumes d'un alliage en grains.

On a proposé d'ajouter aux mortiers, pour les rendre plus durs, diverses substances telles que le fromage, le blanc d'œuf, la chaux non éteinte, l'oxide de manganèse, le marbre pilé, etc. ; mais l'expérience a prouvé que ces substances n'ont aucune efficacité ou sont même nuisibles : le fromage, le blanc d'œuf, l'oxide de manganèse sont nuisibles ; le marbre pilé joue le même rôle que toute autre matière pierreuse, parce que la chaux caustique ne lui fait éprouver aucune altération et ne lui enlève pas la plus petite quantité d'acide carbonique.

Si la théorie qui vient d'être exposée est exacte, il en résulte que la chaux de coquilles fait en général des mortiers moins solides et moins durables que la chaux de pierre, parce qu'elle est privée du ciment que renferme presque toujours celle-ci, et qu'il doit être possible de l'améliorer en y introduisant, par voie sèche, les principes élémentaires de ce ciment. C'est d'après ces considérations qu'on a fait les essais suivants, qui ont eu un plein succès.

On a mêlé de la poudre de coquilles d'huîtres, avec $\frac{1}{2}$ de sable siliceux ;

2°. Avec diverses proportions d'argile qu'on a fait varier entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{3}$;

3°. Avec $\frac{1}{40}$ d'oxide de manganèse.

On a pétri ces mélanges avec de l'eau, on les a moulés en boules, on les a fait sécher à l'air, et enfin on les a chauffés dans un four à chaux pendant quatre-vingt-seize heures.

Le mélange n°. 1 était agglutiné, mais friable; il s'est bien éteint dans l'eau, et il s'est dissous dans l'acide nitrique en laissant un résidu de petits grains de quartz fort cariés : la dissolution nitrique évaporée a laissé 0,035 de silice gélatineuse.

Les mélanges n°. 2 ressemblaient parfaitement à la chaux de pierre; ils se sont tous bien éteints dans l'eau avec chaleur, et aucun n'a donné de chaux morte.

Le mélange n°. 3 était brun de café et n'avait aucune propriété particulière. Il ne paraît pas que l'addition d'une petite quantité d'oxide métallique puisse améliorer la chaux, sinon peut-être dans le cas où on la cuirait à une température extrêmement élevée.

Rien ne sera donc plus facile que de se procurer de bonnes chaux hydrauliques, soit avec des coquilles de moules, soit avec des pierres calcaires pures : c'est aux constructeurs à déterminer le meilleur mélange à faire dans chaque circonstance. Les vieux mortiers provenant de décombres de bâtimens peuvent très-bien servir à faire de nouveaux mortiers d'excellente qualité en les calcinant convenablement.

En résumé on doit admettre, comme fondamentaux, les principes suivans :

1°. Il y a deux espèces de mortiers : ceux de la première espèce sont des mélanges intimes

de carbonate de chaux et de matières pierreuses qui y adhèrent fortement; ceux de la seconde espèce contiennent en outre un composé de la nature du tafelspath, et que l'on peut appeler le *ciment*. Beaucoup de pierres à chaux communes renferment les élémens nécessaires à la formation du ciment, et cette formation a lieu pendant la calcination en vertu d'une action analogue à celle des alcalis sur les oxides insolubles. Dans les bonnes chaux il y a une partie de ciment contre trois parties de chaux caustique.

2°. La chaux de coquilles diffère de la chaux de pierres calcaires communes par l'absence du ciment.

3°. Par addition d'alumine, de silice et d'oxide de fer et la calcination ultérieure, la chaux de coquilles devient tout-à-fait semblable à la chaux de pierres. Cela peut se faire en réduisant les matières terreuses en pâte, soit avec la chaux fusée, soit avec la pierre calcaire réduite en poudre, et en calcinant après la dessiccation.

4°. Le mortier qui contient du ciment est plus dur que celui qui en est dépourvu, et il est le seul que l'on doive employer dans les constructions hydrauliques, parce que l'eau dissout la chaux caustique et n'attaque pas le ciment.

5°. La bonté du mortier dépend de la causticité de la chaux; la chaux entièrement dépouillée d'acide carbonique par la calcination donne un mortier liant et solide à l'air, même sans la présence du ciment. La bonté de cette sorte de mortier décroît avec la proportion d'acide carbonique que contient la chaux, soit que celle-ci ait été mal calcinée, soit qu'ayant été longtemps exposée à l'air, elle ait repris son acide.

6°. Les alliages se comportent d'une manière

absolument passive, et ne sont point capables d'améliorer le mortier. Toute substance pierreuse qui adhère à la chaux caustique peut servir, soit en grains, soit en poudre, à la préparation du mortier, pourvu qu'on l'emploie dans une proportion telle, que la continuité des particules de chaux ne soit pas interrompue.

7°. Toute espèce de pierre qui adhère au mortier peut servir dans la maçonnerie comme la brique; mais comme les briques se détruisent presque toujours peu à peu par l'alternative de la sécheresse et de l'humidité, les pierres de taille sont préférées pour les constructions hydrauliques, quoiqu'elles coûtent plus cher.

8°. La pierre à chaux n'est pas décomposée par la chaux caustique et, lorsqu'elle est employée comme pierre de construction, elle se comporte d'une manière tout-à-fait passive.

9°. Les pierres à chaux et les coquilles peuvent être rendues parfaitement caustiques par une forte calcination de douze heures seulement.

Observations sur le Mémoire de M. John; par M. Vicat, ingénieur des Ponts-et-Chaussées. (Annales de chimie, tome 19, page 22.)

L'assertion de M. John relative à la chaux éventée, est en contradiction avec des faits récents tellement avérés, tellement multipliés, que je ne puis me dispenser de la combattre. J'ai, le premier, annoncé qu'une chaux grasse éteinte spontanément, et abandonnée, pendant une année, à l'action de l'air dans un lieu couvert et fermé aux vents, donne de bien meilleurs ré-

sultats que lorsqu'on l'emploie immédiatement selon la méthode ordinaire. Cette conclusion était fondée sur cent cinquante expériences, variées de diverses manières: il en résultait, par exemple, que la force du mortier ordinaire étant dans le cas le plus favorable d'une certaine série d'expérience représentée par 1506, celle du mortier à chaux éteinte spontanément devenait, dans les mêmes circonstances, égale à 2,293. Dernièrement, c'est-à-dire plus de six ans après mes premières recherches, j'ai recommencé sur des briques de mortiers conservés à dessein, de nouvelles épreuves, et j'ai trouvé, savoir: pour le mortier ordinaire, 1907; pour le mortier à chaux éteinte spontanément, 2500. Comment accorder ceci avec l'influence prétendue nuisible du contact prolongé de l'air sur la chaux éteinte spontanément? Il est vrai de dire que les idées reçues sur ce point de la doctrine des mortiers sont toutes en faveur de M. John; il est même à présumer qu'à raison de cet assentiment presque général, le savant chimiste allemand se sera dispensé d'examiner la chose avec cette rare sagacité dont il a fait preuve par-tout ailleurs: on ne trouve en effet, dans son mémoire, aucune expérience qui ait trait à la difficulté dont il s'agit.

Je ne sais si je dois m'attacher à réfuter sérieusement ce que dit M. John lorsqu'il compare la pouzzolane avec le sable; car la multiplicité des preuves à opposer aux conclusions de cet article, est la seule chose qui soit embarrassante. Il est sans doute des substances solides qui absorbent l'eau avec autant d'avidité que la brique pilée et la pouzzolane: ces substances devraient

donc, d'après M. John, produire un effet analogue : ainsi, un mélange de charbon pilé et de chaux grasse se solidifierait parfaitement dans l'eau; de plus, une pouzzolane préalablement imbibée d'eau jusqu'à saturation, et employée ensuite avec une chaux grasse, ne devrait pas se comporter autrement que le sable : or, c'est précisément le contraire de tout cela qui arrive.

Dans un mémoire lu, le 1^{er} février 1819, à l'Académie des sciences, j'ai dit qu'une légère calcination dispose la silice et l'alumine des argiles à se combiner intimement avec la chaux : les expériences que j'ai citées à l'appui de ma proposition ont été répétées par plusieurs ingénieurs et généralement confirmées. Il est vrai d'ajouter que les réactions ne s'opèrent bien que dans l'eau, et que les composés qui en résultent perdent insensiblement leur dureté par le contact de l'air. Peut-être M. John n'a-t-il appliqué l'usage de la pouzzolane qu'à la fabrication du mortier *atmosphérique*, ce qui explique parfaitement la méprise où il est tombé.

Je ne puis terminer ces réflexions sans manifester une extrême satisfaction de voir les faits essentiels que j'ai annoncés en 1817 et publiés en 1818, définitivement confirmés par le travail d'un chimiste aussi distingué, travail que l'on peut regarder comme une véritable contre-épreuve; car M. John a suivi une marche toute différente de celle que j'avais adoptée.

D'après ces nouvelles garanties, le gouvernement se décidera peut-être à défendre l'emploi de la chaux grasse dans les travaux publics, sur-tout pour les maçonneries de fondation.

ANALYSES de différentes pierres à chaux;

PAR M. P. BERTHIER, ingénieur au Corps royal des Mines.

Le travail de M. Vicat sur la chaux et sur les mortiers doit être placé au rang des plus beaux ouvrages qui soient dus aux membres du Corps des ponts et chaussées. Sa découverte relative à la fabrication des chaux hydrauliques artificielles est de la plus haute importance : le Gouvernement s'est empressé d'en tirer parti pour les constructions publiques, et déjà beaucoup de particuliers se préparent à l'imiter. En rendant sa découverte publique, M. Vicat a agi d'autant plus noblement, qu'il aurait pu en tirer un profit considérable, soit en la vendant, soit en s'en réservant l'exploitation au moyen d'un brevet d'invention.

M. Vicat et M. John se sont occupés de deux sujets distincts dans les ouvrages dont on vient de lire l'extrait; savoir, de la chaux et des mortiers. Relativement à la chaux, ces deux savans sont parfaitement d'accord; mais ils conviennent, l'un et l'autre, que la composition des chaux hydrauliques est variable, et que la question de savoir en quoi diffèrent les propriétés des chaux dont les principes ne sont pas identiques n'est pas encore résolue. Il est évident que l'on parviendra à résoudre cette question, soit en déterminant la composition d'un grand nombre de chaux dont les propriétés soient bien connues, soit en examinant les propriétés de diverses chaux préparées par synthèse. Je crois donc faire une chose utile en publiant les analyses et les essais que j'ai pu faire à ce sujet.

La théorie des mortiers n'est pas, à beaucoup près, aussi avancée que la théorie des chaux. M. John et M. Vicat n'ont pas la même manière de voir à cet égard; je discuterai leurs opinions à la fin de cet article. Il est bien à désirer que M. Vicat donne suite aux recherches qu'il a si bien commencées; personne n'est plus capable que cet habile ingénieur d'approfondir ce sujet, qui ne laisse pas de présenter des difficultés.

Calcaires donnant de la chaux non hydraulique.

	CHAUX GRASSES.						CHAUX MAIGRES.	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Carbonate de chaux.	0,970	0,965	0,985	0,950	0,940	0,872	0,745	0,609
Carb. de magnésie.	0,020	0,020	...	0,013	0,016	0,100	0,230	0,303
Carb. de fer. . . . .	.....	.....	.....	0,015	.....	.....	.....	0,030
Carb. de manganèse.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,060
Argile (silice, alum., oxide de fer).	0,010	0,015	0,015	0,022	0,039	0,028	0,012	.....
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	1,000	0,987	1,002
Chaux produites par les calcaires ci-dessus.								
Chaux.	0,964	0,954	0,972	0,935	0,916	0,860	0,780	0,600
Magnésie	0,018	0,018	.....	0,010	0,015	0,090	0,200	0,262
Argile.	0,018	0,028	0,028	0,040	0,069	0,050	0,020	.....
Oxide de fer, etc. . . . .	.....	.....	.....	0,015	.....	.....	.....	0,138

(1) Calcaire d'eau douce de Chateau-Landon,

près Nemours (Seine et Marne); compacte, jaunâtre, une peu cellulaire, sonore. Donne de la chaux très-grasse.

(2) Calcaire de Saint-Jacques; compacte, jaunâtre, un peu saccharoïde; il fait la base des montagnes du Jura; il donne une chaux très-grasse, qui ne fait prise que très-lentement.

(3) Calcaire grossier de Paris. Donne de la chaux très-grasse.

(4) Calcaire qui forme le toit de la mine de fer de la Voulté (Ardèche); compacte, blanc jaunâtre, renferme des coquilles qui prouvent qu'il est d'une formation contemporaine au calcaire du Jura. Pesanteur spécifique: 2,67. Donne de très-bonne chaux grasse.

(5) Calcaire de Lagneux (Ain); compacte, d'un gris jaunâtre peu foncé. Il donne de la chaux grasse, qui est très-employée à Lyon.

(6) Calcaire d'eau douce de Vichy (Allier); compacte, cellulaire, blanc jaunâtre. Donne de très-bonne chaux, mais médiocrement grasse.

(7) Calcaire des environs de Paris, et qui paraît appartenir à la formation d'eau douce; compacte, jaunâtre: il a été remis au laboratoire de l'École des Mines par M. Girard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, comme donnant de la chaux maigre, mais non hydraulique.

(8) Calcaire secondaire de Villefranche (Aveyron); lamellaire, de couleur ocracée. La chaux qu'on en a obtenue dans une expérience en petit s'est trouvée très-maigre, sans être hydraulique.

Ou voit, d'après ce tableau, 1°. que les pierres calcaires qui sont à-peu-près pures produisent toujours de la chaux grasse, ainsi que l'ont annoncé M. Vicat et M. John, et 2°. que les pierres cal-

caires très-mélangées, mais qui ne renferment pas d'argile, produisent de la chaux maigre, mais non hydraulique.

Calcaires donnant de la chaux hydraulique

	MOYENNEMENT HYDRAULIQUES.					TRÈS-HYDRAULIQUES.					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Carbonate de chaux.	0,900	0,853	0,892	0,899	0,890	0,825	.....	0,792	0,765	0,800	0,840
Carb. de magnésie..	0,050	0,004	0,030	0,220	0,020	0,041	.....	0,025	0,030	0,015	.....
Carb. de fer. . . . .	.....	0,062	.....	.....	.....	.....	.....	0,060	0,030	.....	.....
Carb. de manganèse.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,015	.....	.....
Argile {	silice. . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,065	0,116	0,170	0,100
	alumine	0,050	0,054	0,078	0,090	0,090	0,134	.....	0,038	0,036	0,010
	oxid. de fer. . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,010
	charbon . . . . .	.....	0,022	.....	.....	.....	.....	.....	0,020	.....	.....
Eau. . . . .	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,010	.....
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	.....	1,000	0,992	1,005	1,000
Chaux produites par les calcaires ci-dessus.											
Chaux.	0,870	0,830	0,840	0,820	0,820	0,745	0,688	0,740	0,683	0,700	0,740
Magnésie.	0,040	.....	0,025	0,015	0,015	0,035	0,060	0,020	0,020	0,010	0,160
Argile.	0,099	0,070	0,135	0,165	0,165	0,220	0,252	0,170	0,240	0,290	0,078
Oxide de fer, etc..	.....	0,108	.....	.....	.....	.....	.....	0,070	0,057	.....	0,016

(1) Calcaire de Vougy (Loire), entre Roanne et Chaulieu; sublamellaire, jaunâtre, rempli

d'ammonites et d'autres coquilles. Donne de très-bonne chaux qui prend dans l'eau.

(2) Calcaire de Saint-Germain (Ain); compacte, d'un gris foncé, veiné de calcaire blanc, lamellaire, et pénétré de griphites, etc. On emploie à Lyon la chaux qu'il produit, toutes les fois que l'on construit dans l'eau.

(3) Calcaire de Chaunay, près Mâcon; compacte, à grains fins, blanc-jaunâtre: il est de formation secondaire; on l'emploie à la fabrication de la chaux: cette chaux est hydraulique.

(4) Calcaire de Digna (Jura); compacte, pénétré de lamelles de calcaire, et empâtant un grand nombre de griphites, d'un gris très-foncé. Il produit de la chaux qui fait une bonne prise, et qui peut être considérée comme chaux hydraulique.

(5) Calcaire qui accompagne le précédent, et qui jouit des mêmes propriétés; compacte, à grains presque terreux, d'un gris clair.

(6) Calcaire secondaire de Nismes (Gard); compacte, gris jaunâtre. Donne une chaux hydraulique qui passe dans le pays pour être d'excellente qualité.

(7) Chaux de Lezoux (Puy-de-Dôme), fabriquée avec un calcaire d'eau douce marneux; on la dit excellente. On a coutume de l'éteindre en la laissant exposée en tas à l'air, après l'avoir humectée. Elle produit une gelée abondante avec les acides.

(8) Calcaire compacte, dont la localité est inconnue. Donne de très-bonne chaux hydraulique.

(9) Calcaire secondaire de Metz (Moselle); compacte, à grains presque terreux, d'un gris

bleuâtre ; plus ou moins foncé. La chaux qu'il produit est connue pour être très-hydraulique. Cette chaux, telle qu'on la prépare en grand, laisse dans les acides un résidu du poids de 0,05 au plus, et qui n'est autre chose que de la silice gélatineuse.

(10) Calcaire marneux de Senonches, près Dreux (Eure-et-Loir) ; compacte, très-tendre, s'écrase entre les doigts, absorbe l'eau très-rapidement ; il se délaye dans ce liquide presque comme une argile ; mais il ne tombe pas en poussière lorsqu'on le calcine. Cette pierre présente quelque chose de particulier ; elle n'est pas, comme les autres calcaires qui ont la cassure terreuse, un mélange de chaux carbonatée et d'argile ; elle laisse dans les acides un résidu farineux, doux au toucher, qui ne contient qu'une trace d'alumine, qui se dissout dans la potasse caustique liquide, même à froid, et qui se comporte en tout comme de la silice que l'on aurait séparée d'une combinaison ; cependant, il est certain que cette substance n'est, dans la pierre de Senonches, qu'à l'état de simple mélange : car, en opérant avec le plus grand soin, on trouve, par l'analyse, que la proportion de l'acide carbonique est justement celle qui convient à la saturation de la chaux. J'ai déjà rencontré de la silice soluble dans les alcalis, quoique hors de toute combinaison, dans quelques variétés de magnésie carbonatée ; mais je n'en avais jamais trouvé dans les pierres calcaires.

La chaux de Senonches est très-renommée : on l'emploie beaucoup à Paris ; elle prend plus promptement, et elle acquiert plus de dureté que la chaux de Metz. Elle se dissout dans les acides sans laisser le moindre résidu.

(11) Mélange de quatre parties de craie de Meudon et d'une partie d'argile de Passy (en volume), que M. de Saint-Léger emploie pour faire de la chaux hydraulique artificielle, dans la fabrique qu'il a établie auprès du pont de l'Ecole militaire. Le Gouvernement n'emploie maintenant que la chaux de M. de Saint-Léger dans les constructions publiques de Paris : on en a fait cette année une consommation immense pour le canal de Saint-Martin ; on l'a jugée supérieure à la chaux de Senonches : je me suis également convaincu de cette supériorité par des essais en petit ; j'ai toujours trouvé qu'au bout d'un certain temps la chaux de M. de Saint-Léger devenait très-sensiblement plus dure que la chaux de Senonches. Elle se dissout complètement dans les acides comme cette dernière. Elle foisonne des 0,65 de son volume par l'extinction ordinaire, lorsqu'on en sépare avec soin les morceaux qui échappent à la calcination. M. de Saint-Léger se propose d'agrandir sa fabrique de manière à pouvoir fournir incessamment à tous les besoins des consommateurs. Je ne doute pas que l'usage de sa chaux ne devienne bientôt général à Paris pour toutes les constructions qui exigent de la chaux hydraulique, d'autant qu'il ne la vend que 60 francs le mètre cube, tandis que la chaux de Senonches revient à 85 (1).

(1) M. Giraut, architecte de Nemours, est le premier qui ait fabriqué de la chaux hydraulique factice avec un mélange de craie et d'argile, d'après l'indication donnée par M. Vicat dans son ouvrage ; mais M. de Saint-Léger a considérablement perfectionné et simplifié le procédé : il est parvenu à vaincre toutes les difficultés qui se sont présentées, et il peut s'attribuer à juste titre le mérite d'avoir amené cet art nouveau à sa perfection.

En 1796, MM. Parker et Wyatts obtinrent une patente royale pour fabriquer à Londres une espèce particulière de chaux, qu'ils appelèrent alors *ciment aquatique*, et à laquelle ils ont donné dans la suite le nom de *ciment romain*. Leur entreprise a eu le plus grand succès, et il s'en est formé plusieurs autres du même genre, qui prospèrent également. On fait maintenant en Angleterre un commerce immense de ciment romain; on en expédie jusque dans les Indes orientales.

Ce ciment a la propriété de se solidifier presque instantanément comme le plâtre, lorsqu'on l'abandonne à lui-même, soit au contact de l'air, soit au milieu de l'eau, après l'avoir gâché en pâte un peu consistante, et sans qu'il soit nécessaire de le mélanger avec aucune autre substance. L'eau ne le détrempe pas; il acquiert, au contraire, une solidité plus grande quand il est constamment mouillé ou humide que quand il est exposé à la sécheresse; enfin sa dureté s'accroît avec le temps, et elle devient promptement au moins égale à celle des meilleures pierres calcaires. Ces qualités rendent cette matière extrêmement précieuse pour toutes les constructions hydrauliques, sur-tout lorsque les circonstances ne permettent pas d'opérer d'épuisemens, ou lorsque ceux-ci ne pourraient être effectués qu'en occasionnant de grandes dépenses. On en fait aussi un très-grand usage à Londres pour crépir les maisons, en guise de plâtre, et pour maçonner les fondations des grands édifices. Il faut beaucoup d'habitude pour le bien employer. Si l'on ne lui donne pas, en le gâchant, le degré de consistance convenable; si l'on ne se hâte pas de l'étendre et de

l'insinuer entre les interstices des pierres; si l'on interrompt le travail, etc., il se solidifie inégalement, il se gerce et il adhère mal aux matériaux de la maçonnerie. On ne doit l'employer pur que pour les ouvrages qui sont destinés à résister à l'action de l'eau; mais MM. Parker et Wyatts recommandent de le mêler avec du sable fin angulaire et bien lavé, dans la proportion de 2 parties sur 3 de ciment pour les fondations et pour les corniches exposées à la pluie, de 3, 4 à 5 parties sur 3 de ciment pour faire des mortiers ordinaires; de 3 parties sur 2 de ciment pour enduire les murs exposés au froid, et de 5 parties sur 2 de ciment pour enduire les murs exposés à la sécheresse ou à la chaleur.

Le ciment est réduit en poudre impalpable dans les fabriques même, aussitôt qu'il est cuit, en le passant sous des meules, et on l'expédie dans des barils bien fermés (1). On le mêle avec le sable avant de le gâcher. Il s'éteint lentement et en s'échauffant à peine; il absorbe peu d'eau et il n'augmente pas sensiblement de volume.

C'est avec des pierres calcaires très-argileuses, et dont je ferai connaître la composition dans un instant, que l'on prépare le ciment romain à Londres. On fait cuire ces pierres dans des fours cohiques, à feu continu, avec de la houille, de la même manière que les autres pierres à chaux; mais la conduite du feu exige beaucoup d'attention, parce que, lorsque la chaleur n'est pas suffisamment ménagée, le ciment éprouve un commencement de fusion et n'est plus propre à aucun usage.

M. Lesage, ingénieur militaire, a fait con-

(1) Il vaut, à Londres, environ 100 fr. le mètre cube.

naître, il y a vingt ans, les propriétés d'une espèce de chaux dont on faisait alors usage à Boulogne-sur-mer (Pas-de-Calais), et qu'il a désignée sous le nom de *plâtre-ciment*. On voit, par le rapport très-circonstancié qu'il a publié (1), que cette chaux est exactement la même chose que le ciment des Anglais : on la fabriquait aussi avec une pierre calcaire. M. Drapier a donné de cette pierre, qui se trouvait en rognons sur les bords de la mer, une analyse très-exacte (2), dont je vais reproduire le résultat avec celui que j'ai obtenu de l'analyse de la pierre anglaise, pour montrer l'identité de ces deux pierres.

	PIERRE anglaise.	PIERRE de Boulogne
Carbonate de chaux.....	0,657	0,616
Carbonate de magnésie.....	0,005	.....
Carbonate de fer.....	0,060	0,060
Carbonate de manganèse.....	0,019	.....
Argile. {	Silice.....	0,180
	Alumine.....	0,066
	Oxide de fer.....	.....
Eau.....	0,013	0,066
	1,000	0,970
	Chaux produites par les calcaires ci-dessus.	
Chaux.....	0,554	0,540
Magnésie.....	0,000	.....
Argile.....	0,360	0,310
Oxide de fer.....	0,086	0,150

(1) *Journal des Mines*, tome XII, page 459.

(2) *Idem*, tome XII, page 490.

La pierre d'Angleterre est compacte, à grain très-fin, dure, tenace, susceptible de prendre un beau poli, d'un gris brun. Sa pesanteur spécifique est de 2,59. On assure qu'elle se trouve en masses tuberculeuses dans des marnes. Elle présente souvent des cloisons minces et contournées, d'une substance cristalline, jaunâtre, translucide, que quelques fabricans prennent pour du sulfate de chaux; mais je me suis assuré que cette substance est du carbonate de chaux pur, et je n'ai trouvé de sulfate de chaux ni dans la pierre que j'ai analysée, ni dans le ciment. On croyait que la pierre à ciment n'existait qu'en un seul endroit de l'Angleterre; mais depuis quelques années on en a trouvé dans plusieurs lieux, et on dit qu'elle y est très-abondante.

La pierre de Boulogne est aussi compacte, à grain très-fin, dure, tenace et susceptible de prendre le poli; mais elle est d'un gris jaunâtre. On ne l'a jamais rencontrée qu'en cailloux roulés sur le bord de la mer. Il y a déjà long-temps qu'on a cessé de l'exploiter, parce qu'on prétend qu'elle est devenue trop rare. Il semble que les qualités précieuses de cette pierre, qualités qui ont été constatées de la manière la plus authentique par une commission dont M. Lesage a été l'organe, auraient dû attirer l'attention de toutes les personnes qui s'occupent de constructions, et déterminer quelques spéculateurs à rechercher s'il n'existe pas en France des gîtes de pierres semblables assez abondans pour être exploités. L'analyse de M. Drapier avait fait voir que ces pierres ne sont autre chose que des calcaires très-argileux : on sa-

vait par conséquent dans quels terrains on pouvait espérer d'en rencontrer. Le sol calcaire occupe en France une si grande étendue, qu'il est impossible que les tentatives que l'on aurait faites n'eussent pas été couronnées du succès. Loin de là, la fabrique établie à Boulogne a été presque aussitôt abandonnée que créée; personne n'a pensé à en fonder de semblables ailleurs; et le plâtre-ciment a été si promptement oublié, que lorsqu'à la paix les Anglais nous ont apporté leur ciment romain, on l'a reçu avec étonnement et comme une substance qui nous aurait été tout-à-fait inconnue: ils en ont établi un dépôt à Guernesey, d'où ils en répandent sur toute la côte; le gouvernement leur en achète maintenant une grande quantité pour les travaux du port de Cherbourg. Il faut espérer que nous ne tarderons pas à trouver moyen de nous exempter de leur payer ce tribut, en tirant cette matière de notre propre sol (1). Si, contre toute vraisemblance, on ne trouvait pas en France de pierres calcaires propres à la produire, on parviendrait sans doute aisément

(1) La ville de Saint-Petersbourg a maintenant son ciment romain comme Londres. Elle doit cet avantage à MM. Clapeyron et Lamé, ingénieurs des mines de France, attachés temporairement à l'Institut polytechnique de Russie, en qualité de professeurs, qui, ayant été chargés par le gouvernement de rechercher des pierres à chaux hydrauliques, firent la découverte d'un calcaire qui donne un ciment préférable à celui des Anglais, puisque, trois mois après l'immersion, il se trouve avoir acquis une dureté sensiblement plus grande, quoiqu'il se solidifie un peu moins vite. (Il est incolore). Cette découverte a déjà produit une économie de plusieurs centaines de mille francs dans les dépenses relatives aux travaux hydrauliques pour lesquels la recherche avait été commandée.

à la préparer artificiellement comme on prépare les chaux hydrauliques ordinaires. MM. de Saint-Léger et Girault ont déjà fait, à ce sujet, des essais qui ont eu un bon résultat: ils se proposent de les reprendre au printemps, et il y a tout lieu de croire qu'ils obtiendront l'un et l'autre un plein succès avant la fin de la campagne. Je crois qu'avec une partie d'argile plastique ordinaire ne contenant pas de sable, et 2 parties de craie en volume, ce qui revient à une partie d'argile pour 2 parties et demie de craie en poids, on aura une chaux très-hydraulique, et qui prendra aussi promptement que le ciment anglais. Cependant je serai observer qu'il n'est pas probable que l'on puisse obtenir, par des mélanges, des chaux hydrauliques qui acquièrent une dureté et une solidité aussi grandes que le ciment naturel, parce que ces qualités dépendent non-seulement de la composition de la matière, mais encore de son état de compacité. On conçoit en effet que plus une chaux hydraulique qui s'éteint sans changer de volume, a de densité, et plus ses molécules ont de facilité pour s'agréger entre elles, et en même temps moins elle prend de retrait en se consolidant. Or, quoi qu'on fasse, les mélanges artificiels seront toujours plus légers que les pierres naturelles. Je suis persuadé que les pierres à ciment de Boulogne et d'Angleterre doivent une partie de leurs qualités à leur compacité et à leur texture serrée. Il ne faudra pas perdre cette observation de vue dans les recherches ultérieures que l'on pourra entreprendre. Je n'ai pas encore eu occasion d'observer en France de pierres parfaitement semblables à celles de

Boulogne et d'Angleterre ; cependant en voici quatre qui s'en rapprochent par leur composition et dont il serait bon qu'on fit un essai en grand, quoiqu'elles n'aient pas la densité désirable.

Pierres calcaires très-mélangées.

	(1)	(2)	(3)	(4)	
Carbonate de chaux..	0,758	0,666	0,580	0,630	
Carbonate de magnésie. ....	.....	.....	0,060	0,040
Silicate de { Silice.....	.....	.....	.....	0,140
magnésie. { Magnésie..	.....	.....	.....	0,070
Argile. {	Silice.....	0,164	0,334	0,334	0,060
	Alumine....	0,070			
	Oxide de fer..	0,008			
Eau.....	.....	.....	0,026	0,060
	1,000	1,000	1,000	10,00	
Chaux produites par les calcaires ci-dessus.					
Chaux.....	0,640	0,530	0,471	0,547	
Magnésie.....	.....	.....	0,045	0,137
Silice.....	.....	.....	.....	0,213
Argile.....	0,360	0,470	0,484	0,103	

(1) Calcaire secondaire des environs de Nevers (Nièvre), route de Château-Chinon ; compacte, gris jaunâtre, peu dur, à cassure terreuse.

(2) Calcaire marneux qui accompagne l'ocre de Pourain (Yonne) ; compacte, blanchâtre, à cassure unie, presque terreuse.

(3) Calcaire marneux d'eau douce de Pont-du-Château (Puy-de-Dôme) ; semblable au précédent.

(4) Calcaire marneux d'Argenteuil, près

Paris ; compacte, blanc jaunâtre, tendre, très-léger. Sa texture est très-lâche, ce qui lui donne la faculté d'absorber beaucoup d'eau. Il fait gelée avec les acides. C'est un carbonate de chaux qui contient plus du quart de son poids de magnésite, et dans lequel cette substance joue le même rôle que l'argile dans les calcaires marneux ordinaires.

Il résulte déjà du grand nombre d'analyses que je viens de citer, que la silice seule peut former avec la chaux une combinaison éminemment hydraulique (calcaire de Senonches), et que la magnésie seule (calcaire de Paris), ou mélangée avec les oxides de fer et de manganèse (calcaire de Villefranche), ne peut produire une semblable combinaison, et rend la chaux maigre sans lui communiquer la propriété de se solidifier sous l'eau. Les expériences synthétiques que je vais rapporter vont confirmer les conséquences déduites de l'analyse, et prouveront en même temps 1°. que l'alumine seule n'a pas plus d'efficacité que la magnésie pour rendre les chaux hydrauliques ; 2°. que la silice est un principe essentiel à ces sortes de chaux, 3°. et que les oxides de fer et de manganèse, loin de jouer le rôle important que quelques personnes leur ont attribué, sont, au contraire, le plus souvent tout-à-fait passives.

Divers mélanges de craie et de sable blanc ordinaire ayant été cuits dans un four à chaux, l'on n'a obtenu que des chaux maigres non hydrauliques, et l'on a reconnu que la vingtième partie seulement du sable avait été attaquée et rendue soluble dans les alcalis.

En substituant le sable d'Aumont préparé pour la manufacture de porcelaine de Sèvres,

c'est-à-dire réduit en farine sous des meules, au sable ordinaire, la combinaison s'est mieux faite; mais toute la matière siliceuse n'a pas encore été attaquée, et il en est resté environ le tiers qui n'a pas pu se dissoudre dans les alcalis.

Ces expériences confirment l'observation faite par MM. John et Vicat; savoir, que pour que des matières terreuses quelconques se combinent bien avec la chaux, il faut qu'elles soient mélangées avec cette substance à l'état de particules indiscernables, et elles font voir de quelle importance il est d'effectuer ces mélanges avec tout le soin possible, pour obtenir de bonnes chaux hydrauliques artificielles.

On a calciné pendant une heure dans un creuset de platine, à la température d'environ 50° pyrométriques, un mélange de

Craie.	10g.
Silice gélatineuse (1).	1,5

La matière s'est éteinte avec une chaleur assez forte et en se gonflant légèrement: elle a formé une pâte consistante avec l'eau, et au bout de deux mois d'immersion, cette pâte avait acquis assez de fermeté pour résister à l'impression du doigt.

On a chauffé de la même manière,

Craie.	10g.
Silice gélatineuse.	4

La matière s'est éteinte avec une faible chaleur et sans augmenter de volume; ce qui est

(1) J'appellerai ainsi de la silice préparée chimiquement, c'est-à-dire séparée par les acides de sa dissolution dans les alcalis, puis bien lavée et fortement calcinée.

le caractère des chaux très-hydrauliques; on l'a agitée avec une grande quantité d'eau dans un flacon bouché, et l'on a recueilli sur un filtre la portion qui ne s'est pas dissoute: elle a pesé 6g,15; elle devait par conséquent être composée de

Chaux.	0,35
Silice	0,65

L'eau employée en grande masse tend donc à décomposer les divers silicates avec excès de base que l'on peut obtenir par la voie sèche, et à les amener à l'état de silicate neutre, composé théoriquement de

Chaux.	0,3582
Silice	0,6417

Mais lorsqu'on n'emploie ce liquide qu'en petite quantité, il est absorbé et solidifié, pour la plus grande partie, par la combinaison, et la même décomposition n'a pas lieu, ou plutôt il est probable qu'il se forme alors un mélange et peut-être même une combinaison d'hydrate de chaux et d'un silicate contenant plus de chaux que le silicate neutre et de l'eau de cristallisation.

On a calciné au creuset de platine 10g. de craie avec des quantités d'hydrate d'alumine correspondantes à 1g,042 d'alumine dans une expérience, et à 2g,36 dans une autre expérience. Les deux mélanges se sont éteints promptement avec une chaleur très-forte, et ils ont éprouvé un gonflement considérable: on en a fait des pâtes molles que l'on a mises sous l'eau; mais au bout de deux mois elles n'avaient pas pris la moindre consistance. Ces pâtes se sont dissoutes complètement dans l'acide muria-

Alumine.

tique, même à froid. Il paraît, d'après cela, que la chaux et l'alumine se combinent par la voie sèche, mais que la combinaison qui se forme est totalement décomposée par l'eau.

Oxide de fer, oxide de manganèse. La craie, calcinée avec diverses proportions d'oxide de fer ou d'oxide de manganèse, n'a produit que des chaux sans consistance, qui se sont comportées comme des chaux grasses, mélangées de matières inertes.

Ainsi, il est prouvé qu'aucun mélange dont la silice ne fait pas partie ne peut acquérir les propriétés hydrauliques; mais il restait à savoir si la présence de la magnésie, de l'alumine, et des oxides de fer et de manganèse, était nuisible, ou si ces substances étaient, au contraire, propres à améliorer les chaux hydrauliques. Or, il paraît résulter du petit nombre d'expériences que j'ai faites à ce sujet, et que je vais faire connaître, que les chaux qui contiennent à-la-fois de la silice et de l'alumine, et mieux encore celles qui contiennent à-la-fois de la silice et de la magnésie, acquièrent une dureté plus considérable que les silicates de chaux purs, et qu'au contraire les oxides de fer et de manganèse ne contribuent en rien à la consolidation des chaux.

Silice et magnésie. 108 de carbonate magnésien de Paris, n^o. 7, et 28 de silice gélatineuse, ont donné une chaux qui s'est éteinte avec une faible chaleur et un léger gonflement, et qui, au bout de très-peu de temps d'immersion, est devenue plus dure que la meilleure chaux hydraulique artificielle. Cette chaux devait être composée de

Chaux.....	0,560
Magnésie.....	0,166
Silice.....	0,274

108 de calcaire magnésien de Villefranche, n^o. 8, et 28 de silice gélatineuse, ont donné une chaux qui s'est comportée à-peu-près comme la précédente; mais elle n'a pas acquis une dureté aussi grande: elle devait être composée de

Chaux.....	0,46
Magnésie.....	0,20
Oxide de fer.....	0,05
Oxide de manganèse.....	0,03
Silice.....	0,26

Avec 108 de calcaire de Villefranche, 208 de craie et 38 de silice gélatineuse, j'ai eu une chaux composée de

Chaux.....	0,56
Magnésie.....	0,21
Oxide de fer.....	0,02
Oxide de manganèse.....	0,01
Silice.....	0,20

éminemment hydraulique et qui a acquis, au bout de peu de temps, une très-grande dureté.

Si l'on considère que la plupart des chaux hydrauliques, et même le ciment romain, sont produits par des calcaires argileux, il paraîtra évident que l'alumine ne nuit pas aux qualités de ces sortes de chaux, et en comparant la chaux artificielle de Paris à la chaux de Senonches, on verra que l'alumine, qui ne se trouve pas dans la dernière et qui existe, au contraire, en proportion considérable dans la première, contribue à leur donner de la dureté. Il y a certainement une proportion relative de silice et d'alumine qui est préférable à toute autre; mais on ne découvrira cette proportion que par de longs tâtonnemens. Un essai fait en grand avec 4 parties de craie et

Silice et
alumine.

1 partie de kaolin de Limoges, porte à croûte qu'il serait avantageux que la quantité d'alumine égalât la quantité de silice. Cette chaux, qui devait être composée de

Chaux.....	0,745
Alumine.....	0,125
Silice.....	0,150

a pris, très-peu de temps après son immersion, une consistance plus forte que celle de la chaux artificielle, préparée avec 4 parties de craie et 1 partie d'argile de Passy.

Silice et
oxide de fer. Une chaux préparée en grand avec 4 parties de craie et 1 partie d'ocre jaune (en volume), et qui devait contenir

Chaux.....	0,745
Alumine.....	0,055
Oxide de fer.....	0,070
Silice.....	0,150

n'a pris qu'une très-faible consistance, même long-temps après avoir été immergée. On ne peut pas s'empêcher d'attribuer à l'oxide de fer la mauvaise qualité de cette chaux, puisque avec une quantité d'argile égale à la quantité d'ocre employée, on obtient constamment une chaux éminemment hydraulique.

Silice et
oxide de
manganèse. On a calciné au creuset de platine 108 de craie, 2,5 de carbonate de manganèse et 2,5 de silice gélatineuse. La matière cuite était violacée; elle s'est éteinte avec chaleur: on en a fait une pâte molle, qu'on a placée sous l'eau. Au bout de deux mois, elle n'avait pris aucune consistance, tandis que la craie et la silice seules auraient donné une chaux qui se serait promptement solidifiée.

Quoique les expériences que je viens de rapporter aient été faites avec beaucoup de soin, je dois dire que l'on aurait tort d'accorder aux résultats qu'elles ont présentés une confiance trop entière, parce que l'essai des chaux hydrauliques en petit est sujet à beaucoup de difficultés. On peut affirmer qu'une chaux que l'on trouve hydraulique dans une expérience en petit, le sera aussi quand on la préparera en grand; mais l'inverse n'est pas également certain. La durée de la cuisson influe considérablement sur le résultat: pour chaque mélange il y a un certain degré de chaleur qu'il faut atteindre et qu'il ne faut pas dépasser; et telle combinaison qui aurait pu donner une chaux éminemment hydraulique, si elle eût été exposée à une température convenable et pendant un temps suffisant, ne pourra produire qu'une chaux maigre si elle n'a pas été assez chauffée, ou une chaux morte si on l'a trop fortement calcinée.

Les analyses que j'ai données dans cet article font voir que la plupart des pierres calcaires que l'on emploie à la fabrication de la chaux, sont des mélanges, en proportions très-variables, de carbonate de chaux et d'argile, et que la qualité des chaux qu'elles produisent dépend de la proportion relative de ces deux substances. Une pierre calcaire qui contient 0,06 d'argile donne une chaux déjà sensiblement hydraulique; lorsque l'argile s'y trouve dans la proportion de 0,15 à 0,20, la chaux est très-hydraulique; enfin la chaux prend instantanément et doit être réputée *ciment romain* quand la pierre calcaire renferme 0,25 à 0,30 d'argile. Outre le carbonate de chaux et l'argile, les pierres cal-

Moyen de reconnaître les pierres à chaux hydrauliques.

caires admettent presque toujours du carbonate de magnésie dans leur composition. La présence de cette substance ne produit guère d'autre effet que de rendre la proportion de l'argile plus grande par rapport à la proportion du carbonate de chaux ; mais par cela même elle contribue à exalter les propriétés hydrauliques des chaux. On conçoit, d'après ce que je viens de dire, que, pour apprécier les qualités d'une pierre calcaire relativement à la nature de la chaux qu'elle pourrait fournir, il suffit de déterminer la quantité d'argile et de magnésie qu'elle contient. Cette recherche peut se faire par un procédé très-simple et à la portée de tout le monde. Voici quel est ce procédé :

On broie la pierre et on passe la poussière au tamis de soie ; on met 105 de cette poussière dans une capsule, et l'on verse dessus peu à peu de l'acide muriatique (1) étendu d'une petite quantité d'eau, en agitant continuellement avec un tube de verre ou avec une petite baguette de bois ; on cesse d'ajouter de l'acide lorsqu'il ne se fait plus d'effervescence : alors on évapore la dissolution à une douce chaleur, jusqu'à ce que le tout soit réduit à l'état de consistance pâteuse ; on délaie la matière dans environ un demi-litre d'eau, et on la filtre ; l'argile reste sur le filtre : on fait sécher cette substance au soleil ou devant le feu, et on la pèse, ou, ce qui vaut mieux encore, on la calcine au rouge dans un creuset de terre ou de métal, avant de la peser. On verse de l'eau de chaux bien lim-

(1) A défaut d'acide muriatique, on peut employer de l'acide nitrique ou du vinaigre.

pide dans la dissolution, tant qu'il s'y forme un précipité ; on recueille le plus promptement possible ce précipité, qui est la magnésie (1), sur un filtre ; on le lave avec de l'eau pure ; on le calcine, ou on le dessèche le plus fortement que l'on peut, et enfin l'on en prend le poids.

Observations sur les mortiers.

M. Vicat admet, comme cause principale de la solidification des mortiers, l'action chimique que la chaux exerce sur les matières siliceuses. Il distingue les matières siliceuses que l'on emploie pour faire les mortiers en sables siliceux et pouzzolanes naturelles et artificielles, inattaquables par l'acide sulfurique, et en pouzzolanes naturelles et artificielles, attaquables par les acides ; et il dit que la chaux grasse n'a d'action que sur les matières siliceuses de la seconde espèce, tandis que les chaux hydrauliques ont une affinité très-grande pour toutes, mais sur-tout pour celles de la première espèce.

M. John pense, au contraire, que les substances que l'on mêle avec la bouillie de chaux pour faire les mortiers, et qu'il nomme *alliages*, sont tout-à-fait passives. Il se fonde sur l'observation qu'il a faite, que la chaux caustique n'attaque ni le quartz ni aucune substance pierreuse ; il croit que l'on doit, en général, préférer le quartz, le verre, les scories, aux pouzzolanes, parce que la chaux y adhère très-fortement.

(1) S'il y a du fer et du manganèse, ils se précipitent avec la magnésie. Il serait superflu de chercher à séparer ces trois substances les unes des autres.

Une telle divergence d'opinion entre deux savans aussi distingués prouve que l'on n'a pas encore toutes les données nécessaires pour éclaircir ce sujet; cependant j'avoue que la manière de voir de M. John me paraît beaucoup plus plausible que celle de M. Vicat.

L'assertion de M. Vicat, que la chaux en général et la chaux hydraulique en particulier agissent chimiquement sur les matières siliceuses, n'est appuyée sur aucun fait; elle est au contraire opposée à toutes les observations faites jusqu'à présent. Comment concevoir en effet qu'un silicate de chaux (chaux hydraulique), qui est déjà en partie saturé de silice, ait une forte action chimique sur le quartz; tandis que la chaux caustique, dont aucune combinaison préexistante n'affaiblit l'énergie chimique, ne l'attaque pas, et tandis même que la potasse caustique bouillante ne le dépolit même pas?

La composition des pouzzolanes naturelles est-elle bien connue? Jusqu'ici il n'en a pas été publié d'analyses satisfaisantes. Ces substances ont-elles réellement de l'analogie avec les argiles calcinées? Cela n'est nullement vraisemblable. Les argiles sont des silicates d'alumine, et si l'on juge de la nature des pouzzolanes par celle des roches volcaniques les plus communes, elles doivent contenir beaucoup de silice combinée avec de l'alumine et avec de la potasse, et en outre un mélange de minéraux divers, tels que du fer titané, etc.

M. Vicat dit que les chaux grasses donnent, avec les argiles légèrement calcinées, des mortiers qui prennent bien sous l'eau, parce que ce liquide facilite la combinaison de la chaux avec

la silice et l'alumine, mais que les composés qui en résultent perdent insensiblement leur dureté par le contact de l'air. S'il y avait réellement combinaison entre la chaux et l'argile, ce dernier effet n'aurait pas lieu; car on sait que le ciment romain, qui n'est autre chose qu'une pareille combinaison obtenue par la voie sèche, durcit au contact à l'air comme sous l'eau.

L'objection que fait M. Vicat contre la théorie de M. John, en avançant que si cette théorie était exacte, le charbon devrait produire un bon mortier avec la chaux, ne me paraît pas sérieuse. Effectivement M. John n'a pas prétendu que toute substance fût bonne à faire du mortier, par cela seulement qu'elle serait poreuse; il exige encore qu'elle ait une cohésion au moins aussi grande que celle que la chaux acquiert après sa consolidation: or, assurément le charbon ne remplit pas cette condition.

M. John pourrait, avec plus de fondement, demander à M. Vicat pourquoi l'on ne peut pas faire de mortiers avec l'argile crue, substance qui se prête, en général, plus facilement aux combinaisons chimiques que l'argile calcinée; tandis que cette dernière est au nombre des meilleurs matériaux que l'on puisse employer dans la confection des mortiers, par la raison, selon lui, qu'elle a une grande tendance à se combiner avec la chaux.

Je pense avec M. John que les alliages ne jouent aucun rôle chimique dans les mortiers. Ces alliages me paraissent avoir pour effet 1°. de diminuer la consommation de la chaux; 2°. de régulariser le retrait en le modérant et en le rendant uniforme, et en empêchant par là qu'il ne se forme des gerçures; 3°. probablement de

faciliter la dessiccation et la régénération du carbonate de chaux et d'accélérer la prise; 4°. et enfin d'augmenter la solidité des mortiers. Ce dernier effet est le plus important et mérite d'être examiné. Les molécules des alliages contractent avec les molécules de la chaux une adhérence plus ou moins forte. Si cette adhérence est moins grande que celle qui lie entre elles les molécules de la chaux, le mortier ne sera pas plus solide que ne l'aurait été l'hydrate pur : seulement il coûtera moins cher, il prendra plus vite et il sera moins sujet à se fendre en se desséchant, ce qui est déjà fort avantageux ; mais si la force de cohésion de la chaux est moindre que la force qui la fait adhérer à l'alliage, on conçoit que le mortier devra acquérir plus de ténacité que n'en aurait eu l'hydrate pur. Or, c'est probablement là ce qui a lieu dans tous les bons mortiers. Ce phénomène n'a rien qui puisse surprendre. Ne voit-on pas la peinture et les vernis adhérer au bois, la colle à la plupart des corps, l'or aux émaux, etc., avec une force telle, que l'on ne peut la vaincre que par des moyens chimiques ? Et cependant n'est-il pas évident que, dans aucun de ces cas, il n'y a combinaison, puisque, lorsqu'on enlève, en la détruisant, la peinture, la colle, etc., dont un corps était recouvert, on voit que ce corps n'a pas éprouvé la plus légère altération, et que s'il était poli, il a conservé tout son éclat ?

Dans un mortier qui doit sa solidité à l'adhérence de la chaux avec l'alliage, il est clair qu'il y a de l'avantage à multiplier le plus possible les surfaces de contact, et par conséquent à employer un alliage pulvérulent ; mais alors le mortier exige une plus grande proportion de

chaux que lorsqu'on se sert d'un alliage grenu. D'un autre côté, les alliages à gros grains ne peuvent pas donner des mortiers aussi solides que les alliages pulvérulents, parce qu'il reste entre les grains de l'alliage des espaces remplis de chaux pure, qui ne présentent pas la même résistance à la fracture que les parties occupées par l'alliage. Il paraît évident d'après cela, que, pour obtenir avec la plus petite quantité de chaux possible des mortiers qui aient le maximum de solidité qu'ils puissent acquérir, il faut employer des alliages qui renferment des grains de grosseurs diverses et des parties pulvérulentes, en évitant toutefois le mélange des matières argileuses qui sont susceptibles de faire pâte avec l'eau et qui n'ont par elles-mêmes aucune cohérence. M. de Saint-Léger a fait, l'été dernier, des essais en grand, dont les résultats s'accordent parfaitement avec cette conséquence. Il a trouvé que, contrairement à l'opinion commune, le sable dont on se sert habituellement à Paris donne un meilleur mortier lorsqu'on se contente de le laver, que lorsqu'on en sépare les grains très-fins par le moyen du tamisage.

Les pouzzolanes tant artificielles que naturelles diffèrent extrêmement les unes des autres par leur composition ; elles ne se ressemblent que par la faculté qu'elles ont de pouvoir absorber beaucoup d'eau sans se ramollir : cette faculté dérive de leur porosité. Il est donc très-probable que dans tous les cas où elles agissent sur la chaux d'une manière particulière et différente des autres alliages, tels que les sables quarzeux, le verre, etc., c'est, ainsi que le pense M. John, à leur porosité qu'elles doivent cette propriété. L'observation importante faite par M. Vicat ;

savoir, que l'argile légèrement cuite est un alliage excellent, tandis que la même substance fortement calcinée n'est qu'un alliage médiocre, vient à l'appui de cette opinion : car l'argile légèrement cuite et l'argile fortement calcinée ne diffèrent l'une de l'autre qu'en ce que la première est légère, poreuse et susceptible d'absorber l'eau ; au lieu que la dernière est devenue compacte et tout-à-fait semblable à une pierre par l'effet du retrait que son exposition à une haute température lui a fait éprouver ; elles sont d'ailleurs, l'une comme l'autre, dans un état tout autre que l'argile crue, puisqu'elles ne contiennent plus d'eau de combinaison, et qu'elles ne peuvent plus faire pâte avec ce liquide.

On sait que les corps poreux ont la faculté d'absorber et de condenser rapidement un grand nombre de substances gazeuses. Ne serait-ce pas parce qu'ils agissent de cette manière sur l'acide carbonique contenu dans l'air et dans l'eau, qu'ils ont la propriété d'accélérer la solidification de certains mortiers ? On concevrait alors pourquoi ils produisent cet effet avec la chaux grasse, tandis qu'avec les chaux très-hydrauliques ils ne donnent pas un meilleur résultat que les alliages non poreux ; car les mortiers de chaux grasses ne doivent leur solidification qu'à la régénération du carbonate de chaux, au lieu que la solidification des mortiers de chaux très-hydrauliques est indépendante de cette cause.

Concluons, en terminant, que la théorie des mortiers est encore très-imparfaite, et qu'il est à désirer que les personnes qui s'occupent de constructions s'attachent à recueillir des observations nouvelles et propres à éclaircir cette théorie.

ORDONNANCES DU ROI, CONCERNANT LES MINES,

RENDUES PENDANT LA FIN DU PREMIER TRIMESTRE DE
1822, ET LE DEUXIÈME DE CETTE MÊME ANNÉE.

ORDONNANCE du 27 février 1822, portant que le sieur Lallemand est autorisé, d'une part, à conserver le feu de forge, le martin et le laminoir, ou fenderie actuellement en activité dans les communes d'Usemain, Larue, et Xertigny, sur le ruisseau de Coucy (Vosges), ainsi qu'à remettre en activité le second feu de forge de cette usine ; et d'une autre part, qu'il est également autorisé à établir un martin et un feu au moulin de Razy, situé sur le ruisseau d'Améray, commune de Xertigny, même département, à mille mètres de la forge d'Usemain, lequel ne pourra rouler que lors du chômage de celui d'Usemain.

Usines d'Usemain, Larue et de Xertigny.

ORDONNANCE du 20 mars 1822, concernant une verrerie située à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Verrerie située à Marseille.

Louis, etc., etc., etc.

Sur le rapport de notre Ministre secrétaire d'État au département de l'intérieur ;

Vu, etc. ;

Notre Conseil d'État entendu ;

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

ART. 1^{er}. Le sieur Fery-Vallon est autorisé à transporter dans la rue Crudère, n^o. 8, à Marseille, département des