

métallique bleuâtre, et il ressemblait assez à du sulfure d'antimoine. On y voyait quelques grenailles très-petites de cuivre rouge : l'acide acétique en a séparé le sulfure de calcium avec dégagement de gaz hydrogène sulfuré, et sans dissoudre la plus petite trace de cuivre. Il devait être composé de :

Sulfure de calcium..... 0,33

Sulfure de cuivre..... 0,67

Sulfure de calcium et de fer. 208 de sulfate de chaux cristallisé, et 208 de protosulfate de fer anhydre ont donné un culot pesant 178,23. Ce culot était fondu et arrondi, mais très-boursoufflé et caverneux, et d'un gris-blanc métallique, peu éclatant. Il devait contenir :

Sulfure de calcium..... 0,49

Protosulfure de fer..... 0,51

Sulfure de magnésium, de cuivre et de fer. J'ai essayé aussi de combiner le sulfure de magnésium avec le sulfure de cuivre et avec le sulfure de fer; j'ai effectivement obtenu ces combinaisons, même en culots fondus, en réduisant divers mélanges de sulfate; mais je n'ai pas pu réussir à les obtenir parfaitement pures, et elles se sont toujours trouvées contenir une assez grande proportion de magnésie. La présence d'un sulfate alcalin n'a pas pu non plus déterminer la réduction complète du sulfate de magnésie en sulfure de magnésium, et empêcher qu'une grande partie de ce sel ne se décomposât, en laissant un résidu de magnésie.

RECHERCHES

Sur les mortiers, etc.; par L.-J. VICAT, 1 vol. in-4, 1818.

MÉMOIRE

RELATIF à la fabrication des pouzzalanes artificielles; par le même, An. de chim., tom. 15, pag. 365.

EXTRAIT; par M. COMBES, Élève-Ingénieur des Mines.

LES calcaires dont on retire la chaux par la calcination sont purs ou mélangés de substances étrangères, telles que la silice, l'alumine, la magnésie, les oxides de fer et de manganèse. Quand la pierre calcaire est pure, la calcination ne produit point d'autre effet que celui de chasser l'acide carbonique combiné avec la chaux. Il est indifférent, pour ces sortes de pierres, de les calciner trop long-temps ou à une température plus élevée que celle qui est strictement nécessaire pour chasser l'acide carbonique.

Pierres à chaux.

Effet de la cuisson.

Quant aux calcaires mélangés de silice, d'alumine ou d'oxides de fer et de manganèse, l'action du feu, après avoir chassé l'acide carbonique, opère une combinaison entre la chaux et les autres oxides : ici, si l'on élève trop la température, cette combinaison éprouvera un commencement de fusion ou de vitrification, et la chaux ne sera plus susceptible de fuser par l'action de l'eau. Il est donc nécessaire de calciner seulement au degré convenable la seconde espèce de pierres calcaires.

La combinaison de la silice avec la chaux est prouvée par la différence d'action de l'acide ni-

trique sur la pierre calcaire silicifère avant et après la calcination. Avant, la pierre se dissout en laissant un résidu sableux ; après, elle se dissout complètement. Cependant, pour que ceci ait lieu, il faut que la silice soit en particules très-fines, et disséminée dans la pierre ; lorsqu'elle s'y trouve à l'état de sable assez gros ou de sable fin non intimement mélangé, elle ne devient pas soluble dans les acides par la calcination.

Chaux grasses et maigres.

Les chaux provenant de la calcination du marbre ou des calcaires qui s'en rapprochent par leur pureté, jouissent de la propriété de foisonner beaucoup, c'est-à-dire d'augmenter considérablement de volume par l'extinction ordinaire : on les a appelées chaux grasses. Les chaux provenant de pierres calcaires mélangées de substances étrangères, quelle que soit leur nature, foisonnent moins que les premières : on les a appelées chaux maigres.

On a appelé chaux moyennes celles qui foisonnent moyennement : on conçoit qu'il n'y a point de ligne de démarcation entre ces diverses espèces de chaux.

Propriétés de ces chaux.

Toutes les chaux grasses, réduites en pâte molle par l'extinction et mises ensuite sous l'eau ou dans un bassin imperméable à l'air, peuvent rester un grand nombre d'années sans acquérir la moindre consistance ; mais si on forme avec la pâte de petits solides, et qu'on les expose au contact de l'air et à couvert, ces solides contractent, par la dessiccation et par l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, une dureté considérable, et deviennent susceptibles de recevoir un beau poli.

L'inverse a lieu pour les chaux maigres en

général ; c'est-à-dire qu'elles durcissent sous l'eau ou dans un bassin imperméable, tandis qu'au contact de l'air, elles n'acquièrent qu'une consistance crayeuse et ne deviennent jamais susceptibles de recevoir le poli.

Il faut excepter les chaux maigres dont nous avons déjà parlé, qui ne se dissolvent pas complètement dans l'acide nitrique : ces sortes de chaux se comportent à-peu-près comme les chaux grasses.

Comme toutes les chaux maigres ne jouissent pas de la propriété de durcir sous l'eau, il vaut mieux substituer à la division énoncée plus haut la division en chaux hydrauliques, c'est-à-dire susceptibles de durcir sous l'eau sans addition, et chaux communes, qui ne jouissent pas de la même propriété. Il n'y a point encore de ligne nette de démarcation entre les chaux hydrauliques et les chaux communes.

Chaux hydrauliques et communes.

Une chaux hydraulique, réduite par l'extinction ordinaire en bouillie liquide, rejette, en se solidifiant sous l'eau, une portion de celle qu'elle contenait d'abord ; si elle est en pâte ferme, elle se solidifie encore en absorbant une nouvelle quantité d'eau : d'où il suit que les élémens d'une chaux hydraulique tendent à s'unir plus intimement par l'intermède d'une certaine quantité d'eau qui passe à l'état solide.

On a beaucoup discuté sur la question de savoir quelle est la substance qui donne aux chaux la propriété de durcir sous l'eau : les uns ont regardé l'oxide de fer comme essentiel dans une chaux hydraulique, d'autres ont cru que l'oxide de manganèse jouait le rôle principal. Il résulte d'expériences certaines, qu'il y a de bonnes chaux hydrauliques qui ne contiennent ni oxide de fer

Composition des chaux hydrauliques.

ni oxide de manganèse. En outre la composition des chaux hydrauliques est très-variable : les unes ne renferment presque que de la silice, d'autres en contiennent très-peu. En quoi diffèrent les propriétés de ces chaux, dont les principes ne sont pas identiques? La question n'est point encore résolue. Toutefois la plupart des chaux hydrauliques renferment sur-tout de la silice et de l'alumine.

Chaux hydrauliques factices.

Puisque la silice et l'alumine ne sont que mélangées dans la pierre à chaux, et que la combinaison est l'effet de la calcination, il était naturel de croire que l'on pourrait fabriquer des chaux hydrauliques avec des calcaires donnant de la chaux grasse, pourvu que l'on ajoutât avant la cuisson les substances différentes de la chaux que l'on trouve dans la plupart des chaux hydrauliques. En effet, l'expérience a prouvé qu'on pouvait transformer des chaux communes en chaux hydrauliques. On a laissé une chaux commune grasse se réduire spontanément en poudre fine dans un endroit sec et couvert; on l'a pétrie ensuite, à l'aide d'une certaine quantité d'eau, avec de l'argile, et on en a fait des boules qui ont été séchées et cuites ensuite dans un four à chaux.

Les chaux communes très-grasses peuvent comporter 20 d'argile pour $\frac{100}{10}$; les chaux moyennes en ont assez de 15; 10 et même 6 suffisent pour celles qui ont déjà quelques qualités hydrauliques. Lorsqu'on force la dose jusqu'à 35 ou 40, la chaux que l'on obtient ne fuse pas; mais elle se pulvérise facilement, et donne, lorsqu'on la détrempé, une pâte qui prend corps sous l'eau très-prompement.

Par ce procédé, on peut faire une chaux

hydraulique aussi énergique que l'on veut, puisqu'on est maître des proportions d'argile que l'on ajoute. L'opération peut se faire dans un four à chaux ordinaire. On construira une voûte en pierre calcaire ordinaire, par-dessus cette voûte on placera les boules dont nous avons parlé, et chaque fournée donnera ainsi de la chaux hydraulique et de la chaux commune, que l'on transformera en chaux hydraulique dans la fournée suivante. M. Vicat a formé, avec de la chaux de Champigny et de l'argile de Vanvres, une chaux hydraulique factice très-supérieure à la chaux de Metz. Ce sera une chose à examiner, dans les pays à pierres tendres et crayeuses, s'il ne conviendrait pas de substituer la pulvérisation mécanique à la première cuisson.

Il y a trois procédés d'extinction principaux : le premier consiste à immerger la chaux vive dans une quantité d'eau suffisante et à la laisser se déliter, se fondre. Ce procédé est le plus généralement adopté, mais il ne faut point ajouter une trop grande quantité d'eau : c'est aussi un inconvénient de mettre l'eau à plusieurs reprises. On a remarqué que les morceaux déjà échauffés et qui reçoivent l'eau projetée ensuite, se divisent mal, et que la bouillie reste grenue; il faut donc mettre de suite la quantité d'eau suffisante, ou attendre, pour en ajouter, le refroidissement de la masse.

Procédés d'extinction.

Le deuxième procédé consiste à plonger la chaux vive dans l'eau pendant quelques secondes, et à la retirer avant qu'elle commence à fuser. La chaux se réduit en poudre fine après l'immersion, et il est remarquable que les chaux hydrauliques se divisent mieux que les chaux grasses communes. Pour celles-ci, il faut les

réduire, avant l'immersion, à la grosseur d'une noix, et les accumuler immédiatement après dans des caisses ou futailles, afin de concentrer la chaleur sans que l'eau puisse se vaporiser.

Le troisième procédé consiste à laisser la chaux vive soumise à l'action lente et continue de l'atmosphère : elle se divise ainsi en poussière fine avec un léger dégagement de chaleur et sans vapeurs visibles.

Voici un tableau indiquant les quantités d'eau absorbée, et le volume pris par deux chaux, dont une grasse et l'autre hydraulique, soumises aux trois procédés décrits.

	POIDS de l'eau absorbée.	VOLUME en pâte.	
Les pâtes ont toutes la même consistance.	1 kilogr. de chaux commune grasse réduite en pâte par le premier procédé.	2,56	3,10
	<i>Idem</i> , éteinte d'abord par immersion et réduite en pâte.	1,31	1,04
	<i>Idem</i> , éteinte d'abord à l'air et réduite en pâte.	1,48	1,76
	1 kilogr. de chaux hydraulique réduite en pâte par le premier procédé.	1,05	1,57
	<i>Idem</i> , éteinte par immersion et réduite en pâte.	0,71	1,27
	<i>Idem</i> , éteinte à l'air et réduite en pâte.		1,00

Il résulte du tableau ci-dessus que l'on peut faire avec des quantités égales d'une même chaux et des quantités d'eau différentes, des pâtes égales non en volume, mais en consistance; ce qui tient aux différens degrés de ténuité que les particules de la chaux contractent par les trois procédés d'extinction.

Une chose fort remarquable, c'est qu'une chaux éteinte d'abord par immersion, ou spontanément à l'air, n'est point susceptible de se diviser lorsqu'on y ajoute de l'eau, comme elle l'eût fait si on l'eût d'abord éteinte par le procédé ordinaire; ce qui prouve évidemment que les deux derniers procédés d'extinction, outre qu'ils divisent la chaux moins bien que le procédé ordinaire, donnent en outre à ses particules la faculté de tenir quelque temps dans l'eau sans se développer.

Nous avons déjà parlé des propriétés distinctives et caractéristiques des hydrates de chaux hydrauliques et de chaux communes. Les hydrates de chaux communes durcissent à l'air, 1^o. par la dessiccation et la combinaison intime de l'eau qui reste avec la chaux; 2^o. par la combinaison de celle-ci avec l'acide carbonique. Quant aux hydrates de chaux hydrauliques, ils ne contractent jamais une grande dureté au contact de l'air.

Dans les expériences que M. Vicat a faites à ce sujet, il donnait à tous ses hydrates la même consistance, à-peu-près celle de l'argile préparée pour les poteries. Il formait, avec ces pâtes fermes des prismes quadrangulaires, ayant pour section un rectangle de 0,004 de base sur 0,025 de hauteur; il a exposé tous ces hydrates pendant plusieurs jours à la chaleur solaire de l'été; il a raclé la légère couche de carbonate de chaux qui s'était formée à la surface, et il a essayé la dureté des hydrates par un foret, et leur ténacité par le poids nécessaire pour rompre les prismes. Il a ainsi constaté que, pour chaque espèce de chaux, le procédé d'extinction qui divise le mieux la chaux, est aussi celui qui donne la

Hydrates
de chaux.

plus grande dureté aux hydrates; qu'ainsi, pour les chaux communes grasses, les trois procédés d'extinction, rangés par ordre de supériorité, sont, 1°. le procédé ordinaire, 2°. l'extinction spontanée, 3°. l'extinction par immersion.

Pour les chaux hydrauliques l'ordre change et devient :

1°. L'extinction ordinaire, 2°. par immersion, 3°. spontanée.

En essayant ainsi des prismes que l'on a laissés pendant quelques jours seulement exposés à la chaleur solaire, et en ayant soin de racler la croûte de carbonate de chaux qui s'est formée, on estime la dureté et la ténacité de l'hydrate; mais si on laisse ces prismes exposés au contact de l'air pendant un long espace de temps, une année, par exemple, l'acide carbonique régénère une partie de la chaux. L'épaisseur des parties ainsi régénérées au bout du même temps est plus considérable pour les chaux hydrauliques que pour les chaux communes: d'ailleurs cette épaisseur varie considérablement par l'effet d'un grand nombre de causes que l'on peut aisément apercevoir. M. Vicat a soumis à de nouvelles épreuves, au bout d'un an, les bouts des prismes cassés dans la première expérience; il a fait l'épreuve du foret avec beaucoup de soin, et il en a conclu que les trois procédés d'extinction conservaient le même ordre de supériorité déjà indiqué pour les hydrates;

Que certaines chaux communes pouvaient former, par le seul concours de l'eau, des corps aussi durs que beaucoup de pierres calcaires naturelles;

Que l'action de l'air augmente avec le temps la dureté des parties qu'elle peut atteindre;

Que les chaux hydrauliques ne forment que des hydrates légers et tendres;

Que les hydrates de chaux hydrauliques ne contractent point au contact de l'air la même solidité que ceux de chaux communes;

Qu'enfin la dureté de ces composés n'est point du tout proportionnelle à leur ténacité.

L'eau n'attaque point les hydrates de chaux hydrauliques, elle attaque les hydrates de chaux communes en les dissolvant. On concevra, en effet, que les substances combinées dans les chaux hydrauliques doivent s'opposer à la dissolution de la chaux par l'eau.

Action de l'eau.

TABLEAU des duretés et résistances relatives de divers composés de chaux et d'eau.

INDICATIONS.	PROCÉDÉ d'extinction.	RÉSISTANCES RELATIVES		DURETES RELATIVES.	
		Hydrate sec.	âgé d'un an.	Hydrate sec.	âgé d'un an.
Chaux très-maigre et éminemment hydraulique et colorée. . . .	1 ^{er} .	450	1953	0,034	0,054
	2 ^e .	175	1744	0,029	0,049
	3 ^e .	55	1721	0,024	0,025
Chaux moyenne, hydraulique.	1 ^{er} .	800	2450	0,048	0,080
	2 ^e .	450	1520	0,040	0,075
	3 ^e .	200	1500	0,036	0,057
Chaux très-maigre éminem ^t . hydraulique et presque blanche. .	1 ^{er} .	1150	2852	0,067	0,100
	2 ^e .	460	2200	0,064	0,092
	3 ^e .	585	2260	0,042	0,050
Chaux grasse, commune et très-blanche.	1 ^{er} .	1035	2800	0,121	0,200
	2 ^e .	135	1122	0,053	0,050
	3 ^e .	506	1542	0,059	0,050
Chaux éminemment grasse, commune et très-blanche.	1 ^{er} .	3690	3654	0,166	0,500
	2 ^e .	810	2767	0,121	0,160
	3 ^e .	3015	4002	0,155	0,200

En soumettant aux expériences précédentes une bonne brique de première cuite, on trouve que sa résistance est exprimée par 5690 et sa dureté par 0,096. Dans le tableau précédent, on remarque que deux chaux très-maigres et éminemment hydrauliques toutes les deux, fournissent des hydrates qui diffèrent d'une manière extrêmement sensible par leur dureté et leur résistance ou ténacité; l'une de ces chaux est colorée, l'autre ne l'est point. Il serait intéressant de savoir à quoi tient cette différence, et quelles sont les propriétés particulières que communique à la chaux chacune des substances qui peuvent la rendre hydraulique.

Matières que l'on mêle avec la chaux pour obtenir des mortiers. Les matières que l'on mêle avec la chaux pour obtenir des mortiers, sont les sables et les pouzzolanes. Les sables éminemment siliceux sont assez connus, il suffit de les indiquer.

Pouzzolanes naturelles. On réunit, sous le nom de pouzzolanes, un grand nombre de substances différentes, qui se composent en général de silice, d'alumine, d'oxide de fer et d'un peu de chaux: on y trouve quelquefois de la magnésie et de l'oxide de manganèse. On distingue les pouzzolanes en naturelles et en artificielles: les premières se trouvent dans les terrains volcaniques, et résultent en général de l'altération, par diverses causes, des produits rejetés par les volcans. Les laves lithoïdes, scoriacées, les basaltes et les cendres volcaniques, l'argile brûlée rouge, ou pouzzolane proprement dite, forment autant de variétés.

Distinction des diverses pouzzolanes. Les principes élémentaires sont à-peu-près les mêmes dans toutes, mais l'état de combinaison est très-différent. Si l'on traite par l'acide sulfurique diverses pouzzolanes, les unes s'y dissolvent facilement en laissant la silice à l'état géla-

lineux; d'autres seront attaquées difficilement; enfin il y en aura de tout-à-fait inattaquables.

Toutes les substances qui renferment à-peu-près les mêmes principes que les pouzzolanes volcaniques, sont susceptibles de les remplacer. Ainsi, les scories de forge, la cendrée, les débris de poterie, la brique pilée, sont autant de pouzzolanes artificielles. Au reste, les propriétés des pouzzolanes sont dues, non à la présence des oxides de fer, ou de manganèse, ou de la chaux, mais à un état de combinaison particulier de la silice et de l'alumine, auquel on peut ramener toutes les argiles douces et grasses au toucher par une légère cuisson. Le moyen qui paraît avoir le mieux réussi jusqu'à présent, consiste à réduire l'argile sèche en poudre très-fine, et à la calciner pendant quelques minutes, sur des plaques métalliques chauffées au rouge brun: cette calcination peut s'effectuer aisément dans un four à réverbère. Il est probable que ce moyen de former des pouzzolanes factices sera employé lorsqu'on aura imaginé un moyen plus commode de calcination. Il faut observer que, pour obtenir de bonnes pouzzolanes factices, il ne faut point soumettre l'argile à un feu très-fort. Ce fait, bien constaté, est diamétralement opposé à l'opinion assez généralement répandue auparavant, qu'il fallait soumettre les substances destinées à faire l'office de pouzzolanes à la plus haute température possible.

Des mortiers en général. Un mortier quelconque est formé avec de la chaux et l'une des substances dont nous venons de parler. Souvent il entre dans la composition du mortier à-la-fois du sable et des pouzzolanes. Les mortiers peuvent être distingués en deux

grandes classes, les mortiers hydrauliques destinés aux constructions qui doivent être sous l'eau, et les mortiers ordinaires.

Mortiers hydrauliques ou bétons.

Les bétons ont été soumis à deux épreuves principales : la première a fait connaître le temps employé par chacun d'eux à parvenir à un degré de consistance déterminée, le second a eu pour but de déterminer leur dureté relative à diverses époques.

L'instrument servant à la première épreuve était une tige d'acier enfoncée par un bout dans un culot de plomb. La vitesse du durcissement a été indiquée par le nombre de jours qui se sont écoulés depuis l'immersion du béton jusqu'à celui où il a pu supporter la tige sans dépression sensible.

La seconde épreuve a été faite en enfonçant une tige aiguë d'acier fondu, soumise à une percussion constante par le moyen d'une machine. M. Vicat a déterminé, par des expériences préliminaires, que « les carrés des nombres qui expriment les enfoncements de la tige sont réciproquement proportionnels aux résistances à la force qui tend à rompre le béton ». Comme c'est cette dernière résistance qu'il importe le plus de déterminer, elle a été déduite des expériences faites à l'aide de la machine par le calcul, d'après le principe énoncé plus haut. (*Voyez, pour la description de la machine et pour plus de détails, le Mémoire de M. Vicat, p. 35.*)

Les pouzzolanes ont été passées au tamis et bien mêlées à la chaux, de manière à former une pâte ferme, quoique ductile. Les bétons ont été immergés dans cet état, et l'on a pris, pour les contenir, des gobelets coniques de verre blanc

de 0,^m10 de hauteur, sur 0,07 à 0,08 de diamètre. Cette enveloppe empêche de reconnaître si le béton aurait, sans son secours, conservé sa forme primitive ; mais c'est ce qu'il importe peu de savoir, puisqu'on n'emploie jamais les bétons sans qu'ils soient maintenus par une sorte d'enveloppe.

Les expériences nombreuses de M. Vicat l'ont conduit à conclure que les sables siliceux conviennent aux chaux éminemment hydrauliques ; que les pouzzolanes, facilement attaquées par les acides, conviennent aux chaux très-grasses, et qu'enfin les chaux moyennes demandent, pour donner un bon mortier hydraulique, des pouzzolanes plus difficilement attaquables par les acides, de telle sorte que si l'on écrivait sur une ligne toutes les espèces de chaux, en commençant par les plus grasses, et vis-à-vis les pouzzolanes qui leur conviennent, les sables siliceux placés vis-à-vis les chaux éminemment hydrauliques, seraient joints aux pouzzolanes plus facilement attaquées par l'acide sulfurique, par des pouzzolanes rebelles aux acides, difficilement attaquables, etc.

En examinant ensuite l'influence du procédé d'extinction, on a conclu que le procédé d'extinction dépendait à-la-fois et de la nature de la chaux et de la nature de la pouzzolane.

Pour se rendre compte de ces divers phénomènes, on conçoit qu'un mortier quelconque se solidifie par la combinaison qui se forme entre la chaux et les substances que l'on mêle avec elle : il faudra donc toujours tendre à favoriser cette combinaison. Les pouzzolanes attaquables par l'acide sulfurique le seront aussi par la

Matières que l'on doit ajouter à chaque espèce de chaux.

Influence du procédé d'extinction.

Causes de la solidification.

chaux, par conséquent elles se combineront plus facilement : celles qui sont rebelles aux acides résisteront aussi à l'action de la chaux.

D'un autre côté, les divers procédés d'extinction divisent inégalement la chaux, comme nous l'avons déjà vu. Plus la chaux est divisée, plus elle doit pouvoir entrer aisément en combinaison avec les substances mêlées avec elle. Ainsi, si l'on veut former un béton avec une chaux éminemment grasse et une pouzzolane facilement attaquable, il faut employer le procédé d'extinction ordinaire, parce qu'on favorise alors l'action très-énergique de la chaux sur la pouzzolane.

Mais il faut encore tenir compte d'une autre force. Lorsque la chaux est éteinte par l'immersion ou l'exposition à l'air libre, elle tend ensuite, lorsqu'elle est immergée, à prendre un plus grand volume. Le béton étant contenu dans une enveloppe qui ne lui permet point de se dilater, cette tendance produit une compression sur le béton, et le rend par conséquent plus compacte. Remarquons que l'effet dont nous venons de parler est d'autant plus grand, que le foisonnement de la chaux par l'extinction est moindre; ce qui tend, abstraction faite de toute autre considération, à faire préférer les procédés par immersion et spontanée au procédé ordinaire d'extinction : tandis que, pour favoriser la première cause de solidification, on doit adopter le procédé ordinaire. On conçoit maintenant comment il arrive, suivant les cas, que l'un des procédés est supérieur à l'autre. A l'exemple déjà cité, on peut joindre celui-ci, qui est inverse. Si on n'a à sa disposition qu'une chaux très-

grasse et une pouzzolane médiocre, l'affinité sera peu puissante; par conséquent il faudra y suppléer en employant le procédé d'extinction spontanée ou par immersion, qui favorisera la seconde cause de solidification. Pour une chaux éminemment hydraulique et un sable siliceux très-fin, il faut employer le procédé d'extinction qui divise le mieux la chaux, c'est-à-dire le procédé ordinaire, parce que l'affinité entre les chaux hydrauliques et le sable est considérable.

La quantité de chaux que l'on doit employer relativement à telle ou telle pouzzolane, doit être déterminée, dans chaque cas particulier, par une expérience préliminaire.

Quantité de chaux à ajouter.

Les bétons composés de chaux communes et de pouzzolanes qui ne sont pas très-énergiques, se détériorent à la surface qui est en contact avec l'eau. Si on examine les parties détériorées, on y trouve tous les éléments du mortier, sauf une partie de la chaux qui a été entraînée par l'eau. Ce qui est remarquable, c'est que l'action de l'eau paraît s'arrêter lorsqu'elle a enlevé une portion de chaux faiblement combinée, de telle sorte que la quantité de chaux qui reste est juste celle qui doit donner au béton la plus grande dureté. Ceci ne s'applique évidemment qu'aux bétons de chaux communes; ceux qui sont composés de chaux hydrauliques ne sont en aucune façon attaqués par l'eau, et l'on en conçoit aisément la raison, d'après les propriétés déjà connues des chaux hydrauliques.

Action de l'eau sur les surfaces.

Les bétons doivent être, en général, gâchés fermes autant que possible sans cesser d'être ductiles, pour faire promptement corps sous

Fabrication du béton.

Durée de la prise.

l'eau. Il ne faut point laisser les bétons prendre à l'air une demi-fermeté avant de les immerger; il faut employer la chaux éteinte depuis quelques jours. La durée de la prise du béton dépend à-la-fois et des principes constituans et du procédé d'extinction.

Il résulte des expériences :

1°. Que les proportions de chaux et de pouzzolane qui donnent la plus grande dureté, sont aussi les plus favorables à la prise;

2°. Que les deux derniers procédés d'extinction sont plus favorables à la prise que le premier;

3°. Que, sous ce rapport, les pouzzolanes énergiques conviennent aux chaux communes, et les médiocres aux chaux hydrauliques.

Durcissement avec le temps.

Les bétons à chaux communes durcissent plus de la seconde à la troisième année que de la première à la seconde; les bétons à chaux éminemment hydrauliques commencent à cesser de durcir à la fin de la seconde année; les bétons conservent leur ordre de dureté sans cependant conserver les mêmes rapports de dureté; enfin, les mortiers à chaux hydrauliques atteignent plus tôt que les autres leur *maximum* de dureté.

Le tableau suivant est destiné à prouver l'influence réciproque des qualités de la chaux et des autres ingrédients. Les bétons sont composés, tous, de chaux éteinte par immersion et sont âgés de deux ans.

CHAUX.	MATIÈRES	RÉSISTANCES
	MÉLANGÉES.	RELATIVES.
Éminemment hydraulique.	Sable granitique. . .	2454
	Sable et argile ocreuse cuite, mêlés par moitié.	2040
	Argile ocreuse cuite. .	1620
Éminemment hydraulique, moins énergique que la précédente.	Sable granitique. . .	1500
	Sable et argile ocreuse cuite, mêlés. . . .	1562
	Argile ocreuse cuite. .	1108
Moyennement hydraulique.	Sable granitique. . .	238
	Sable et argile cuite mêlés.	1234
	Argile cuite seule. . .	4000
Chaux commune très-grasse.	Sable granitique. . .	0000
	Sable et argile cuite mêlés.	826
	Argile seule.	2040

Les mortiers ordinaires sont tous formés de chaux et de matières siliceuses. Ainsi, sous le rapport de leurs élémens, leur étude paraît plus simple que celle des mortiers hydrauliques; mais, d'un autre côté, ceux-ci sont placés dans un fluide qui reste toujours le même; les autres, au contraire, exposés aux vicissitudes des saisons, pouvant d'ailleurs être placés soit dans les parties basses, soit dans des parties élevées et exposées au soleil, doivent être étudiés sous ces divers points de vue.

Un mortier composé de chaux grasse commune et de sable n'est point susceptible de prendre une grande dureté. Cette chaux, em-

Mortiers ordinaires.

Mortiers de chaux commune.

ployée seule, durcit à l'air, comme nous l'avons vu; lorsqu'on la mêle avec du sable, les particules de chaux, se desséchant séparément, sont régénérées aussi séparément par l'acide carbonique de l'air, et le sable paraît empêcher la chaux de se contracter comme elle le ferait si elle était employée seule: de sorte que des mortiers semblables donnent toujours des masses poreuses et friables.

Mortiers de chaux hydrauliques.

Les chaux hydrauliques rendent, dans les constructions à la surface du sol, d'aussi grands services que dans les constructions qui doivent être submergées: elles forment avec les sables des mortiers extrêmement durs, qui acquièrent une résistance considérable sur-tout quand on les fait dessécher lentement, comme cela sera exposé ci-après.

Mortiers de chaux moyennes.

On conçoit facilement que les chaux moyennes doivent jouir de propriétés intermédiaires entre les deux espèces précédentes.

Sables.

Les sables que l'on mêle aux chaux diffèrent entre eux principalement par leur degré de grosseur. On peut les distinguer en sables gros, sables mêlés et sables fins. Les sables gros conviennent mieux aux chaux communes, les sables fins aux chaux éminemment hydrauliques, les sables mêlés aux chaux moyennes.

Procédés d'extinction.

Les procédés d'extinction rangés par ordre de supériorité pour les chaux communes, sont: 1°. l'extinction spontanée; 2°. l'extinction par immersion; 3°. le procédé ordinaire. Pour les chaux hydrauliques, l'ordre est interverti et devient: 1°. le procédé ordinaire; 2°. l'extinction par immersion; 3°. l'extinction spontanée.

Causes de

Les causes de la solidification des mortiers

paraissent être l'affinité des chaux pour les matières siliceuses, la tendance du mortier à se développer ou à se contracter, enfin la régénération de la chaux par l'acide carbonique de l'air. la solidification.

Les chaux communes grasses qui à l'air durcissent lorsqu'on les emploie seules, ne donnent que des corps poreux et friables lorsqu'elles sont mêlées avec du sable; ce qui annonce que ces chaux n'ont qu'une très-faible action sur les particules siliceuses. Le sable que l'on mêle à ces chaux les empêche de se contracter à mesure qu'elles se dessèchent: c'est là ce qui fait qu'elles ne peuvent point prendre la dureté que les hydrates de chaux seuls prennent au contact de l'air; et l'on conçoit encore facilement, d'après cette dernière observation, pourquoi le procédé ordinaire, qui produit un foisonnement considérable, est contraire à la solidité de ces mortiers.

Les chaux hydrauliques paraissent avoir acquis, par leur combinaison avec une certaine dose de silice et d'alumine, la faculté de se combiner ensuite plus énergiquement avec de nouvelles quantités de sable; et cette combinaison se fait d'autant mieux, que la chaux et le sable sont plus divisés, et que le mortier est tenu plus long-temps dans un état d'humidité favorable à la combinaison. Cette théorie est parfaitement d'accord avec la supériorité du procédé d'extinction ordinaire, qui divise mieux la chaux que tous les autres, et avec les expériences qui prouvent qu'il faut employer un sable très-fin. La dessiccation lente favorise singulièrement le durcissement des mortiers faits avec des chaux hydrauliques, tandis que la même cause ne pro-

duit presque point d'effet sur les mortiers à chaux communes.

Enfin les chaux moyennes jouissent de propriétés intermédiaires entre les deux espèces de chaux précédentes.

Effets de l'extinction spontanée sur les chaux communes.

On ne conçoit point d'abord pourquoi l'extinction spontanée est supérieure à l'extinction par immersion, pour ce qui regarde les chaux communes. M. Vicat a observé qu'une longue exposition à l'air dans un lieu couvert et fermé au vent, donne à ces sortes de chaux un commencement de propriétés hydrauliques.

Voici deux expériences faites avec une chaux commune moyenne, que nous citerons pour exemple.

Cette chaux a été éteinte à l'air et mesurée en pâte. Quelques jours après la réduction de la chaux en poudre, 1,33 de chaux et 2 parties de ciment de brique ont formé un béton dont la résistance, au bout d'un an, a été représentée par 907.

La même quantité de chaux employée avec la même quantité de ciment, mais un an après la réduction de la chaux en poudre, a donné un béton dont la résistance, au bout d'un an, a été représentée par 2366.

D'autres expériences ont confirmé ce résultat.

Conclusions.

En nous résumant, nous concluons de ce qui précède que, dans les mortiers ordinaires, les chaux grasses communes agissent plutôt physiquement comme des gangues susceptibles de retrait, qui enveloppent des corps solides implan-

tés, tandis que les chaux hydrauliques agissent chimiquement par leur affinité pour le sable. Que l'on détruise les circonstances favorables à l'affinité, en soumettant, par exemple, les mortiers composés de chaux hydrauliques à une dessiccation rapide, on n'aura plus alors que des corps peu solides, parce que, sans eau, le sable et la chaux n'agiront plus chimiquement l'un sur l'autre.

Les expériences prouvent que, pour une même quantité de chaux, les quantités de sables doivent varier en raison du procédé d'extinction employé, et même en raison du plus ou moins de rapidité de la dessiccation. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que les proportions doivent se rapprocher d'autant plus de celles qu'a données l'expérience pour les agrégés dus à une simple juxtaposition, que les circonstances locales opposent de plus grands obstacles au développement des affinités. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, il faut moins de sable dans les mortiers placés dans un grenier, et séchés assez vite sans jamais être mouillés. Il en faut plus dans ceux qui, rafraîchis par les rosées, les pluies, exposés au contact de l'air libre, sont restés plus long-temps humides, et ont couru plus de chances pour le développement des affinités et la fixation de l'acide carbonique.

Proportions relatives de chaux et de sable.

La chaux et le sable doivent être bien mélangés: un excès de trituration paraît tout-à-fait inutile dans le plus grand nombre de cas; cependant une expérience faite sur une chaux commune triturée pendant quatre jours avec du sable sous des pilons, semble prouver que si on tient un pareil mortier exposé à l'humidité,

Fabrication du mortier.

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.