

ne pouvons décider ici. Toujours est-il vrai que si l'usine d'amalgamation de Gottes-Belohnung pouvait recevoir la même activité que celle à liqutation de Hetstädt, la perte peu considérable en mercure, le peu de dépense en charbon, la pureté des produits, les prix peu élevés de main-d'œuvre, et la facilité de pouvoir terminer chaque année la suite des opérations, feraient, sans contredit, donner l'avantage à la méthode d'amalgamation. C'est aussi par ces motifs que le conseil des mines de Basse-Saxe se propose de reprendre, incessamment, ce traitement, interrompu par suite de circonstances particulières.




---

*NOTE en réponse à un article de M. Berthier, ingénieur en chef des mines, sur la théorie des mortiers; par M. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées. ( Ann. de Ch., t. XXIII, p. 69. )*

UN retard involontaire dans le renouvellement de mon abonnement à ce journal m'a privé de connaître plus tôt l'intéressante notice de M. Berthier sur les chaux grasses, les chaux hydrauliques et le mortier. Les détails dans lesquels ce savant chimiste est entré, le ton de bienveillance et d'impartialité qui règne dans sa discussion, me font vivement désirer qu'il veuille bien m'aider à dissiper les incertitudes qui subsistent encore sur une théorie qui, dans l'état actuel de nos connaissances, ne doit pas rester plus long-temps douteuse.

Il y a cinq ans que j'ai publié mes premières recherches sur ce sujet, et depuis cette époque j'ai continuellement travaillé à les étendre et à accroître la série des faits. Je m'empresse de dire qu'ils confirment, avec la plus grande exactitude, les expériences de M. Berthier sur la manière dont se comportent la silice, l'alumine et les oxides de fer et de manganèse calcinés avec la craie. J'avais, au surplus, remarqué déjà, d'après des essais multipliés (voyez mon mémoire, p. 5), que le fer et le manganèse n'étaient pas indispensables aux chaux hydrauliques.

M. Berthier termine sa notice par quelques observations critiques sur l'explication que j'ai essayé de donner de la solidification des bétons

et des mortiers en général. J'avoue qu'en effet mes idées ne sont pas tout-à-fait exemptes d'objections; mais je dois dire que M. Berthier se trompe quand il affirme que je ne les ai appuyées d'aucun fait. Je me propose de rappeler ici très-succinctement ceux qui semblent les justifier, et d'y joindre les faits nouveaux que j'ai rassemblés depuis.

1°. Le plâtre n'a aucune causticité; on le manie impunément; il adhère, par juxta-position, aux corps sur lesquels on l'applique, et il n'exerce sur les corps aucune action chimique sensible.

2°. L'argile est de même; elle diffère physiquement du plâtre dans ses effets, en ce qu'elle prend du retrait en durcissant, pendant que le plâtre, au contraire; augmente plus ou moins de volume.

3°. Si on prend ces deux matières pour gangue, qu'on y introduise diverses proportions de sable ou de menu gravier, il arrivera que la résistance des agrégés décroîtra rapidement en raison de la quantité d'alliage qu'ils contiendront.

4°. Une chaux commune très-grasse, c'est-à-dire très-pure, offrira le même résultat: l'hydrate de chaux sans alliage pourra acquérir une résistance moyenne représentée par 3800; tandis qu'après l'introduction du sable, cette résistance, dans les circonstances les plus favorables, s'élèvera tout au plus à 2000.

5°. Une chaux hydraulique de bonne qualité se comportera d'une manière toute différente: employée seule à l'état d'hydrate, et exposée à toutes les intempéries, elle parviendra à une résistance moyenne de 2,000; mais, avec le sable,

elle pourra donner, dans les mêmes circonstances et dans le cas le plus favorable, jusqu'à 7700.

6°. Une chaux hydraulique, employée seule à l'état d'hydrate et sous une terre fraîche, parviendra à une résistance moyenne, représentée par 4000: mêlée avec le sable, elle pourra donner, dans les mêmes circonstances et dans le cas le plus favorable, jusqu'à 5500.

7°. Une chaux grasse employée immédiatement après l'extinction, de manière à jouir autant que possible de toute sa causticité, formera, avec le sable, des mortiers dont la plus grande résistance s'élèvera à peine à 1500. La même chaux, éteinte spontanément par une année d'exposition à l'air sous un hangar, pourra donner, dans les mêmes circonstances, jusqu'à 2700.

8°. Les faits exposés dans les articles 4, 5, 6 et 7 ci-dessus, ont lieu également avec les sables calcaires et les sables quarzeux.

9°. Les gros sables forment avec la chaux grasse de meilleurs mortiers que les sables fins: ceux-ci reprennent l'avantage avec les chaux hydrauliques.

10°. Les pouzzolanes naturelles et les argiles légèrement cuites se comportent avec les chaux grasses d'une manière entièrement semblable.

11°. Les mélanges de chaux grasse et de pouzzolane durcissent d'autant plus vite sous l'eau, que la température de celle-ci est plus élevée.

12°. Jamais l'eau n'attaque ces mélanges lorsqu'ils sont faits en bonnes proportions; dans le cas contraire, elle se borne à dissoudre l'excès de chaux qui s'y trouve: tandis qu'elle ne laisse que le sable tout pur lorsqu'elle coule légèrement

sur un mortier ordinaire à chaux grasse, immergé encore frais.

13°. Les bétons composés de chaux grasse et d'une excellente pouzzolane augmentent de volume en se solidifiant lorsqu'ils ont été gâchés avec soin. Cette augmentation se manifeste souvent par la rupture des vases dans lesquels le béton a été placé.

14°. L'énergie des pouzzolanes se manifeste également, soit qu'on les emploie en poudre sèche ou en poudre imbibée jusqu'à saturation.

15°. La chaux grasse éteinte par immersion (qui hâte en général la solidification des mortiers hydrauliques, par la propriété absorbante dont elle est douée) ne conduit point au même degré de dureté lorsqu'on la mêle avec une excellente pouzzolane, que si on en perfectionne préalablement la division par l'extinction ordinaire.

16°. Les mortiers hydrauliques à pouzzolanes se solidifient lentement. On remarque qu'ils font plus de progrès de la seconde à la troisième année, que de la première à la seconde. L'analyse de ces matières ne donne qu'une quantité d'acide carbonique beaucoup moindre que celle qui convient à la saturation de la chaux qu'elles contiennent.

En réfléchissant sur ces faits, vérifiés par dix années d'expériences successives, j'ai été conduit à cette première conclusion, dont la légitimité ne sera point contestée, savoir : que la force qui unit la chaux hydraulique aux particules quarzeuses ou calcaires mêlées avec elle, est plus grande que l'adhésion des propres parties de

cette chaux entre elles ; et j'avoue de bonne foi qu'il m'a toujours paru impossible d'expliquer ce phénomène autrement que par la puissance d'une affinité chimique. M. Berthier tranche la question, et dit : « Ce phénomène n'a rien qui » puisse surprendre. Ne voit-on pas la peinture » et les vernis adhérer aux 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? » J'ai dit, page 73 de mon mémoire : « Les modifications (quelles qu'elles soient d'ailleurs) » que l'action du feu détermine dans les proportions de silice et d'alumine mêlées à la matière » purement calcaire, donnent au composé qui » en résulte la faculté d'agir chimiquement, par » l'intermède de l'eau, sur de nouvelles substances siliceuses à l'état de quartz. »

Il est possible qu'ailleurs je me sois servi aussi du mot *combinaison* ; mais il n'est jamais entré dans ma pensée que le résultat de cette combinaison dût être d'altérer, de dépolir ou de corroder sensiblement la surface du quartz. Des effets aussi prononcés ne sont pas le résultat nécessaire d'une attraction moléculaire. Celle-ci peut agir avec une grande intensité, à distance infiniment petite et superficiellement, pour ainsi dire : la considération des pores, des aspérités, etc.,

comme explication des phénomènes décrits, ne soutient pas un seul instant l'examen. Je m'explique à cet égard : soient deux corps, A et B, liés ensemble, suivant un plan S, par une adhésion purement physique, cette adhésion ne résulte évidemment que d'un emboîtement d'aspérités ou d'un entrelacement des fibres, etc. ; en considérant donc chaque aspérité ou fibre du corps A retenue par un pore ou une fibre du corps B, comme une petite force, l'adhésion totale sera la somme de ces forces : or, quelque multipliées que soient les aspérités, il est clair qu'elles ne seront jamais en assez grand nombre sur la face de juxta-position S pour égaler la somme des mêmes forces contiguës, distribuées sur une égale section S, prise dans le corps A. Si donc l'homogénéité du corps A est parfaite, qu'il ne se soit rien passé d'extraordinaire dans les parties de ce corps en contact avec B, il arrivera infailliblement que la disjonction aura lieu, suivant le plan de contact et non ailleurs, quand on cherchera à séparer les corps juxta-posés. Réciproquement, toutes les fois qu'à section égale, la séparation s'effectuera dans A ou dans B, et non sur le plan de juxta-position, on sera en droit d'en conclure qu'une force étrangère est intervenue, ou que les parties contiguës à ce plan ont acquis plus de compacité, plus de résistance que dans le reste de la masse ; ainsi qu'elles ont été modifiées. Quel nom donnera-t-on maintenant à cette modification, et quelle origine lui assignera-t-on ? Si je me suis trompé en la considérant comme le résultat d'une affinité ou d'une forte attraction moléculaire, on avouera que je

suis d'autant plus excusable, que de grands physiciens n'ont pas hésité à qualifier du même nom la force inconnue, qui augmente, après un certain temps, la résistance que deux corps parfaitement polis éprouvent à glisser l'un sur l'autre ; et en cela, ils vont plus loin que moi. Je désire que M. Berthier veuille bien apprécier ces raisons, et examiner sur-tout si la discussion qui vient de s'élever entre nous ne roulerait pas, par hasard, plutôt sur les mots que sur les choses.

L'exemple des vernis, des colles et des huiles, si l'on veut, est loin, selon moi, d'infirmier ma proposition ; il me semble que si l'ascension de l'eau dans le joint étroit de deux lames de verre est due à une attraction moléculaire, on ne peut méconnaître la même chose dans la forte tendance des colles et des huiles à s'insinuer dans les pores des corps ; et dire qu'un corps est gras ou collant, c'est expliquer, je crois, qu'il est très-attirable moléculairement par d'autres corps. Résumant donc mes conclusions, je dis du plâtre, de l'argile et de la chaux commune, que ces substances n'ont que peu ou point d'affinité pour le quartz, puisqu'elles y adhèrent moins fortement que leurs propres parties n'adhèrent entre elles ; et, par une raison toute contraire, je dis de la chaux éminemment hydraulique, qu'elle s'attache au quartz par l'effet d'un lien chimique. Si on lance une poignée de boue ou d'argile contre une planche ou contre le parement d'une pierre, il pourra bien arriver qu'avant ou après la dessiccation il soit plus aisé de désunir les propres parties de la boue ou de l'argile, que de

les séparer de la planche ou de la pierre : cela ne prouvera pas qu'il y ait affinité, je l'avoue; mais cela prouvera qu'il n'y a plus d'homogénéité dans l'argile ou la boue, et que l'effet du choc a été de comprimer les parties les plus voisines du plan de jonction, et de leur donner ainsi une plus grande résistance.

Je perdrai mon procès, au surplus, si on parvient à démontrer que l'effet de la porosité peut lier ensemble deux corps d'une manière plus solide que les propres parties de ces corps ne se lient naturellement entre elles : tout étant physique dans cette question, on peut la soumettre au calcul. Il sera curieux de voir comment on expliquera les faits suivans, dont je garantis l'exactitude.

Un prisme de plâtre, âgé d'un an, a donné pour résistance 6120; 100 parties du même plâtre, gâchées avec 150 parties de sable, n'ont donné, dans les mêmes circonstances, que 2491.

Un prisme de chaux hydraulique (hydrate), âgé de quatorze mois, a donné 1950; 100 parties du même hydrate, mêlées avec 150 parties du même sable que ci-dessus, ont donné, dans les mêmes circonstances, 7009.

M. John, dont la théorie paraît à M. Berthier plus plausible que la mienne, a constaté l'inaction des chaux grasses sur le quartz par une expérience directe; mais ses conclusions relativement aux pouzzolanes ne sont qu'une induction, et à cette induction nous opposerons les faits suivans, qui ne sont que les développemens de ceux qu'on a précédemment établis sous les numéros 14, 15 et 16.

1°. Si l'on prend une poudre calcaire, une poudre quarzeuse, et une pouzzolane en poudre de même grain et de même dureté à très-peu près; qu'on laisse ces trois poudres s'imbiber d'eau pendant plusieurs jours; qu'on les mêle ensuite en proportions semblables avec une même quantité de chaux grasse, et qu'on immerge sur-le champ les trois mélanges, il arrivera que les bétons à poudre calcaire et quarzeuse resteront toujours mous, pendant que le béton à pouzzolane durcira.

2°. La surface d'un béton dépouillé d'une partie de la chaux perdra momentanément une partie de sa consistance; mais, après cinq ou six années, elle se tapissera d'une légère croûte de chaux carbonatée, dont la formation lente sera due au gaz carbonique dont toutes les eaux sont plus ou moins imprégnées; et, sous cette espèce de bouclier, elle reprendra de la fermeté et finira par atteindre la dureté des parties centrales, où l'action dissolvante de l'eau ne s'est point fait sentir.

Si l'on parvient à expliquer ces phénomènes par la porosité et la faculté absorbante des particules pulvérulentes de la pouzzolane, nous passerons volontiers condamnation sur ce que nous avons dit de l'action chimique de ces substances.

M. Berthier ne pense pas que les argiles calcinées aient de l'analogie avec les pouzzolanes, elles en ont au moins une très-grande par leur manière d'agir avec la chaux grasse; et quant à la composition chimique, il est certain que si les roches volcaniques contiennent de la potasse, les argiles, telles que la nature les donne, en con-

tiennent souvent aussi. Mais j'ai prouvé (1) par des expériences directes que la présence de la potasse ou de la soude dans les argiles calcinées n'a aucune influence sensible sur leur énergie : les mêmes oxides alcalins peuvent donc se trouver accidentellement dans les roches volcaniques, sans qu'on puisse en conclure que celles-ci diffèrent essentiellement du silicate d'alumine proprement dit.

« S'il y avait réellement combinaison entre la  
» chaux et l'argile, dit M. Berthier, les bétons com-  
» posés de ces deux matières, et qui durcissent  
» dans l'eau, ne perdraient pas insensiblement  
» leur dureté au contact de l'air ; car on sait que le  
» ciment romain, qui n'est autre chose qu'une  
» pareille combinaison obtenue par la voie sèche,  
» durcit au contact de l'air comme sous l'eau. »

Je ne pense pas que l'objection soit fondée ; car les combinaisons par la voie humide et par la voie sèche ne sont pas produites par les mêmes forces : ainsi il n'y a rien de contradictoire dans le fait invoqué ; personne ne peut nier d'ailleurs que l'air ne soit un agent capable de détruire certaines combinaisons chimiques (2).

Mais, sans pousser plus loin ces considérations, exposons encore un fait : que l'on prenne

(1) *Recherches sur les pouzzolanes artificielles.* Mémoire lu à l'Institut le 1<sup>er</sup> février 1819.

(2) J'ai observé que la détérioration des bétons exposés à l'air est d'autant plus rapide et plus prononcée que l'argile employée comme pouzzolane est plus pure. Cette détérioration est modérée d'une manière très-remarquable par la présence de l'oxide de fer, et c'est peut-être par cette

100 parties d'hydrate de silice (obtenues par la dessiccation naturelle de la silice en gelée) ; qu'on mêle cette silice avec environ 50 parties d'hydrate de chaux grasse en pâte un peu ferme, et qu'on immerge le mélange sur-le-champ, la solidification se manifestera en moins de douze heures ; et ici la combinaison sera évidente, car il n'y aura aucun effet de porosité à invoquer : cette solidification persistera tant que l'immersion durera ; après un mois ou deux d'exposition à un air sec, le composé deviendra terne et pulvérescent. Les mêmes choses se passeront d'une manière à-peu-près semblable si on emploie de la silice encore gélatineuse, un peu plus épaisse cependant qu'elle ne l'est immédiatement après le lavage.

Plus on approfondit ce sujet, plus la théorie des aspérités et de l'absorption paraît invraisemblable : si une brique toute chaude, sortant du four, s'imbibe complètement par un quart d'heure d'immersion, quel temps assignera-t-on à des particules imperceptibles de pouzzolane noyées dans une bouillie de chaux ? Elles ont le loisir de s'imbiber cent fois avant qu'on ait pu confectonner bien exactement le mélange des ingrédients. Que leur restera-t-il donc à faire quand

raison qu'elle est peu sensible à l'égard du ciment romain et du ciment de Boulogne. J'ai observé encore que du béton composé de chaux hydraulique et de sable seulement, exposé à un air sec, après un an d'immersion, est devenu aussi friable que du mortier à chaux grasse, pendant que le même béton, exposé de la même manière après un an de séjour dans une terre fraîche et légère, n'a donné aucun signe d'altération.

on immergera ce mélange encore pâteux, duquel elles seront désormais incapables de tirer un atome d'eau, et par quels moyens ce mélange pâteux pourra-t-il durcir continuellement d'une manière très-sensible pendant trois années consécutives ?

M. Berthier demande pourquoi l'argile crue, qui se prête en général plus facilement aux combinaisons que l'argile cuite, ne produit pas le même effet que celle-ci. Je me suis fait souvent la même objection sans avoir entièrement pu la résoudre. Personne ne saurait mieux que M. Berthier éclaircir cette difficulté, s'il voulait bien en prendre la peine : nous lui devrions ainsi l'explication d'un fait non moins curieux que celui qu'il vient de nous révéler sur l'efficacité de l'alumine, du fer oxidé, etc., ajoutés à la silice dans la confection de chaux artificielles.

---

*OBSERVATIONS sur la note de M. Vicat, relative à la théorie des mortiers ;*

PAR M. P. BERTHIER, ingénieur des mines.

M. John a avancé que, dans les bons mortiers, la chaux s'attache fortement aux grains de l'alliage par adhérence, mais qu'en général la chaux n'exerce aucune action chimique sur les substances pierreuses par la voie humide. J'ai soutenu l'opinion de M. John, parce que tout me porte à croire qu'elle est exacte. J'ai cru que M. Vicat avait adopté l'opinion opposée, et je me fondais sur

un grand nombre de passages de ses écrits et, entre autres, sur celui qu'il cite, page 99 de sa note et sur celui-ci : « Une légère calcination dispose la silice et l'alumine des argiles à se combiner entièrement avec la chaux ». (*Ann. des Mines, t. VII, p. 482.*) Il m'a paru qu'il avait été compris de la même manière par toutes les personnes avec lesquelles je me suis entretenu de ce sujet. De quelles autres expressions, en effet, aurait-il pu se servir pour désigner une véritable combinaison chimique, telle que celle qui a lieu, par exemple, entre l'acide sulfurique et la potasse ? Je l'ai donc combattu, et comme d'ailleurs il n'a pas cherché à constater la réalité de la combinaison chimique, ce qu'il eût été possible de faire, j'ai dit qu'il n'avait appuyé son opinion sur aucun fait.

Aujourd'hui M. Vicat m'engage à examiner « si la discussion qui vient de s'élever entre nous ne roulerait pas, par hasard, plutôt sur les mots que sur les choses ». Il me paraît évident maintenant que nous n'avons pas attaché le même sens aux mêmes expressions. En effet, d'une part, on voit par sa note que M. Vicat ne fait aucune différence entre ce que j'appelle adhérence et ce qu'il appelle l'affinité chimique, entre l'union des corps par juxtaposition et la combinaison ; car il lui semble que l'ascension de l'eau dans le joint étroit de deux lames de verre est un phénomène du même ordre que celui que présente la chaux éminemment hydraulique s'attachant au quartz par l'effet d'un lien chimique ; mais jamais il n'est entré dans sa pensée que le résultat de la combinaison produite par l'affinité chimique de la chaux

hydraulique par les particules quarzeuses, etc., dût être d'altérer, de dépolir, de corroder sensiblement la surface du quartz. D'un autre côté, j'attribue, ainsi que M. John, aux mots *adhérence*, *action chimique* et *combinaison* l'acception qu'on leur donne ordinairement; c'est-à-dire que j'appelle *adhérence* l'union que deux corps contractent par juxtaposition et sans que la nature de l'un ni de l'autre soit altérée; *action chimique*, l'action qu'un corps exerce sur un autre lorsqu'il le dénature, soit en lui enlevant un ou quelques-uns de ses principés constituans, soit en s'y unissant molécule à molécule pour former un tout homogène; *combinaison*, le nouveau corps homogène qui résulte de l'action chimique que deux ou plusieurs corps différens exercent les uns sur les autres.

Il semble résulter de ces explications et de l'ensemble des éclaircissemens donnés par M. Vicat que l'adhérence, telle que nous la comprenons M. John et moi, est la base de toute la théorie des mortiers; cependant quelques passages de sa note laissent encore dans le doute sur la question de savoir s'il n'admet pas quelquefois la combinaison: par exemple, il reproche à M. John de n'avoir constaté l'inaction chimique des chaux grasses (et il s'agit bien ici de l'inaction chimique opposée à l'action chimique qui corrode) que sur le quartz, et d'avoir étendu ses conclusions aux pouzzolanes par induction, et il oppose de nouveaux faits à cette induction. Sur ce que j'ai dit qu'il n'y a pas combinaison entre la chaux et l'argile dans les mortiers, il observe que les combinaisons par la voie humide et par la

voie sèche ne sont pas produites par les mêmes forces, et il m'oppose un fait dans lequel il y a réellement combinaison par la voie humide; il est à désirer que ce savant ingénieur veuille bien éclaircir tout-à-fait ce sujet.

Je n'ai jamais nié que les argiles calcinées eussent de l'analogie avec les pouzzolanes par leur manière d'agir avec la chaux grasse; mais je ne puis admettre, avec M. Vicat, qu'il y ait identité de composition entre ces substances. L'argile ne contient presque que de la silice et de l'alumine, on n'y a pas encore trouvé la moindre trace d'alcali, et elle diffère d'ailleurs des roches volcaniques par toutes ses propriétés chimiques. Tout ce qu'on peut conclure des faits observés, c'est que la composition n'est pas ici la circonstance essentielle: aussi voit-on que le feldspath, ou plutôt les sables feldspathiques qui proviennent de la désagrégation des granites, dont la composition est à-peu-près la même que celle des pouzzolanes, ne se comportent cependant pas avec la chaux de la même manière, et jouent à-peu-près le même rôle que du quartz pur. La seule ressemblance que j'aperçoive entre les pouzzolanes et les argiles calcinées est la porosité: c'est à cause de cela que j'ai émis l'opinion que la porosité de l'alliage paraît jouer un rôle important dans la solidification des mortiers; mais je n'ai jamais pensé, non plus que M. John, à attribuer l'efficacité des corps poreux à la faculté d'absorber l'eau au moment où on les emploie, et encore moins à expliquer la ténacité des mortiers par l'enchevêtrement des parties, et il me semble que rien de ce que nous avons écrit ne peut le

faire présumer : je n'ai donc aucune observation à faire sur ce que M. Vicat dit à ce sujet.

Si l'on admettait que la chaux agit chimiquement dans les mortiers, on ne concevrait pas pourquoi l'argile crue ne produit pas le même effet que l'argile cuite; mais dès qu'on abandonne cette hypothèse, il n'y a plus de difficulté. L'argile crue ne peut donner de bons mortiers, parce qu'elle n'a par elle-même aucune cohésion.

Quoique toute cette discussion soit au fond peu importante, je ne regrette cependant pas de l'avoir provoquée, puisqu'elle a fourni à M. Vicat l'occasion de faire connaître de nouveaux faits, et de répandre du jour sur un sujet important, dont il fait l'objet de ses méditations et de ses recherches.

---

*NOTE sur quelques phénomènes que présente la cuisson de la chaux ordinaire et de la chaux artificielle; par M. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées. (Ann. de Ch., t. XXIII, p. 424).*

En cherchant à faire cuire, dans un très-petit fourneau, des fragmens de pierre calcaire pure, entremêlés avec du charbon de bois et de la houille, je m'étais aperçu, il y a près de dix ans déjà, qu'en rechargeant à plusieurs reprises le fourneau avec les mêmes fragmens, à mesure qu'ils tombaient dans le cendrier, et en ajoutant d'ailleurs de nouveau combustible, on obtenait une chaux morte incapable de s'éteindre, mais

offrant ce caractère remarquable, que, broyée et gâchée à la manière du plâtre, elle faisait prise sous l'eau.

Ce phénomène semblait justifier une vieille opinion commune à tous les maîtres chaudourniers; savoir, qu'il est impossible de transformer en chaux, dût-on y brûler une forêt toute entière, la pierre qui s'est refroidie avant le terme de la cuisson : or, la chaux morte que j'ai obtenue est absolument dans le même cas, puisque les fragmens calcaires non cuits encore se refroidissaient nécessairement en tombant dans le cendrier, et en passant ensuite dans la région supérieure du petit fourneau.

De tout ceci, il paraît résulter qu'une matière calcaire à-peu-près pure, comme la craie ou le marbre, par exemple, peut être amenée par le feu à un état moyen, qui n'est ni celui de la chaux ni celui du carbonate, et, en cet état, jouir de la propriété de faire corps dans l'eau lorsqu'on l'y plonge après l'avoir pulvérisée et réduite en pâte.

La craie convertie en chaux, et éteinte selon la pratique ordinaire, donne, comme on le sait, un hydrate qui ne durcit pas dans l'eau; mais si on laisse la même chaux tomber spontanément en poudre par une longue exposition à l'air (dans un lieu abrité), qu'on la détrempe ensuite avec peu d'eau pour en former une pâte forte, cette pâte se solidifiera d'une manière très-sensible après l'immersion. L'action de l'air donne donc lieu ici à une nouvelle combinaison, qui paraît analogue à celle qu'offre la craie imparfaitement cuite, en ce que, n'étant, comme celle-ci, ni complètement chaux ni complètement carbo-

nate, elle jouit des mêmes propriétés hydrauliques.

Dernièrement, en essayant d'appliquer à la pierre à chaux pulvérisée le mode de calcination que j'ai proposé pour la fabrication des pouzzolanes artificielles, je suis parvenu à des résultats qui mettent dans un nouveau jour les phénomènes exposés ci-devant : j'ai divisé en dix portions égales une certaine quantité de poussière de craie très-fine. La première portion, jetée sur une plaque de fer fondu et chauffée au rouge, a subi une calcination de trois minutes ; la seconde y est restée six minutes, la troisième neuf, et ainsi de suite jusqu'à la dernière, qui a dû y séjourner par conséquent une demi-heure. Pendant chaque opération, la poussière a été bien remuée en tout sens, pour favoriser l'égalité répartition de la chaleur ; ces dix portions, ainsi calcinées, ont été pétries avec très-peu d'eau et réduites en pâte ferme d'une consistance bien égale. Pendant cette manipulation, il ne s'est manifesté aucun signe d'effervescence ou de foisonnement ; les premiers numéros n'exhalaient que l'odeur ordinaire de la craie détrempee ; mais les derniers présentaient, outre l'odeur alcaline propre à la chaux, des indices de causticité bien marqués.

Après vingt-quatre heures d'immersion, tous les numéros, le premier excepté, avaient fait prise à la manière des chaux hydrauliques ; après quatre jours, une aiguille à tricoter, d'un millimètre de grosseur, terminée en pointe obtuse, et chargée d'un cône de plomb du poids de  $0^k, 181$ , ne s'y enfonçait que de 3 à 5 millimètres ; et, après douze jours, la dépression moyenne était de  $0^m, 008$ . Le n° 1 (c'est-à-dire, celui dont la craie n'a subi

que trois minutes de calcination) est resté constamment mou.

Je chercherai plus tard à mesurer les duretés respectives auxquelles ces divers essais parviendront ; je me borne, pour le moment, à faire observer que du n° 2, qui répond à 6 minutes de calcination, au n° 10, qui répond à trente minutes, l'aiguille d'épreuve ne donne pas de différences bien appréciables ; le début de cette solidification est, du reste, tellement semblable à celui des chaux hydrauliques, que j'ai cru devoir en informer l'administration des ponts et chaussées, afin que, dans les divers essais de pierres à chaux qui se font maintenant en France, on ait à se défier de tout résultat donné par une cuisson en petit.

Si l'on considère l'hydrate de craie imparfaitement cuite, ainsi que la chaux pure éteinte spontanément, comme des mélanges en proportions diverses de particules de chaux et de particules de chaux carbonatée, on est conduit à penser qu'il est possible de les imiter exactement, en ajoutant directement de la poussière de craie à une certaine quantité de chaux. Cependant, de tous les essais que j'ai faits de cette manière, depuis 100 jusqu'à 500 parties de craie, pour 100 de chaux récemment éteinte, il n'en est aucun qui, plongé dans l'eau, ait donné le moindre signe de solidification : d'où provient cette différence ?

Un ingénieur des ponts et chaussées actuellement au service de la Russie, M. Raucourt, de Charleville, en répétant sur les chaux du Nord des expériences analogues à celles que j'ai faites sur les chaux de France, est parvenu à des ré-

sultats qui ont beaucoup de rapport avec les précédens.

*LETTRE de M. Clément au président de l'Académie des Sciences, sur la découverte d'une pierre propre à la fabrication du ciment romain (Ann. de Chr., t. XXIV, p. 104.)*

C'est une chose qui a paru sans doute d'une bien grande importance à tous les voyageurs qui ont parcouru l'Angleterre, que la découverte du ciment auquel on a donné le nom de *ciment romain*. Son usage permet de fonder solidement à la mer les ouvrages les plus exposés à ses effets destructeurs, et donne un aspect très-agréable aux maisons. J'avais souvent fait des vœux pour que notre pays pût jouir des précieux avantages de la découverte de Parker, maintenant mes vœux seront satisfaits. M. Minard, mon ami, ingénieur du canal du Centre, vient de me communiquer les résultats d'un travail sur ce sujet, qui l'occupe depuis cinq à six mois, qui me semblent d'un très-grand intérêt. Je vous serai obligé de les faire connaître à l'Académie.

1°. Il a trouvé, dans le département de Saône-et-Loire, plusieurs carrières de pierres calcaires, qui donnent du ciment romain aussi bon que celui d'Angleterre. Elles sont fort abondantes, puisque dans l'une de ces carrières il existe un banc de 5 mètres d'épaisseur.

Plusieurs des échantillons que j'ai examinés sont tout-à-fait semblables à ceux que j'ai rapportés dernièrement de la rive gauche de la Ta-

mise. Calcinées convenablement, quelques-unes de ces pierres donnent des cimens qui peuvent durcir sous l'eau beaucoup plus vite que le ciment anglais et atteindre la même dureté. Il en est d'autres qui durcissent plus lentement, mais qui deviennent plus solides.

2°. M. Minard a poussé ses recherches plus loin, et il a découvert que la propriété de donner du ciment romain appartient presque à toutes les pierres calcaires. Il en a fait avec quelques-unes qui ne contenaient que  $\frac{1}{100}$  d'argile : il suffit que leur calcination soit lente et peu avancée. Certaines pierres, employées depuis un temps immémorial à faire de la chaux, donnent, à volonté, du ciment romain, qui prend en un quart d'heure, ou d'autre, qui ne prend qu'en quatre ou cinq jours, ou enfin de la chaux grasse, qui ne prend pas. Pour cela, la pierre doit perdre 8, 12 ou 30 pour cent par la calcination. Il faut remarquer que déjà M. Vicat, à qui l'on doit tant de choses neuves sur les mortiers, a publié tout récemment un fait qui s'accorde parfaitement avec la remarque générale de M. Minard, c'est que la craie faiblement calcinée donne une matière susceptible de prendre sous l'eau.

3°. Plusieurs expériences ont fait présumer à M. Minard que les cimens romains ne doivent leur qualité qu'à un sous-carbonate de chaux produit par l'action du feu sur le carbonate naturel.

Il a d'abord porté son attention sur les deux premiers résultats, qui promettaient de prochains succès pour son art. Ses expériences ont été très-nombreuses, et j'en ai vu les produits. La conséquence heureuse qu'il en a tirée; savoir, que l'on peut

faire du ciment romain presque par-tout où l'on a de la pierre calcaire, me paraît hors de doute. Quant à la dernière vue, ce premier pas dans la théorie du ciment romain, M. Minard la poursuit, et probablement sous peu elle sera constatée.

J'ai l'honneur, etc.

Châlons-sur-Saône, le 10 octobre 1823.

*SUITE des observations sur les résultats de l'imparfaite cuisson de la pierre à chaux ordinaire; par M. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées. (Ann. de Ch., t. XXV, p. 60.)*

D'après la lettre de M. Clément, M. Minard aurait reconnu, par diverses expériences, que les pierres calcaires en général peuvent fournir du ciment dit romain par une légère calcination. J'ai annoncé que la poussière de craie, chauffée depuis 10 jusqu'à 30 minutes sur une plaque de fer rouge, acquiert la singulière propriété de faire prise dans l'eau, lorsqu'on la pétrit un peu ferme à la manière du plâtre : j'aurais pu généraliser mes conclusions, mais je m'en suis défendu; les nombreux démentis que j'ai reçus dans le long cours de mes expériences, pour m'être quelquefois laissé entraîner à cette manière commode d'agrandir le domaine des découvertes, m'ont rendu très-circonspect, et ce qui va suivre justifiera peut-être ma timidité.

Il y a aujourd'hui quatre mois que mes essais de craie sont immergés, et ils sont encore dans le

même état qu'après le deuxième jour. Une excellente chaux hydraulique, mise en expérience en même temps que la craie, a acquis au contraire une très-grande consistance; cependant le début a été le même de part et d'autre.

Or, un ciment hydraulique qui, âgé de quatre mois, est encore dans l'état de notre craie, est à coup sûr un très-mauvais ciment, et je pense qu'il serait de la dernière imprudence de confier à une telle matière le succès d'une construction tant soit peu importante.

Afin de varier mes expériences, j'ai essayé plusieurs morceaux d'une pierre à chaux grasse provenant des piliers d'un four chauffé au bois, et cuite à des degrés très-différens : les morceaux imparfaitement cuits m'ont fourni des cimens à pâte courte, qui, au bout d'un mois, n'avaient acquis qu'une faible compacité, inférieure même à celle que prend la chaux de craie à moitié cuite. J'ai fait des briques avec ces cimens, et je les ai exposées à l'action de l'air, elles se sont durcies comme de l'argile; mais ayant été ensuite plongées dans l'eau, elles se sont presque aussitôt divisées en miettes.

Ces expériences sont loin de confirmer la généralité des résultats annoncés par M. Minard. J'ai de la peine à croire qu'on obtienne jamais, je ne dis pas de bons, mais même de passables cimens par la calcination plus ou moins avancée des pierres calcaires pures : il faudra probablement en revenir aux calcaires argileux; et quand on aura bien étudié et bien classé ceux-ci, relativement aux proportions d'argile et de chaux qu'ils contiennent; qu'on se sera rendu

compte, dans tous les cas, des résultats et de la dépense, on sera peut-être forcé de reconnaître qu'il n'y a rien de plus avantageux qu'une bonne chaux hydraulique, qui, rendant de 1,10 à 1,30 pour cent, peut, sur 100 parties mesurées en pâte, recevoir de 160 à 180 parties de sable, et fournir ainsi, à un prix très-moderé, un mortier capable de braver également les vicissitudes de l'atmosphère et les effets destructeurs des eaux courantes.

---

*NOTE sur le même sujet, par M. P. Berthier.*

J'ai calciné trois portions de marbre de Carrare très-pur et réduit en poudre fine, de manière à faire perdre 0,12 d'acide carbonique à la première, 0,20 à la seconde, et 0,30 à la troisième. J'ai versé sur les résidus autant d'eau qu'ils ont pu en absorber; ils se sont éteints comme l'auraient fait des chaux maigres, et en développant une chaleur d'autant plus grande, qu'ils avaient été plus fortement calcinés; je les ai ensuite pétris avec une nouvelle quantité d'eau de manière à en faire des pâtes consistantes. J'ai placé ces pâtes dans des verres que j'ai remplis d'eau: elles ne se sont pas délayées comme l'auraient fait des chaux grasses complètement calcinées, mais leur consistance ne s'est point accrue, et elles étaient encore molles comme le premier jour, après deux mois d'immersion: les chaux grasses imparfaitement cuites sont donc bien loin de se comporter comme de véritables chaux hydrauliques.

Une chaux grasse imparfaitement cuite doit plutôt être considérée comme un carbonate avec excès de base, que comme un mélange de chaux et de carbonate ordinaire; car pour lui faire perdre la totalité de l'acide carbonique qu'elle renferme, il faut nécessairement l'exposer à une chaleur plus forte que celle qui l'a amenée à son premier état, ce qui prouve que cet acide y est retenu par une force plus grande que dans le carbonate ordinaire. Il est probable que lorsqu'on arrose ces sous-carbonates avec de l'eau, ils se changent en hydrocarbonates, combinaisons d'hydrate de chaux et de carbonate ordinaire qui paraissent avoir la propriété de prendre et de conserver quelque consistance. Mais ces combinaisons sont très-faibles et très-peu permanentes; elles sont détruites par l'eau employée en quantité suffisante pour dissoudre l'hydrate de chaux qu'elles contiennent, et le résidu est du carbonate de chaux ordinaire. Ce fait avait déjà été observé par M. John; je l'ai constaté plusieurs fois sur des chaux grasses cuites à des degrés différens.

Ces résultats, conformes à ceux que M. Vicat a obtenus, sont contraires aux assertions dont M. Minard a fait part à l'Académie des Sciences. J'ai peine à croire que ces assertions soient exactes; cependant je ne chercherai pas à les combattre, parce que, d'une part, M. Minard n'a pas fait connaître avec détails les motifs et les expériences sur lesquels il fonde son opinion, et que d'un autre côté c'est à lui à prouver la fausseté des théories admises actuellement, et qu'il prétend renverser, quoiqu'elles soient appuyées sur un grand nombre de faits et qu'elles aient l'assentiment de la plu-

part des savans et des praticiens qui se sont occupés de ce sujet.

Je me bornerai à rapporter deux expériences nouvelles qui confirment l'exactitude de celles que j'ai déjà publiées.

On trouve auprès de Milhaud (Aveyron) un calcaire compacte, gris foncé, dur et tenace, qui a quelque ressemblance avec la pierre à ciment d'Angleterre. Il contient :

Carbonate de chaux...	0,70
Carbonate de magnésie.	0,08
Argile.....	0,20
Oxide de fer.....	0,02
	<hr/>
	1,00

J'en ai fait cuire quelques morceaux dans les fours de M. de Saint-Léger, et j'ai examiné la chaux qui en est résultée. Elle se dissolvait dans les acides en faisant gelée et sans produire aucune effervescence, ce qui prouve qu'elle ne retenait pas du tout d'acide carbonique ; cependant elle était hydraulique à un haut degré. En morceaux, elle ne s'éteignait qu'imparfaitement et l'eau ne pénétrait jamais jusqu'au centre ; réduite en poudre, elle s'éteignait très-bien avec chaleur, mais presque sans augmentation de volume ; amenée à l'état de pâte molle et moulée en boules, elle a pris en très-peu de temps une dureté très-grande à l'air : des boules semblables, plongées dans l'eau, s'y sont aussi solidifiées, et elles y ont acquis une consistance qui s'est continuellement accrue avec le temps. Cette chaux a donc toutes les propriétés qu'on aurait pu lui supposer d'après sa composition ; elle est éminemment hydraulique, mais non pas assez pour

pouvoir servir de *ciment romain*. Si l'on veut en faire usage, il faudra, pour en déterminer l'extinction totale, sans être obligé de la réduire en poudre, la mêler en morceaux avec une certaine quantité de chaux très-grasse.

M. Clément a remis à M. de Saint-Léger une pierre calcaire, dont M. Minard annonce s'être servi pour préparer du *ciment romain*. Elle est compacte, mais peu tenace, grise, nuancée de rouge. J'y ai trouvé :

Carbonate de chaux...	0,75
Carbonate de magnésie.	0,03
Peroxide de fer.....	0,16
Argile.....	0,06
	<hr/>
	1,00

Cette composition annonce une chaux maigre et très-médiocrement hydraulique : c'est effectivement la propriété que M. de Saint-Léger, qui en a fait cuire dans ses fours, lui a reconnue, et que je lui ai trouvée aussi en la calcinant en petit à des degrés de température variés. Il est possible qu'en chauffant une pierre à chaux peu hydraulique, de manière à n'en expulser qu'une partie de l'acide carbonique, on en obtienne une chaux très-hydraulique : cela serait conforme aux théories admises, car une chaux ainsi préparée pourrait être comparée à une chaux éminemment hydraulique mêlée de carbonate de chaux ; mais cela ne prouverait nullement que le ciment romain doit sa propriété à un sous-carbonate de chaux, ainsi que le présume M. Minard. Quoi qu'il en soit, une pareille chaux ne pourrait jamais équivaloir à une chaux très-hydraulique après cuisson complète ; elle ne pourrait presque

pas admettre d'*alliage* : ce serait plutôt un mortier naturel qu'une chaux. On conçoit d'ailleurs combien il serait difficile de faire cuire en grand une pierre calcaire, de manière à lui enlever seulement une portion déterminée d'acide carbonique, et à en obtenir une matière homogène dans toutes ses parties. Si M. Minard connaît un moyen d'exécuter cette opération, il serait à désirer qu'il le fit connaître, et qu'il voulût bien en même temps donner quelques développemens aux vues qu'il s'est empressé de communiquer à l'Académie, et qu'il considère comme un premier pas fait dans la théorie du *ciment romain*.

---



---

SUR LA GÉOLOGIE ET LA MINÉRALOGIE  
DE L'ÎLE DE CORSE ;

(Extrait d'un voyage fait dans cette île, en 1820, par M. Gueymard, ingénieur au corps royal des mines.)

L'AUTEUR a suivi, dans l'exposition des faits géologiques et minéralogiques qu'il présente, l'ordre dans lequel il les a vus successivement. Cette marche était nécessaire pour remplir plus exactement et plus complètement la mission qui lui avait été donnée par M. le directeur général des mines, et qui avait pour but principal de rechercher les gîtes de minéraux et de minerais utiles, et de reconnaître la nature et l'importance de ceux qui avaient été déjà indiqués dans cette île.

Nous ne devons pas suivre la même marche dans cet extrait; nous examinerons séparément les différentes formations ou classes de terrains qu'on peut distinguer dans l'île de Corse, nous ferons connaître les particularités qu'elles présentent et les principales substances minérales que chacune d'elles renferme.

On ne peut reconnaître dans la Corse que quatre classes de terrains ou formations principales, qui sont indiquées dans la carte géologique jointe à cet article. (Voyez la Pl. I.)

- 1°. Les terrains primordiaux granitoïdes ;
- 2°. Les terrains primordiaux ophiolitiques, qui peuvent se rapporter aux terrains intermédiaires ou de transition ;
- 3°. Les terrains de sédiment inférieurs et