

MÉMOIRES
DE LA
SOCIÉTÉ IMPÉRIALE
DES SCIENCES,
DE L'AGRICULTURE ET DES ARTS
DE LILLE.

ANNÉE 1857.

II.^e SÉRIE. — 4.^e VOLUME.

LILLE,
CHEZ TOUS LES LIBRAIRES;
PARIS
CHEZ DERACHE, RUE DU BOULOT, N.^o 7, AU PREMIER.
1858.

MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ IMPÉRIALE DES SCIENCES,
DE L'AGRICULTURE ET DES ARTS DE LILLE.

TROISIÈME MÉMOIRE^(*)

SUR LES CHAUX HYDRAULIQUES ET LA FORMATION
DES ROCHES PAR LA VOIE HUMIDE,

Par M. FRÉD. KUHLMANN, Membre résidant.

Séance du 20 novembre 1857.

1.^{re} PARTIE.

La production de l'acide nitrique par oxidation d'un des principes constitutifs de l'ammoniaque, au moyen de l'éponge de platine, m'avait conduit à donner des phénomènes de la nitrification une explication qui a été généralement adoptée par les chimistes. Dans le cours de mes études, les efflorescences des murailles avaient fixé tout particulièrement mon attention et ont été l'objet d'un mémoire présenté à l'Académie, en décembre 1839.

J'ai constaté, à cette occasion, que souvent les efflorescences des murailles ne présentaient dans leur composition aucune trace de nitre, qu'elles étaient formées presqu'entièrement de carbonate et de sulfate de soude et que le carbonate de potasse donnait lieu à des exsudations dans les parties basses des constructions. Je n'eus pas de peine à reconnaître que ces sols alcalins provenaient de la chaux employée à la préparation des mortiers et que les chaux hydrauliques, et surtout les ciments naturels, contenaient des quantités notables de potasse.

Quant à l'origine de cette potasse, je l'ai dès-lors attribuée à la

(*) Voir un premier Mémoire, année 1844, p. 20, et un deuxième Mémoire, année 1855, p. 148.

décomposition par la chaux des silicates alcalins, qui existent dans un grand nombre de pierres à chaux, et en particulier dans les pierres qui appartiennent aux formations anciennes telles que le calcaire anthraxifère qui fournit la chaux de Tournay.

La constatation de l'existence des sels de potasse dans les calcaires venait expliquer d'une manière satisfaisante la présence du nitre tout formé dans les plâtres salpêtrés, comme aussi l'existence de ce sel ou d'autres sels à oxydes alcalins dans les plantes.

Dans la séance du 5 mai 1841, j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie un premier Mémoire, où j'ai cherché à expliquer comment la présence des alcalis dans les calcaires peut exercer de l'influence sur la qualité de la chaux, et quel rôle on peut leur attribuer dans la formation des chaux et ciments hydrauliques.

Voici comment je m'exprimais à ce sujet :

« Les chimistes n'admettront pas que l'existence de la potasse ou de la soude dans tous les calcaires à chaux hydraulique, soit accidentelle et sans influence sur la chaux. De quelle manière cette intervention a-t-elle lieu? Je pense que sous l'influence de la potasse ou de la soude, les calcaires siliceux ou la chaux grasse mêlée d'argile peuvent donner lieu par la calcination à des combinaisons doubles de chaux, de silice ou d'alumine et d'un alcali, soit la potasse ou la soude, que ces combinaisons sont analogues aux combinaisons naturelles que les minéralogistes désignent sous le nom de mésotype, d'apophyllite, de stilbite, et que même il peut se former artificiellement un composé de silice, d'alumine et de soude, analogue à l'analcime. »

J'ajoutai : « Il est à remarquer que ces divers composés constituent des hydrates, et que s'ils font partie des chaux hydrauliques naturelles, ils doivent perdre leur eau par la calcination, pour la reprendre ensuite, lors de l'humectation, et amener ainsi une prompte consolidation des mortiers.

Le 28 décembre 1840, je commençai un mémoire descriptif d'un brevet d'invention, dans les termes suivants : « Un travail étendu sur la nitrification et les efflorescences nitrières m'ayant

» conduit à faire un examen approfondi de la nature chimique des
» pierres à chaux, cette étude analytique m'a permis de constater
» que dans les calcaires qui servent à faire la chaux, il existe une
» quantité variable de potasse ou de soude à l'état de silicates, de
» chlorures, et quelquefois de sulfates. J'ai démontré par suite que
» lors de la calcination de ces pierres, la chaux agit sur les silicates
» alcalins et ceux obtenus par la décomposition des chlorures
» et sulfates alcalins, en présence de l'argile, et qu'elle se transforme
» ainsi en silicate basique ; enfin que les alcalis mis à nu portent
» leur action sur une nouvelle quantité de silice et d'alumine.
» Les silicates et aluminaux alcalins formés donnent à leur tour, en
» présence de la chaux, des silicates et aluminaux de chaux.

» J'ai constaté par de nombreuses analyses que les chaux sont
» d'autant plus hydrauliques que les pierres qui les fournissent
» ont contenu de plus grandes quantités de sels de potasse et de
» soude, et en même temps de l'argile ; et que la théorie de la
» formation de la chaux hydraulique et du ciment romain repose sur
» les transformations ou décompositions successives dont il vient
» d'être question. »

Après avoir apprécié ainsi ce qui se passe lors de la calcination des chaux hydrauliques naturelles et artificielles et des pierres à ciment, j'ai prouvé expérimentalement que la chaux grasse délayée dans l'eau prenait tous les caractères des meilleures chaux hydrauliques, par son mélange avec un peu de silicate alcalin soluble. De là il n'y eut qu'un pas pour arriver à l'application de ces silicates à la consolidation des pierres calcaires poreuses, application qui aujourd'hui a pris une place importante dans la conservation de nos monuments.

Dès mes premiers travaux sur la *silicatisation* j'ai attribué les phénomènes produits par la pénétration de la dissolution siliceuse dans les pierres calcaires à deux causes distinctes : à une réaction chimique déterminée par les principes constitutifs de la pierre elle-même, et à la décomposition des silicates par l'acide carbonique de l'air.

Lorsqu'il s'agit de l'action des carbonates calcaires sur les silicates alcalins dissous, l'action n'est pas aussi instantanée que lorsque ces silicates sont en contact avec le plâtre, le chromate de plomb, les phosphates calcaires et magnésiens où il y a double décomposition. L'action des calcaires sur les silicates alcalins n'est pas immédiate, elle est successive, mais l'expérience directe permet de constater que le carbonate de chaux attire la silice des silicates et forme tout d'abord, sans déplacement de l'acide carbonique, un silicéo-carbonate et de la potasse libre. D'un autre côté du silicate de chaux, récemment préparé, quoique bien exempt de potasse ou de soude, attire encore de l'acide carbonique de l'air pour former le même composé.

L'autre mode d'action que j'ai signalé consiste dans la décomposition par l'acide carbonique de l'air des silicates alcalins et la consolidation graduelle de la silice ainsi précipitée.

Ce dernier phénomène se produit toutes les fois qu'on expose des dissolutions de silicate alcalin à l'air. Le résultat est une gelée parfaitement transparente qui prend successivement du retrait et acquiert, conservée à l'air humide, une grande dureté, sans perdre sa transparence; la potasse passe à l'état de carbonate. La silice ainsi contractée lentement devient assez dure pour rayer le verre.

Je me suis assuré qu'on peut hâter ce phénomène en comprimant graduellement la pâte siliceuse entre des doubles de papier non collé. Par une très-forte pression, j'obtiens ainsi des masses de silice, qui à l'air conservent leur état vitreux et acquièrent de plus en plus de dureté.

Je disais à cette occasion dès 1841 :

« En réfléchissant à cette admirable réaction, n'est-on pas conduit à attribuer toutes les infiltrations et les cristallisations de la silice dans les roches calcaires et la formation d'une infinité de pâtes siliceuses et alumineuses, à des réactions analogues, n'est-on pas conduit à admettre que le silex pyromaque, les agates, les bois pétrifiés et autres infiltrations siliceuses, n'ont point d'autre origine, qu'ils doivent leur formation à la décomposition lente du silicat alcalin liquide par l'acide carbonique. »

Je terminais en disant :

« En admettant l'intervention de la potasse comme dissolvant, il ne sera pas difficile de se rendre compte de la formation des calamines, de l'oxide d'étain cristallisé naturel, du plomb rouge de Sibérie, etc., etc. »

Et tout aussitôt, à l'appui de cette opinion, j'ai constaté l'existence de quelques traces de potasse ou de soude dans les pâtes siliceuses naturelles, dans le silex pyromaque, dans l'opale de Castella-Monté, dans diverses pâtes siliceuses et alumineuses, recueillies sur les bords du canal de Briare, et près de Confolens.

INFILTRATIONS SILICEUSES ET CONCRÉTIONS CALCAIRES.

Il n'est pas de minéralogiste qui n'ait été frappé des conditions particulières où se rencontrent souvent les infiltrations siliceuses, qui n'aït constaté que ces pétrifications se sont substituées aux matières animales, ainsi que nous les trouvons dans les coquilles. Souvent la silice prend la forme du bois ou des autres matières organiques, dont elle occupe la place, et qui ont disparu par la suite des temps.

J'ai essayé à cet égard une explication qui, si elle n'est pas suffisante pour toutes les circonstances, tend du moins à faire sortir cette question de l'obscurité où elle est plongée. En examinant l'intervention de la potasse ou de la soude dans les transformations ou épigénies diverses, j'ai signalé en particulier le rôle que ces alcalis peuvent jouer comme moyen de transport, rôle analogue à celui que joue le deutroxide d'azote dans la fabrication de l'acide sulfurique, bientôt je suis resté convaincu que d'autres corps, quoiqu'en minime quantité, sont susceptibles de provoquer de la même manière des réactions ou décompositions successives.

En ce qui concerne les concrétions siliceuses qui ont pénétré dans les coquilles des Mollusques, en empruntant la silice à du silicate alcalin, on peut admettre que la décomposition lente de ce silicate a eu lieu soit par le carbonate d'ammoniaque, soit par l'acide carbonique qui résultent de la décomposition des matières

organiques. Le carbonate d'ammoniaque , en effet, peut jouer le rôle d'un agent continu de précipitation de la silice. Produit à l'état de carbonate par la décomposition de la matière animale , il précipite la silice du silicate alcalin, et se sépare à l'état d'ammoniaque caustique , lequel reprenant à l'air ou à l'eau d'infiltration , de l'acide carbonique, agit sur une nouvelle molécule de silicate pour continuer ainsi indéfiniment son action sur les silicates alcalins.

Si la formation des infiltrations siliceuses dans les coquilles présente un haut intérêt pour les géologues , celle des concrétions calcaires qui forment la coquille elle-même, a attiré depuis longtemps l'attention des naturalistes, sans qu'à ma connaissance , ils soient parvenus à présenter une explication satisfaisante sur l'origine de ces singulières sécrétions .

Voici comment j'ai essayé d'expliquer la formation mystérieuse des coquilles. J'ai examiné souvent les mollusques qui les habitent, et leur contact avec du papier de tournesol rougi , a toujours donné lieu à une réaction alcaline, ce qui peut faire admettre que ces animaux sécrètent constamment un peu de carbonate d'ammoniaque. Si cette propriété était confirmée par un nombre suffisant d'observations, la présence constante de ce sel ammoniacal pourrait expliquer comment ces animaux peuvent puiser dans l'eau de la mer, le carbonate de chaux qui leur est nécessaire pour construire leurs coquilles. Le carbonate d'ammoniaque, en effet, en puisant dans l'eau de mer, pour passer à l'état de sesqui-carbonate , l'acide carbonique a la faveur duquel cette eau contient du carbonate de chaux, expliquerait le dépôt graduel de ce carbonate qui forme la substance essentielle des coquilles.

Il en serait de même de la formation des perles , des polypiers , etc.

Déjà en 1841, après avoir signalé le rôle de la potasse dans la formation des pâtes minérales solubles dans cet alcali , j'ai ajouté :

« Si d'un autre côté nous supposons l'intervention de l'alcali » combiné à de l'acide carbonique , à l'état de bicarbonate , ou « l'acide carbonique libre comme dissolvant , nous nous rendrons » facilement compte de la formation des calcaires compactes par

» l'infiltration dans les craies de dissolutions de carbonate de chaux,
» enfin si au lieu de carbonate de chaux nous admettons que de la
» même manière le carbonate de magnésie pénètre dans la craie,
» nous arriverons à la formation de certaines dolomies. »

J'assignais donc dans ces dernières réactions à l'acide carbonique un rôle analogue à celui de la potasse dans la formation des silicates susceptibles d'hydratations, lesquels, dans mon opinion, donnent leur caractère essentiel aux chaux et ciments hydrauliques.

Or, lorsque j'ai voulu expliquer l'influence de petites quantités de potasse pour transformer, lors de la calcination, l'enfumage de chaux, toute la quantité de silice contenue dans les calcaires, j'ai dû admettre que dès qu'une molécule de silicate alcalin a le contact de la chaux, il se forme du silicate de chaux, et que la potasse rendue libre, agit sur une nouvelle molécule de silice pour continuer ainsi la transformation de la totalité de la silice en un corps hydratable.

Si c'est l'acide carbonique qui intervient, cet acide, après avoir dissous le carbonate de chaux, le dépose à l'état cristallin et, redevenu libre, agit sur une nouvelle quantité de carbonate; ainsi s'expliqueraient ces amas considérables de carbonate de chaux cristallisé qui forment les marbres.

J'ai aussi attribué à une action analogue l'influence d'une petite quantité de carbonate de potasse ou de soude empêchant la formation des incrustations calcaires, dans les chaudières à vapeur. De cette façon j'ai pu expliquer l'efficacité d'un procédé que j'ai donné à l'industrie, et qui est aujourd'hui très-répandu. Ce procédé consiste à introduire dans les chaudières cent grammes de carbonate de soude par cheval vapeur, cette quantité de sel alcalin suffit pour transformer brusquement en un précipité amorphe, pendant plus d'un mois, le carbonate de chaux dissous dans l'eau d'alimentation de ces générateurs, lequel, dans les circonstances ordinaires, par un dépôt graduel, tend à affecter des formes cristallines. J'admetts que le carbonate de soude enlève à l'eau, dès qu'elle entre dans le générateur, l'acide carbonique qui sert de dissolvant au carbonate de chaux qu'elle renferme, et que le carbonate alcalin, passé ainsi à l'état de bicarbo-

nate, est ramené par l'ébullition à l'état de sesquicarbonate. lequel agit de nouveau, de la même manière que le carbonate neutre.

Ainsi, quant aux pâtes calcaires, l'acide carbonique des eaux leur a servi le plus souvent de moyen de transport et d'agglutination ; cet acide en abandonnant graduellement les calcaires à l'état solide, les a placés dans des conditions plus ou moins favorables à la cristallisation, en donnant depuis le calcaire coquillier et celui que nous produisons artificiellement dans les générateurs à vapeur, et qui se compose de couches parallèles de cristallisation fibreuse, se rapprochant de l'arragonite fibreuse, jusqu'au spath d'Islande à formes géométriques si régulières.

ÉPIGÉNIES.

Le rôle assigné dans mes précédents travaux au silicate de potasse, rend compte d'un grand nombre de phénomènes métamorphiques, tantôt c'est la silice qui a pris l'empreinte extérieure de sels calcaires qui ont disparu, tantôt la silice s'est elle-même substituée à la chaux, à la magnésie, etc. Je suis d'ailleurs convaincu que l'acide carbonique de l'air n'est pas la seule cause de la précipitation de la silice; le sel marin, les sels ammoniacaux précipitent également la silice de ses dissolutions dans la potasse. D'autres affinités peuvent également intervenir par voie de double décomposition et amener la formation de silicates variés, sans que la potasse ne soit intervenue autrement que comme dissolvant et comme moyen de transport.

Si l'action de la potasse ou de la soude donne l'explication de beaucoup d'épigénies, il est d'autres agents dont l'intervention a dû être fréquente. J'ai fait voir :

1^o Qu'un courant d'acide sulfhydrique transforme sans changement dans les formes cristallines, les carbonates, formiates, etc. de plomb en sulfure de plomb avec un certain dégagement de chaleur dû à la combustion de l'hydrogène de l'acide;

2^a Que le gaz ammoniaque à chaud, ramène le peroxide de manganèse à l'état de protoxide, sans altération de sa forme cristalline;

3^e Que l'hydrogène à l'état naissant réduit certains sels métalliques et nous présente les métaux affectant des formes cristallines variées, que, par exemple, lorsqu'on place une masse de cristaux de carbonate de plomb dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, et qu'on met en contact avec ces cristaux plongés dans le liquide acide, des fragments de zinc, la réduction du carbonate de plomb, gagne de proche en proche tant qu'il existe un point de contact entre lui, le zinc et l'acide. Par le même procédé on obtient avec l'oxyde de cuivre cristallisé, des cristaux octaédriques de cuivre métallique.

Que l'on ne perde pas de vue que ces conditions de désoxidation existent dans la nature partout où des matières organiques se détruisent lentement; souvent l'hydrogène naissant entraîne du soufre, et c'est ainsi qu'on peut se rendre compte de la formation des sulfures de fer dans les terrains marécageux, voire même, ainsi que nous l'expliquerons plus tard, des cristallisations de pyrites, dans des terrains de très-récente formation.

Je pourrais multiplier les exemples de ces sortes de phénomènes, mais je craindrais de donner à ce travail trop d'étendue. Les géologues, d'ailleurs, pour tous les phénomènes locaux qu'ils seront à même d'étudier compléteront mes observations. Dans une lettre que m'a adressée M. Sterry-Hunt, de Montréal, à l'appui de mes idées théoriques sur l'intervention des alcalis en quantité limitée dans les métamorphoses, ce géologue cherche à expliquer la formation de divers minéraux, tels que la serpentine, le talc, le péridot, le diallage et le pyroxène. (1)

Pour compléter cet exposé, en ce qui concerne les épigénies et les métamorphoses, il me suffira de rappeler à l'Académie un travail

(1) Dans ces formations le savant américain fait également intervenir les alcalis.

Le carbonate de magnésie et celui de fer, dit-il, forment avec une dissolution de silicate de soude, des silicates de magnésie et de fer, et le carbonate alcalin régénéré, pouvant dissoudre du quartz à la température de 100°, décompose une nouvelle quantité de carbonate terieux.

M. Sterry-Hunt admet, comme on voit, un mouvement continu analogue à ceux

que j'ai eu l'honneur de lui présenter dans sa séance du 25 février 1856 et qui a pour titre : *Note sur la production artificielle et par voie humide du chlorure d'argent corné, et sur diverses épigénies par réduction d'oxydes ou de sels naturels.*

Dans ce travail, indépendamment des phénomènes métamorphiques, j'avais pour but de démontrer que toutes les fois qu'on produit avec une grande lenteur les décompositions chimiques, les résultats de ces décompositions qui, dans les conditions ordinaires, s'obtiennent à l'état de précipités ou masses amorphes, peuvent s'obtenir cristallisés, et pour arriver à ces résultats j'ai interposé entre les dissolutions de corps, susceptibles de réagir les uns sur les autres, des corps poreux faisant office de membrane osmotique.

Ce travail devait naturellement me conduire à apprécier d'une manière toute spéciale les conditions dans lesquelles s'effectuent les modifications de formes, que peuvent subir les corps déplacés par les réactions qui se produisent dans le sol ou à sa surface.

La seconde partie de ce travail comprendra des développements à ce sujet.

2. e PARTIE.

EAU DE CARRIÈRE.

Il est un phénomène dont je me suis plus particulièrement préoccupé. C'est que la plupart des matières minérales, lorsqu'elles sont récemment extraites de la terre, et surtout les pâtes siliceuses, ne présentent pas, à beaucoup près, la dureté qu'elles prennent ensuite

par lesquels j'ai expliqué, dans mes études sur les chaux hydrauliques, le transport successif de la silice sur la chaux ; — le rôle de l'acide carbonique ou des bicarbonates alcalins, tenant en dissolution des carbonates calcaires ou magnésiens, dans la formation et la cristallisation des calcaires compactes et des dolomies ; — enfin l'utilité de l'emploi d'une petite quantité de carbonate de soude pour empêcher l'incrustation des chaudières à vapeur.

successivement à l'air. On a donné le nom *d'eau de carrière* à l'eau restée interposée entre les molécules , et dont la perte graduelle sert d'explication au phénomène du durcissement à l'air des matériaux qui servent à nos constructions.

Le peu de dureté des pierres récemment extraites, qui se manifeste à un haut degré dans certaines pierres siliceuses, la meulière , par exemple , est une propriété commune à tous les calcaires. Ainsi, pour certains marbres , les feuilles sciées sur des blocs récemment extraits, subissent des fléchissements , si, étant posées de champ, elles ne sont pas maintenues dans une position verticale, si, par exemple , elles sont appuyées contre un mur, dans une position fortement inclinée. Toutes les matières minérales formées par la voie humide présentent, à divers degrés , les mêmes propriétés ; ainsi les calamines n'acquièrent leur grande dureté que par leur exposition à l'air.

Il est difficile d'admettre que dans le durcissement des pierres , l'eau qui s'échappe graduellement soit exclusivement de l'eau d'hydratation, car j'ai remarqué que le phénomène du durcissement graduel des roches à l'air appartient aussi aux corps qui ne sont pas susceptibles de se constituer à l'état d'hydrates, tel est par exemple le sulfate de baryte.

Souvent ce sulfate se rencontre dans les carrières à l'état d'une pâte formée de cristaux microscopiques , et ces pâtes restent molles tout aussi longtemps que les molécules cristallines sont trop séparées, elles se délaient même dans une plus grande quantité d'eau par la seule agitation. Lorsqu'elles sont exposées à l'air assez humide pour qu'il n'enlève l'eau interposée que très-lentement , elles acquièrent une dureté considérable et telle que je suis porté à croire que les molécules cristallines ont conservé une tendance à se rapprocher dans un ordre symétrique qui permet de donner à la masse un aspect cristallin plus prononcé , phénomène qui ne s'accomplit pas si la dessiccation est trop précipitée et si les molécules cristallines, au fur et à mesure qu'elles se rapprochent par l'évaporation de l'eau interposée , n'ont pas le temps de se mouvoir.

J'ai essayé d'appuyer cette opinion par quelques expériences.

J'ai placé des pâtes cristallines et molles de sulfate de baryte dans de l'eau et dans de l'alcool, dans de l'air sec et de l'air humide, et voici ce que j'ai observé : dans l'eau la masse est restée molle, dans l'alcool elle s'est considérablement raffermie et a acquis une dureté égale au moins à celle qu'elle a prise dans l'air maintenu dans les meilleures conditions pour opérer le durcissement, c'est-à-dire dans de l'air légèrement humide. À l'air sec, la pâte cristalline n'a pas pris de consistance. En hâtant la dessiccation par l'action d'une douce chaleur, le résultat est encore plus mauvais, toute la masse se désagrège. J'ai eu recours dans ces expériences à l'alcool, parce que ce corps m'avait admirablement servi pour déplacer lentement la silice du silicate de potasse et l'obtenir fort dure. Ainsi le phénomène du durcissement par la soustraction de l'eau de carrière, ne serait pas dû seulement à l'évaporation de l'eau, mais à une cristallisation plus complète des masses minérales, et cette consolidation serait subordonnée aux conditions exigées pour toute cristallisation : le rapprochement lent des molécules et le repos.

En envisageant ainsi le phénomène de la consolidation des roches après leur extraction, je ne crois pas m'être engagé sur un terrain par trop hypothétique. Dans les cristallisations opérées dans l'eau, les masses cristallines se déposent symétriquement, et l'on peut croire que cette symétrie n'est pas seulement le résultat de la croissance du cristal par le contact de la dissolution saturée, mais aussi celui de la juxta-position symétrique de masses cristallines à noyaux distincts pour produire des dispositions tantôt en trémie, tantôt en escalier, en feuilles de fougère, etc.

CRISTALLISATION SPONTANÉE DES CORPS AMORPHES.

Après avoir fixé l'attention des chimistes et des géologues sur les circonstances qui déterminent la consolidation de certaines matières minérales naturelles, après avoir produit artificiellement par des réac-

tions diverses empruntées à l'acide carbonique de l'air ou à des agents plus énergiques , mais en modérant convenablement leur action , des masses dures et transparentes analogues à certains produits naturels tels que l'opale, le silex pyromaque , l'agate, etc., toute mon attention a été portée sur la cristallisation des produits ainsi déplacés de leur dissolution.

Lorsqu'on examine les dépôts cristallins naturels , on est frappé de cette circonstance , c'est que le plus souvent les cristaux sont fixés sur des couches de la même substance, mais à l'état amorphe, ou dont la contexture cristalline est moins marquée. A l'aspect d'un passage graduel de l'état amorphe à celui de cristaux, on reste convaincu que les parties amorphes ne diffèrent des parties cristallines que parce que leur formation a été plus précipitée. Voyons s'il n'y a pas d'autres circonstances qui ont motivé ces résultats divers.

Il m'a été donné de faire une étude particulière des concrétions siliceuses du Geyser, par suite de la libéralité de M. Pottier , commandant du brick l'Agile , en stationnement sur les côtes de l'Islande, lequel , dans l'unique intérêt de mes recherches , a pénétré jusqu'aux sources du Geyser. J'ai été ainsi à même de constater que les dépôts siliceux les plus compactes que laisse cette source célèbre , se fixent autour du cratère , sur le point où la température est la plus élevée, et que ces concrétions produites sur ces points présentent des cristaux de quartz bien caractérisés, lorsque la généralité se présente seulement dans les conditions de l'opale, telles qu'artificiellement je les ai reproduites au moyen des silicates solubles. Cette révélation, que l'obligeance de notre savant confrère, M. Brongniart, m'a permis de confirmer par l'examen des échantillons de concrétions siliceuses du Geyser qui font partie de la collection offerte au musée d'histoire naturelle par M. Robert , a son importance au point de vue théorique; elle m'a conduit à penser que des corps séparés de leur dissolution dans un état gélatineux ou amorphe, peuvent, par la seule tendance des molécules à affecter un état cristallin, se modifier lentement et se présenter enfin à l'état de cristaux d'autant plus beaux que le phénomène de cette transformation s'est accompli plus lentement et

plus tranquillement, et que dans quelques circonstances elle se trouve favorisée par la chaleur.

Quoique je sois parvenu à faire artificiellement des concrétions siliceuses assez dures pour rayer le verre, je n'ai cependant pas obtenu encore, par le repos seulement, de cristallisations bien caractérisées. Il est vrai que je n'ai pas eu à ma disposition cette action séculaire qui, dans la nature, accomplit des phénomènes si extraordinaires. En établissant que les matières minérales, quoique précipitées à l'état amorphe, peuvent prendre non-seulement l'état vitreux comme l'opale, le silex pyromaque, etc., mais encore la forme cristalline, je puis, à l'appui de mon opinion, citer bien des phénomènes observés depuis longtemps dans nos laboratoires. On sait que le soufre chauffé en mélange avec le mercure donne une masse noire qui, peu à peu sous l'influence de la chaleur, se transforme en une masse cristalline. Combien de précipités gélatineux ne prennent-ils pas à la longue un état grenu, combien d'hydrates comme l'oxyde de cuivre ne se transforment-ils pas en corps anhydres et cristallins par la seule ébullition dans l'eau ?

Combien l'existence, dans quelques circonstances, de traces d'acide ou d'alcali, restées dans les précipités, comme cela peut avoir lieu dans les produits naturels, ne facilite-t-elle pas ces transformations ?

L'exemple le plus frappant de ces modifications spontanées est sans contredit celui du malate de plomb qui, précipité sous forme de matière gélatineuse, prend après quelque temps de repos un état cristallin des plus remarquables. Ce même malate, précipité à chaud de dissolutions concentrées, donne une masse molle, d'aspect résineux, analogue au soufre mou, laquelle, après quelque temps de repos, présente une disposition cristalline dans sa cassure. Cet état mou du corps, qui correspond au verre ramolli par la chaleur, est un état où les molécules n'ont pas assez de mobilité et qui s'oppose à ce que la cristallisation puisse s'accomplir librement. Mais pour cela les corps n'ont pas perdu leur tendance à cristalliser; ce qui le prouve c'est le verre, qui se dévitrifie, s'il est maintenu liquide pendant quelque temps, c'est le

laitier qui, maintenu chaud en grandes masses, présente l'état vitreux à l'extérieur et des modifications diverses qui le rapprochent de certaines pierres à grain cristallisé, au centre; c'est, sans intervention de la chaleur, la lame batavique, qui éclate par suite d'un simple ébranlement; c'est le fer des essieux qui, par suite de vibrations continues, change sa texture fibreuse en un état cristallin; c'est enfin le sucre d'orge, qui se désagrège à sa surface pour affecter une forme cristalline.

Dans les phénomènes de ces transformations des matières amorphes en matières cristallines, indépendamment de l'action efficace que peut exercer l'existence de quelques acides ou de quelques bases énergiques dont l'intervention consiste uniquement dans un moyen de transport, la chaleur a une grande influence. Ainsi les concrétions cristallines des pâtes siliceuses du Geyser sont facilitées par la température naturelle de l'eau, et sans nul doute les concrétions calcaires de nos chaudières à vapeur, concrétions d'une dureté excessive, et en tout comparables aux calcaires compactes naturels, se trouvent facilitées par la température élevée sous l'influence de laquelle ces concrétions se forment. Toutefois il ne faut pas admettre que cette température soit la condition *sine qua non* de ces transformations, le temps peut suppléer à la température.

Ainsi, lorsque nous voyons des concrétions siliceuses cristallines entre les cloisons des coquilles, lorsque nous voyons les cavités qui existent dans les rognons de silex pyromaque, tapissées de fort beaux cristaux de quartz, nous devons admettre que la pâte siliceuse infiltrée dans ces coquilles ou déposée dans les cavités de la craie, s'est contractée et que là où l'action a été la plus lente, la silice gélatineuse s'est spontanément transformée en cristaux. Là se trouve l'explication d'une infinité d'infiltrations semi-cristallines, de la formation des géodes en général, où la partie qui touche aux parois des cavités où la géode s'est formée, ne présente souvent que peu de dispositions cristallines, lorsque la partie centrale présente la plus admirable cristallisation.

Ces considérations diverses qui viennent si complètement justifier l'efficacité de mes procédés d'injection de pâte siliceuse des corps

poreux et expliquer le durcissement graduel auquel cette injection donne lieu , rendent compte de la consolidation lente des pierres , lorsqu'elles perdent l'eau de carrière et tendent à jeter un grand jour sur toutes les concrétions et cristallisations géodiques des roches , quelle que soit leur composition chimique. Elles ne sauraient toutefois présenter encore qu'une exposition générale d'une opinion personnelle , opinion à laquelle j'espère donner tout le caractère d'une théorie admissible par tous les géologues , lorsque j'aurai pu compléter mes expériences sur l'influence de certains agents intermédiaires pour activer les transformations des masses amorphes en masses cristallines , et aussi l'influence que la pression et les hautes températures exercent sur ces transformations.

