

ANNALES  
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

*Par les Ingénieurs des Mines,*

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

5  
CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XIII.



PARIS.

DALMONT ET DUNOD, ÉDITEURS,

Précédemment Carilian-Gœury et V<sup>o</sup> Dalmont,

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1858

---



---

## MÉMOIRE

SUR LA RELATION DES SOURCES THERMALES DE PLOMBIÈRES  
AVEC LES FILONS MÉTALLIFÈRES,  
ET SUR LA FORMATION CONTEMPORAINE DES ZÉOLITHES.

Par M. DAUBRÉE, ingénieur en chef des mines.

---

On a pensé que la formation de la plupart des gîtes métallifères et plusieurs phénomènes du métamorphisme pouvaient être dûs à l'action d'eaux thermales et minéralisées. Des expériences synthétiques s'accordent avec cette induction. Aussi le gisement des sources thermales, leur relation avec les dislocations du sol, la nature des dépôts qu'elles peuvent produire à la surface et dans la profondeur, enfin les actions chimiques qu'elles exercent parfois sur les roches voisines présentent au géologue un sujet d'étude qui mérite une attention toute particulière.

Intérêt  
que]présentent  
les réactions  
produites  
par les sources  
thermales.

Les observations qu'on peut faire sur les sources thermales actuelles ne nous apprennent qu'une partie bien incomplète des circonstances qu'il nous importerait de connaître. Il faudrait au moins pénétrer le long des canaux par lesquels s'élèvent les sources thermales, jusqu'à la profondeur à laquelle les mines s'enfoncent dans les filons métallifères. Nul doute qu'on ne fit ainsi des observations précieuses. Mais il est peu probable qu'on trouve de longtemps l'occasion de poursuivre une exploration de ce genre : ce n'est qu'à grands frais et qu'avec de grandes difficultés qu'on peut travailler en présence d'eaux abondantes, chaudes,

souvent chargées de gaz irrespirable, et il est toujours dangereux de s'exposer à tarir un agent puissant pour la médecine, et, pour la contrée, une cause de richesse et de prospérité.

Nous avons exécuté à Plombières des travaux de captage et d'aménagement; et, sans descendre très-profondément, nous avons rencontré des faits nouveaux et intéressants qui nous ont paru mériter d'être décrits. Nous allons les signaler, en les rapprochant d'autres observations toutes les fois que cela sera nécessaire.

Structure  
géologique  
de la région  
de Plombières.

Un plateau de grès bigarré borde vers l'ouest la région granitique des Vosges méridionales, depuis les environs de Remiremont jusqu'au delà de Darney, sur une largeur d'environ 50 kilomètres. Il est découpé par des vallées profondes, au fond desquelles vient pointer le granite (1). Plombières est situé dans l'une de ces vallées.

Aux environs de Plombières, le grès bigarré du plateau est séparé du granite par un poudingue quartzeux très-grossier, qui paraît le représentant du grès des Vosges. Le fond de la vallée est entaillé dans un granite porphyroïde, quelquefois mélangé d'amphibole. Cette variété de granite forme une partie de la chaîne des Vosges.

Position  
des sources  
thermales.

C'est de cette roche que sortent les sources thermales. La température des plus chaudes atteint 73 degrés centigrades; elles jaillissent du thalweg même.

D'autres sources beaucoup moins chaudes, dont la température est de 15 à 30 degrés, sont connues vul-

---

(1) Les pointements granitiques du fond des vallées du grès bigarré ont été depuis longtemps signalés par M. Élie de Beaumont, et étudiés dans leur disposition par M. de Billy et M. Horgard.

gèrement dans le pays sous le nom de *savonneuses* ; elles se montrent sur les deux flancs de la vallée. Le niveau d'émergence d'aucune d'entre elles ne dépasse pas plus de 15 mètres celui des premières sources.

Toutes les sources utilisées sont comprises dans une zone d'environ 220 mètres de longueur sur 70 de largeur.

Elles ne contiennent qu'une faible quantité de matières salines (pas plus de 0<sup>s</sup>,03 par litre), parmi lesquelles prédomine le silicate de potasse.

De volumineuses sources froides (température d'environ 9 degrés) paraissent à un niveau encore un peu plus élevé que les sources tièdes, mais leur gisement est tout différent. Elles sortent à la limite du granite et des terrains stratifiés. Une partie des eaux qui peut traverser le plateau du grès bigarré descend jusqu'au granite et s'écoule par les fissures du grès des Vosges. Quelques-unes descendent plus bas, parce qu'elles s'infiltrèrent dans des amas superficiels de blocs, dont les plus apparents sont connus dans la localité sous le nom de *meurgers*.

Sources froides.

Les Romains ont exécuté des travaux considérables et habilement combinés pour l'aménagement des sources de Plombières. Ils ont isolé, autant qu'ils l'ont pu, les sources thermales du thalweg des infiltrations froides, en reportant la rivière sur la gauche de la vallée. A cet effet, ils lui ont construit un nouveau lit formé de béton et garni de pierres de taille ; puis ils ont étendu sur une partie du fond de la vallée même une couche épaisse de béton. Des canaux ménagés dans l'intérieur de cette masse de maçonnerie isolaient l'eau minérale et l'amenèrent aux piscines. Ces diverses constructions sont enfoncées profondément, et depuis un temps immémorial, sous le pavé de la ville ; elles sont même en partie

Travaux  
des Romains  
pour le captage  
des sources.

recouvertes de diverses bâtisses. Aussi en ignorait-on la disposition et même l'existence dans la plus grande partie de leur étendue. Nous les avons retrouvées dans ces derniers temps, quand nous avons excavé profondément le sol pour les travaux de recherche de captage et d'aménagement des sources.

Travaux actuels  
exécutés  
dans deux buts  
distincts.

Un aqueduc souterrain a été établi à un niveau aussi bas que le permettait le relief du sol et le niveau de la rivière. Des galeries poussées à droite et à gauche de cette artère principale permettront d'aller chercher les sources au-dessous des points où elles avaient été autrefois recueillies; on obtiendra ainsi un accroissement de volume, et l'on pourra en même temps utiliser de nouvelles sources.

Un autre travail tout à fait distinct du premier a été dirigé sur les sources tièdes des versants de la vallée; c'est une galerie souterraine à travers le granite. Elle a été conduite perpendiculairement aux fissures suivant lesquelles ces sources paraissent sortir. Elle doit aussi aller les prendre le plus bas possible afin de les isoler des infiltrations d'eau froide de la surface.

Quand ces travaux seront terminés, M. l'ingénieur Jutier, qui est chargé de leur exécution, en fera connaître avec détail les particularités et les résultats. Je désire seulement signaler dès à présent la portée des faits géologiques que les excavations nous ont révélés (1).

---

(1) Je dois remercier ici M. Jutier de l'obligeance avec laquelle il m'a envoyé des échantillons dont l'examen m'a servi à compléter mon travail.

## PREMIÈRE PARTIE.

RELATION DES SOURCES THERMALES DE PLOMBIÈRES AVEC LES FILONS  
MÉTALLIFÈRES DE LA CONTRÉE.

Des sources thermales ont, selon toute vraisemblance, apporté les minerais métalliques dans la plupart des filons. M. Élie de Beaumont, conduit par de profondes analogies, a mis en lumière ce fait, confirmé par les expériences synthétiques de M. de Sénarmont. Mais, en général, ces anciennes sources sont aujourd'hui tarries, soit qu'elles aient obstrué leurs canaux par leurs propres incrustations, soit que de nouvelles dislocations du sol aient arrêté leur cours, soit enfin par l'effet d'un refroidissement plus avancé. Quelle que soit la cause de leur disparition, il n'existe plus guère de contrées où des sources thermales en pleine activité se montrent encore immédiatement juxtaposées à des dépôts métallifères.

Les sources auxquelles les dépôts métallifères paraissent devoir leur origine sont en général tarries.

Il est cependant des localités où les deux phénomènes coexistent encore aujourd'hui. Avant de montrer cette coïncidence dans la région de Plombières, je rappellerai quelques exemples du même genre qui ont déjà été signalés.

Les sources thermales de Bade, Wildbad et Liebenzell, situées dans le nord de la Forêt-Noire, sortent d'une région qui est traversée par des filons de fer, et M. le professeur Walchner a cherché à montrer qu'il y avait connexion entre ces deux ordres de faits (1). Dans la même chaîne, à Badenweiler, une source, avec une température de 26 degrés, sort à quelques mètres d'un filon de quartz et de plomb sulfuré. De même, à

Exemples de contrées où les deux phénomènes coexistent.

---

(1) *Darstellung der geologischen Verhältnisse der am Nordrande des Schwarzwaldes Mineralquellen.*

Sylvanès, dans l'Aveyron, les sources thermales se montrent dans le voisinage immédiat de filons de cuivre gris (1). Une disposition semblable a été observée à Courmayeur et à Servoz dans les Alpes de la Savoie.

Aux environs de Carlsbade et de Marienbade, en Bohême, les sources thermales et les sources gazeuses sont en relation plus directe encore avec les filons de quartz, de fer oligiste et d'oxyde manganèse qui sillonnent la contrée. Ce rapport a été mis en évidence dans les excellentes descriptions que l'on possède de ces localités (2).

Les observations qui suivent vont faire connaître de nouveaux exemples de ce genre; elles serviront à confirmer, à préciser et à étendre les résultats déjà connus, et à montrer la signification géologique de ces faits.

*Position relative des sources thermales et des filons quartzeux ou métallifères. — Divers dépôts en rapport avec ces filons pénétrant dans les terrains stratifiés.*

Des filons  
de spath fluor  
et de quartz  
coupent  
le granite.

En pénétrant dans le granite d'où jaillissent les sources thermales savonneuses, la galerie que nous avons ouverte a coupé plusieurs filons; ils sont formés principalement de spath fluor et de quartz.

Le spath fluor s'y trouve en masses lamellaires de couleur verte ou violacée. Sa disposition, souvent rubanée parallèlement aux parois des filons, est évidem-

(1) Parran. *Formations secondaires des environs de Saint-Affrique* (*Annales des mines*, 3<sup>e</sup> série, t. X, p. 95).

(2) Elles sont dues à MM. de Hof, de Warnsdorf, Kersten et Hochstetter : *Jahrbuch für Mineralogie*, 1844, p. 426; 1845, p. 647; 1846, p. 385; — et *Sitzungsbericht der k. Academie der Wissenschaften zu Wien.*, t. XX, p. 18.

ment un produit de concrétions superposées. Le quartz est moins abondant que le spath fluor.

Le granite qui encaisse les filons présente deux modifications toutes différentes et qui cependant sont en relation l'une avec l'autre. Tantôt il est tout à fait incohérent et sableux, comme dans beaucoup de points de la contrée; tantôt il a été imprégné de la manière la plus intime de quartz et de spath fluor. Ces deux substances y forment un plexus de veines et de nombreux rognons, comme si les matières du filon s'étaient extravasées dans la roche voisine que son état de décomposition a rendu plus propre à les absorber. Cette roche a ainsi acquis une extrême dureté, et ressemble beaucoup à certaines variétés d'arkose silicifiée.

Le granite a été partiellement imprégné de quartz et de spath fluor.

Le spath fluor a cristallisé dans beaucoup de géodes, dans les filons et surtout dans les veines latérales : il est, en général, en cubes volumineux, souvent recouverts de petits cristaux de quartz, comme dans les gisements du Derbyshire; quelquefois aussi on le trouve en cubes tronqués sur les arêtes, et accidentellement en dodécaèdres rhomboïdaux. En quelques points le quartz est compacte, rougeâtre et se rapproche du jaspe. Des cristaux d'améthyste forment parfois des géodes. Rarement on y rencontre de la baryte sulfatée, et plus rarement encore et en quantités très-petites, des minéraux métalliques : la pyrite de fer et le fer oligiste.

Caractères des minéraux de ces filons.

C'est précisément de ces filons ou le long de leurs parois que jaillissent les sources savonneuses; l'importance de ce fait nous obligera à y revenir (1).

Les sources thermales jaillissent sur les parois même des filons.

(1) Les points d'émergence des sources chaudes du thalweg sont en partie recouvertes d'alluvions; on n'a pu jusqu'à présent reconnaître avec précision leur relation avec les filons, si ce n'est pour la source du Capucin qui jaillit du granite par une fissure.



Les actions chimiques qui ont rempli les filons se sont étendues dans les couches de grès et jusque sur le plateau.

Les actions chimiques, qui ont autrefois produit le remplissage des filons de la vallée de Plombières, n'ont pas été limitées à la roche granitique. Sur divers points, le poudingue du grès des Vosges en présente des effets. Les galets de cette roche sont cimentés par du jaspe rouge et du quartz hyalin souvent cristallisé; le spath fluor et la baryte sulfatée s'y rencontrent aussi, mais rarement et en faible quantité. En même temps que le poudingue a été profondément imprégné de silice, les galets de quartzite dont il est formé, malgré leur compacité primitive, ont aussi été sensiblement modifiés; ils sont devenus fragiles; leur cassure est comme vitrifiée.

A un niveau plus élevé encore et jusqu'à la surface du plateau, le grès bigarré lui-même renferme des veines de quartz cristallisé qui représentent l'épanouissement supérieur du même dépôt.

Autres exemples de cette silicification.

Dans beaucoup d'autres points de la contrée, le grès des Vosges, près de son contact avec le granite, présente des masses de jaspe et de quartz cristallisé semblables à celles que nous venons de signaler. Les environs de Plombières montrent d'autres exemples de ce fait près de la Feuillée et au pied du château de Montaignut.

Origine de cette silicification.

On a cherché à expliquer cette modification du grès des Vosges par un ramollissement qu'il aurait éprouvé sous l'action calorifique du granite. Les faits démontrent au contraire avec évidence que nulle part la chaleur n'a, à beaucoup près, été suffisante pour vitrifier du quartz. Il y a eu simple silicification par voie chimique, comme dans un grand nombre d'autres localités; de plus, cette silicification est évidemment liée à la formation des filons du voisinage. Les eaux qui déposaient du spath fluor et du quartz dans les fissures du granite paraissent s'être élevées jusqu'aux couches de

grès superposées à cette roche, et y avoir formé aussi d'abondants dépôts (1).

L'extrême irrégularité avec laquelle la silice a pénétré du granite dans le grès des Vosges s'explique facilement de cette manière. On voit encore pourquoi, suivant une remarque de M. de Billy (2), cette transformation a eu lieu seulement dans les régions du grès des Vosges qui sont recouvertes par le grès bigarré, c'est-à-dire dans les portions qui sont restées à un niveau peu élevé.

Ces faits rappellent ceux qu'on a observés en Bourgogne, notamment aux environs d'Avallon. Les filons qui, à Plombières, coupent le granite forment, pour ainsi dire, le tronc des ramifications étendues jusque dans les couches superposées à cette roche. Il y a ici un ensemble de faits semblables au fond à ceux qui ont produit le remplissage des filons; ils n'en diffèrent que par la forme.

Bien que les filons de Plombières aient été remplis quand le grès des Vosges et le grès bigarré étaient déjà déposés, ils ne passent pas, sous forme même de filons, dans cette dernière roche. Il en est souvent de même dans les chaînes des Vosges et de la forêt Noire. Les failles qui ont précédé la formation des filons paraissent avoir rencontré des obstacles particuliers à leur prolongation régulière, en passant des roches anciennes aux terrains stratifiés.

Liaison  
des dépôts  
des  
terrains stratifiés  
aux filons,  
comme  
dans la France  
centrale.

Obstacles  
à la prolongation  
de certains  
filons des roches  
anciennes  
dans les terrains  
stratifiés.

---

(1) Si la précipitation de la silice s'est faite avec une abondance particulière dans le grès des Vosges, on peut l'attribuer à la perméabilité de cette roche qui aujourd'hui encore est un réservoir de sources; peut-être aussi à ce que cette dernière roche, moins chaude que le granite inférieur, refroidissait plus vite les dissolutions siliceuses.

(2) *Esquisse sur la géologie du département des Vosges*, page 25.

Source thermale  
de  
Chaude-Fontaine,  
commune  
de Dommartin.

Une autre association entre des sources thermales et des dépôts métallifères, toute semblable à celle de Plombières, se montre à 15 kilomètres de cette localité. Il existe dans le hameau de Reheroy, commune de Dommartin, une source thermale volumineuse, connue sous le nom de Chaude-Fontaine. Sa température est de 23°,5, bien qu'elle n'arrive à la surface du sol qu'à travers une couche de gravier, et après s'être mélangée à d'abondantes infiltrations d'eau froide. Il n'est donc pas douteux que son régime ne soit susceptible d'être amélioré par un travail de captage, et qu'on ne puisse l'utiliser plus tard au point de vue médical, si on le désire. La roche encaissante est un granite porphyroïde semblable à celui de Plombières.

Son association  
à des filons  
de quartz  
et de fer oligiste.

Or la source de Chaude-Fontaine émerge près d'un groupe de petits filons formés de quartz et de fer oligiste. Des travaux de recherches sur ce dernier minéral ont même été faits, il y a quelques années, à moins de 300 mètres au sud de la source. Au milieu du quartz on distingue des cavités tabulaires qui résultent de la dissolution de cristaux de baryte sulfatée. Le fer oligiste s'y montre souvent en beaux cristaux.

Analogie  
entre  
Chaude-Fontaine  
et Plombières.

Ainsi à Plombières comme à Chaude-Fontaine, des filons métallifères servent encore de canaux aux sources thermales actuelles. Celles-ci paraissent donc y former la dernière phase des phénomènes qui ont apporté les minéraux métalliques dans ces deux localités.

Autres filons  
en relation  
avec ceux  
de Plombières  
et de Chaude-  
Fontaine.

D'autres filons de la contrée sont en relation avec ceux de Plombières et de Chaude-Fontaine.

Filon de quartz  
de la  
vallée des Roches.

Un puissant filon de quartz situé dans la vallée des Roches au val d'AJol, est bien connu par plusieurs descriptions (1). Il se compose de quartz de diverses

(1) Hogard. *Esquisses géologiques du val d'AJol*. — Puton, *Du métamorphisme dans les Vosges*, page 7 et suivantes.

variétés : compacte, hyalin et améthyste. Il est parfois entremêlé de fer oligiste, plus rarement de spath fluor et de baryte sulfatée. Le quartz renferme des cavités qui résultent de la disparition de cristaux de spath fluor. Les cavités avaient la forme de cube, mais elles sont souvent déformées, comme si le quartz avait été encore mou, lorsque les cristaux ont disparu. On remarque aussi des empreintes de cristaux de baryte sulfatée qui ont également été détruits.

La silice n'a pas seulement rempli le filon; elle a pénétré dans la masse du grès rouge voisin qu'elle a transformé, particulièrement près d'Hérival.

Des filons quartzeux moins puissants que ceux du val d'Ajol, mais de même nature, ont été également signalés depuis longtemps par M. Puton, à la Poirie, près de Remiremont, et à 3 kil. seulement de Chaude-Fontaine. Ils renferment également de la baryte sulfatée, du fer oligiste du spath fluor (1). Les couches du grès rouge que ces filons coupent ont été imprégnées des mêmes minéraux, tout à fait comme à Hérival. Ces filons présentent dans leurs détails un autre trait de ressemblance avec ceux de la vallée des Roches; ils renferment comme ceux-ci des empreintes cubiques résultant de la disparition de cristaux de spath fluor (2).

Les filons de Plombières du val d'Ajol, de la Poirie et de Chaude-Fontaine présentent, il est vrai, dans leur composition, quelques différences; mais elles sont légères et du même ordre que celles que l'on remarque souvent dans l'étendue d'un seul et même filon. Malgré leurs différences, tous ces gîtes appartiennent incontestablement à une même formation.

Filons de quartz et de fer oligiste de la Poirie.

Relation de ces différents gîtes entre eux par leur composition et leur alignement.

(1) Puton. Mémoire cité plus haut, page 9.

(2) Delesse. *Notice sur les caractères de l'arkose dans les Vosges.* (Bibliothèque de Genève, 1848.)

D'ailleurs, la liaison d'origine des filons qui nous occupent se manifeste aussi par des similitudes de directions. Le filon de quartz de la vallée des Roches affleure sur 2.500 mètres de longueur avec une direction E. 35° N.-O. 35° S. (1). Il est donc parallèle à la direction moyenne de la vallée de Plombières et aux filons de cette vallée, qui en est distante seulement de 4 kil. En outre, la direction de ce premier filon suffisamment prolongée passe par les roches silicifiées d'Hérival, et à 10 kil. plus loin, va précisément rencontrer les dépôts de la Poirie. J'ajouterai que le même alignement se continue au delà de la vallée de la Poirie; il forme précisément l'axe de la vallée du Bouchot sur 6 kil. de longueur. Cette ligne est parallèle au système de la Côte-d'Or, dont il existe de nombreux indices dans cette région.

Lien entre les phénomènes thermaux de Plombières et Chaude-Fontaine.

La ligne de fracture que nous venons de reconnaître sur 24 kil. de longueur est jalonnée sur une partie de son étendue par les dépôts de la vallée des Roches d'Hérival et de la Poirie; elle se lie donc à la fois aux filons de Plombières et à ceux de Chaude-Fontaine, et constitue un nouveau trait d'union entre les phénomènes thermaux de ces deux localités.

#### *Rapports de succession des sources thermales antérieures et actuelles.*

Deux périodes à distinguer dans le régime des sources thermales de la contrée.

Nous venons de voir que les sources thermales de Plombières et de Chaude-Fontaine, jaillissent au milieu de filons formés de quartz, de spath fluor et de fer oligiste qui se relie à des filons voisins, tels que celui

---

(1) D'après les observations de M. de Billy. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 19 mai 1856.)

de la vallée des Roches, ainsi qu'à des dépôts des mêmes minéraux qui ont pénétré dans les terrains stratifiés.

Ces anciens dépôts étant eux-mêmes, selon toute vraisemblance, le produit de l'action d'eaux minérales, nous devons reconnaître deux périodes distinctes dans le régime des sources thermales de la contrée.

La première période est évidemment plus récente que le grès rouge et le grès des Vosges. Mais les terrains plus modernes que le trias n'existant pas dans le pays, on manque de repère pour en apprécier l'âge avec plus d'approximation. Il serait très-possible que ces filons, comme ceux de la Bourgogne avec lesquels ils présentent tant d'analogies, fussent postérieurs à la période jurassique. Rien même ne prouve qu'ils ne se soient pas continués pendant l'époque tertiaire; car il existe sur le revers oriental des Vosges, aux environs de Lampertsloch, des dépôts formés aussi de fer oligiste, de quartz et de baryte sulfatée, qui se sont épanchés dans les terrains tertiaires miocènes; ils sont contemporains des gîtes de bitumes qui les avoisinent, comme je l'ai montré ailleurs (1).

La première période peut être très-postérieure au trias.

Quel que soit l'âge de la première période, elle a été séparée de la seconde par un changement dans le relief du sol. En effet, à Plombières par exemple, les dépôts siliceux du grès des Vosges s'élevant à plus de 60 mètres au-dessus du fond de la vallée n'ont pu être formés pendant la période actuelle. La vallée n'était pas alors échancrée profondément comme elle l'est aujourd'hui; autrement, au lieu de s'élever ainsi, elles se seraient

Changement dans le relief du sol qui a eu lieu entre les deux périodes.

(1) Note sur une zone d'amas ferrugineux placés le long des failles, sur la limite du grès des Vosges (*Bulletin de la société géologique de France*, 2<sup>e</sup> série, tome III, page 169.) — Mémoire sur le gisement du bitume, du sel et du lignite dans le terrain tertiaire de Bechelbronn et de Lobsaann. (*Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, tome XVI, page 287.)

nécessairement déversées à un niveau beaucoup moindre. C'est donc après le mouvement qui a imprimé au sol les derniers traits de son relief que les eaux minérales ont changé de régime; leur disposition, et probablement aussi leur nature chimique et leur température ont été modifiées.

L'intérieur  
des filons pré-  
sente également  
des indices  
de ces deux  
périodes.

Conglomérat.

Chaux fluatée  
déposée  
dans deux  
circonstances  
différentes.

Les filons eux-mêmes présentent dans leur structure intérieure des indices d'un changement. Le granite, le quartz et le spath fluor y ont été concassés, faits qui ont appelé l'attention de M. Jutier. Les fragments de ces substances sont en partie arrondis comme s'ils avaient frotté les uns contre les autres. Parfois ce conglomérat est cimenté par de l'argile et des détritits pulvérisés. Souvent aussi il a été réagglutiné par de la chaux fluatée.

Or, dans le second dépôt, la chaux fluatée diffère complètement par ses caractères physiques de celle qui avait primitivement rempli le filon; au lieu d'être massive et rubanée, elle est formée de cristaux microscopiques, à peine agrégés entre eux; elle rappelle par sa structure certaines dolomies à la fois saccharoïdes et friables. Un tel contraste dans les caractères du spath fluor qui s'est déposé, avant et après le mouvement de l'intérieur des filons, correspond selon toute vraisemblance à un changement dans la composition des sources qui y affluèrent.

Les  
sources actuelles  
peuvent avoir  
déposé la chaux  
fluatée qui sert  
de ciment  
au conglomérat.

Après avoir découvert la présence du fluorure de calcium dans les dépôts de Carlsbade, Berzélius a reconnu que ce sel est soluble dans l'eau alcaline. Ainsi les sources actuelles ont pu dissoudre du spath fluor sur quelques points des filons pour le précipiter ailleurs (1).

(1) En effet, certains cristaux de spath fluor paraissent avoir été rongés par un liquide dissolvant, tandis que d'autres cristaux du même minéral, restés nets, ont été comme saupoudrés de cristaux microscopiques de quartz.

Ce qui confirme tout à fait cette supposition, c'est qu'au milieu des maçonneries romaines j'ai reconnu de la chaux fluatée en petits cristaux qui s'y est, par conséquent, déposée à une époque récente (1).

Le changement que nous reconnaissons s'être opéré dans les sources thermales de la contrée de Plombières n'a pas le caractère d'une transformation graduelle et lente, comme celle qui a pu résulter ailleurs de la simple action du temps. Ce changement paraît être plutôt la conséquence indirecte d'un mouvement qui aurait précédé le creusement des vallées jusqu'à leur profondeur actuelle. Les conglomérats produits dans l'intérieur des filons annoncent d'ailleurs que ce mouvement a aussi disloqué les canaux par lesquels s'élevaient les eaux thermales. On peut même s'étonner que les canaux qui, dans un si grand nombre de conditions analogues ont été fermés, donnent encore, sur certains points, passage aux eaux chaudes de l'intérieur.

Les faits que nous venons d'exposer montrent en quoi il conviendrait de modifier l'opinion généralement admise sur la stabilité du régime des eaux thermales. Beaucoup d'entre elles, il est vrai, sont utilisées depuis l'antiquité sans qu'on ait constaté de changements bien sensibles dans leur composition ou leur température. Mais qu'est-ce que la durée de la tradition, auprès de celle des périodes géologiques, dont tant de phénomènes sont les témoins irrécusables?

Les sources thermales qui ont jailli à Plombières dans les deux périodes successives, malgré les différences évidentes que nous venons de reconnaître, présentent

Le changement dans les sources ne paraît pas résulter d'une dégradation lente.

La stabilité attribuée aux sources minérales et thermales n'est qu'apparente.

Analogie de composition des sources actuelles avec les dépôts des filons qui les ont précédés.

---

(1) Déjà la présence de fluorures dans l'eau thermale de Plombières avait été reconnue chimiquement par MM. O. Henry et Lhéritier, et plus tard confirmée par M. Nicklès.



des analogies qui ne sont pas moins remarquables. Il en est deux que nous devons encore signaler :

1° Les sources actuelles contiennent encore des fluorures, et déposent de nos jours du spath fluor ;

2° Elles renferment aussi du silicate alcalin en dissolution. Or mes expériences ont prouvé qu'une telle eau suréchauffée précipite du quartz cristallisé (1).

Ces traits de ressemblance expliquent comment les filons de Plombières formés de quartz et de spath fluor et l'énorme dépôt quartzeux de la vallée des Roches, peuvent être par leur origine en relation très-intime avec les sources de l'époque actuelle.

#### DEUXIÈME PARTIE.

##### FORMATION CONTEMPORAINE DES ZÉOLITHES PAR LES EAUX MINÉRALES DE PLOMBIÈRES ET ANALOGIE DE LEUR DISPOSITION AVEC CELLES QUI FONT PARTIE DE ROCHES ÉRUPTIVES.

Dans cette seconde partie, je désire appeler l'attention sur deux points : d'abord sur la formation des zéolithes dans les maçonneries que les Romains ont construites à Plombières pour les bains ; puis sur l'analogie que présentent ces zéolithes, par tout l'ensemble de leur disposition et de leur relation avec la roche enveloppante artificielle, avec celles qui font partie essentielle ou accidentelle de diverses roches naturelles.

Quand j'ai annoncé, il y a quelques mois, la formation de l'apophyllite, il s'agissait seulement de quelques faits qui n'avaient pas la généralité que nous avons pu reconnaître depuis lors.

##### *Production des zéolithes et d'autres minéraux dans les maçonneries romaines.*

Le béton, que les Romains ont étendu à proximité des points d'émergence des sources thermales, est composé

Composition  
du béton.?

(1) *Annales des mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XII, p. 298.

de fragments de briques et de grès bigarré, réunis par un ciment de chaux sans mélange de sable. Il s'étend sur plus de 90 mètres de longueur, avec une épaisseur qui, sur quelques points, atteint 3 mètres. Cette nappe de béton repose parfois sur le granite même; mais en général elle est séparée de la roche solide par du gravier d'alluvion.

Sous l'influence prolongée de l'eau minérale qui afflue continuellement, le ciment calcaire et les briques elles-mêmes ont été en partie transformés. Les combinaisons nouvelles qui se sont produites se montrent surtout dans les cavités de la masse, où elles forment des enduits mamelonnés et quelquefois cristallisés; les plus remarquables de ces produits par leur abondance sont des silicates de la famille des zéolithes, et en particulier l'*apophyllite* et le *chabasia*.

Nouveaux minéraux formés dans la maçonnerie.

Des géodes renfermées dans la partie calcaire sont intérieurement recouvertes de pointements en pyramide aigüe et à base quarrée. L'analyse m'a montré que cette substance est un silicate hydraté de potasse et de chaux dans les proportions qui constituent l'*apophyllite*, minéral dont elle a d'ailleurs la forme cristalline. Chauffée dans un tube ouvert, elle donne même la réaction du fluor comme les *apophyllites* naturelles.

*Apophyllite*.

Dans beaucoup de boursouflures des briques, il s'est déposé des cristaux incolores d'une limpidité parfaite, ayant la forme de rhomboèdres voisins du cube, comme la *chabasia*. De même que la plupart des cristaux de ce minéral, ils sont faiblement striés parallèlement aux arêtes; ils en présentent parfois aussi la macle habituelle. La mesure des angles des cristaux ne laisse aucun doute sur leur identité avec ceux de la *chabasia*; les caractères chimiques sont tout semblables.

*Chabasia*.

Il s'est formé encore dans les mêmes conditions d'au- Autres zéolithes.

tres combinaisons de la famille des zéolithes, mais leur détermination n'a pas encore été faite avec certitude, parce qu'il est très-difficile de les isoler complètement des briques et du béton, et qu'on n'a pu en recueillir à l'état de pureté que des quantités insignifiantes pour l'analyse. Je ne les mentionne donc qu'avec réserve. Les cristaux de chabasie sont très-fréquemment recouverts de petits globules hérissés de cristaux microscopiques qui ont tous les caractères de la variété de *gismondine*, à laquelle on a autrefois donné le nom d'*abrazite*. On rencontre plus rarement des cristaux en aiguilles qui ont l'aspect et les caractères chimiques de la *scolézite*. J'ai aussi trouvé quelques prismes tout à fait transparents et incolores, de forme carrée, et terminés par un pointement carré sur les arêtes du prisme. Ces cristaux paraissent être de l'*harmotôme* dépourvue de sa macle ordinaire. Souvent enfin la zéolithe étant amorphe n'est pas susceptible d'être exactement définie.

Faible épaisseur  
de l'enduit  
cristallin  
des géodes.

Les enduits de zéolithe cristallisés sont toujours très-minces; leur épaisseur est inférieure à un millimètre.

Silicate de chaux  
hydraté  
ou plombiérîte.

Dans des cavités situées à la partie inférieure de la couche de maçonnerie, et à proximité de points qui reçoivent un jet direct d'eau thermale, il se produit assez abondamment des dépôts gélatineux, transparents et incolores. En se desséchant à l'air libre, la substance devient, au bout de quelques heures, opaque et d'un blanc de neige. Sa surface mamelonnée, ses couches concentriques, sa cassure fibreuse rappellent tout à fait la structure de la calcédoine, de la malachite, de l'hématite brune et d'autres espèces minérales concrétionnées. Elle se fond facilement au chalumeau en bouillonnant; elle fait gelée avec les acides. Selon les conditions de température dans lesquelles on la place

successivement, elle perd ou elle gagne de l'eau, et paraît présenter des propriétés hygroscopiques semblables à celles que M. Darnour a étudiées dans les zéolithes (1).

L'analyse a montré que cette substance est un silicate de chaux hydraté, sans alcali, qui, après une dessiccation à 100 degrés, a été trouvé composé de :

Silice. . . . .	40,6
Chaux . . . . .	34,1
Alumine . . . . .	1,5
Eau avec traces d'acide carbonique.	<u>23,2</u>
	99,2

En faisant abstraction de l'alumine qui paraît y former un mélange accidentel, on est conduit à la formule très-simple :  $\text{CaO. SiO}^2 + 2\text{HO}$ .

Par ses proportions, cette substance diffère donc du silicate de chaux hydraté nommé okénite, qui a été rencontré dans les roches amygdaloïdes des îles Feroë, de l'Islande et du Groënland (2). Il constitue très-probablement une espèce nouvelle dont on pourrait peut-être rappeler l'origine par le nom de *plombiërite*.

Divers autres minéraux se sont produits avec les zéolithes.

L'*opale* mamelonnée translucide et incolore, appartenant à la variété nommée *hyalite*, accompagne quelquefois l'apophyllite; il serait impossible de le distinguer de celle des basaltes. On y trouve aussi l'*opale* commune avec la couleur grise et l'éclat résineux.

Opale.

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, 11 mai 1857.

(2) La composition de ce dernier minéral est  $\text{CaO. 2SiO}^2 + 2\text{HO}$ , Quant au silicate dont MM. Rivot et Chatoney admettent l'existence dans les mortiers hydrauliques (*Annales des mines*, 5<sup>e</sup> s., t. IX, p. 591), la composition qu'ils lui assignent est



- Arragonite.** Des cristaux d'*arragonite* en double pyramide à six pans et très-aiguë rappellent particulièrement les échantillons des gîtes de fer de Framont et de certains basaltes (c'est la variété de forme nommée apotome par Haüy, avec le biseau  $e^4$ ). Plus souvent l'arragonite est en cristaux aciculaires, incolores ou d'un vert tendre, qui forment de petites houppes à l'intérieur des géodes.
- Spath calcaire.** Quelques cavités contiennent aussi la chaux carbonatée rhomboédrique et lamellaire associée à la chabasie, comme dans les roches volcaniques de l'Islande.
- Chaux fluatée.** Dans certains enduits blancs et quelquefois violacés, qui se sont précipités sur des fragments des roches du béton, j'ai reconnu de la chaux fluatée pulvérulente et formée de cristaux microscopiques. Elle est souvent avoisinée par l'apophyllite, qui elle-même renferme du fluor.
- Hydrocarbonate en lames nacrées.** Enfin, parmi les cristaux rencontrés dans le béton calcaire, il en est une en lames blanches, d'un éclat nacré, de forme rhombe; ses angles plans, mesurés à la chambre claire, ont été trouvés de 127 et 62 degrés. Les cristaux ont deux axes optiques très-rapprochés et situés dans un plan normal à celui des lames. Cette substance, qui par son aspect rappelle la stilbite, se dissout avec effervescence dans les acides, sans laisser de résidu de silice; elle est hydratée et infusible. C'est un hydrocarbonate de magnésie paraissant constituer une espèce nouvelle. L'analyse n'en a point encore été faite, faute d'une quantité suffisante de substance pure.
- Les zéolithes se sont formées dans toute la nappe de béton.** Les zéolithes ne sont pas exceptionnelles dans la couche de maçonnerie; elles se sont formées dans toutes les parties que l'eau chaude traversait. De très-petites cavités ont été accessibles aux infiltrations et se sont tapissées de cristaux. Enfin, les morceaux mêmes des briques où l'on ne distingue à l'œil nu aucun mélange contiennent souvent une substance qui fait gelée à froid avec

l'acide chlorhydrique. Toute la masse d'une partie des briques est donc plus ou moins imprégnée de zéolithes.

*Analogie des conditions de gisement et de formation des zéolithes dans les constructions romaines de Plombières et dans les roches où elles se rencontrent habituellement.*

Avant de montrer la ressemblance des zéolithes de Plombières avec celles qui font essentiellement ou accidentellement partie des roches, nous rappellerons les idées théoriques aujourd'hui admises sur la formation de ces minéraux.

On n'est pas encore fixé sur le mode de formation des zéolithes. En voyant ces silicates disséminés dans toute la pâte des roches volcaniques anciennes et dans les moindres cavités, on avait cru à une certaine époque qu'ils s'étaient formés par ségrégation dans la masse même de la roche. Plus tard, d'après de nombreuses observations dues à MM. Élie de Beaumont, Durocher, Bischof, Bunsen, Dana, Haidinger, Jackson, et divers savants, on a été conduit à admettre que les zéolithes ont été déposées par des infiltrations qui auraient pénétré dans les roches et qui tenaient en dissolution tous les éléments de ces silicates, silice, alumine, chaux et alcali. Dans les conditions ordinaires des laboratoires, on ne pouvait reproduire sous forme cristalline ces silicates hydratés ; aussi admettait-on qu'ils s'étaient formés à une température assez élevée, et sous une pression qui ne permettait pas à leur eau de combinaison de se dégager. M. Wœhler avait même appuyé cette manière de voir par une expérience capitale. Il avait dissous et fait cristalliser l'apophyllite dans l'eau à 180 degrés et sous 10 atmosphères de pression. Il ne s'agissait, il est vrai, que d'une cristallisation. Mais la dissolution de la combinaison formée à l'avance parais-

**Théories émises  
sur la formation  
des zéolithes.**

sait permettre de conclure que de pareilles conditions de température et de pression étaient nécessaires pour les produire.

Conditions dans lesquelles les zéolithes se forment à Plombières.

Au lieu de conjectures plus ou moins fondées, nous possédons maintenant une démonstration, pour ainsi dire expérimentale, de la formation d'un grand nombre de zéolithes, et qui précise bien les circonstances du phénomène.

L'eau thermale imbibe et traverse lentement la nappe de béton.

Malgré sa dureté extrême, la maçonnerie romaine donne accès à l'eau thermale, tant par des fissures que par les cavités et la porosité du mortier, et surtout par les innombrables boursouffures de toute dimension qui se sont produites dans les briques lors leur cuisson. La nappe de béton est donc constamment imbibée. D'ailleurs, la pression des sources force l'eau à circuler lentement dans le massif de maçonnerie qui est ainsi, non-seulement baigné, mais encore *traversé* par l'eau minérale.

Importance d'un renouvellement continu dans divers phénomènes géologiques.

L'eau n'est donc pas stagnante; il y a *courant* très-lent, il est vrai, mais continu. Un renouvellement incessant permet à de l'eau qui ne renferme que des traces de matières salines d'accumuler des dépôts en quantité notable. Des actions très-faibles se multiplient ainsi avec l'aide du temps. C'est une circonstance qui manque dans la plupart des expériences tentées jusqu'à présent pour imiter la nature, mais dont l'importance, comme application à divers phénomènes géologiques sera facilement comprise.

A la faveur de l'alcali que cette eau renferme, elle réagit graduellement sur certaines substances qu'elle traverse, et peut-être même sans véritable dissolution, mais par une sorte de céméntation, y engendre alors des silicates doubles hydratés qui appartiennent au groupe des zéolithes. La réunion de ces deux circonstances, circulation de l'eau et réaction chimique, sont les éléments de ces formations modernes.

Pour que ces silicates se forment et cristallisent, il n'est pas besoin, à beaucoup près, d'une chaleur aussi élevée qu'on l'a supposé; une température de 60 degrés suffit, au moins pour certains d'entre eux. Les zéolithes ont par conséquent pu souvent se produire dans les roches sous la simple pression atmosphérique et à la surface même du sol.

Température peu élevée suffisante pour la cristallisation des zéolithes.

Sur des points très-rapprochés l'un de l'autre, à quelques millimètres d'intervalle, on voit se former des produits différents selon la nature de la pâte sur laquelle l'eau réagit. C'est ainsi que l'apophyllite, silicate qui renferme de la chaux, outre la potasse, s'est formée dans les cavités du mortier; je ne l'ai jamais rencontrée dans la brique. Au contraire, c'est exclusivement dans les cavités de la brique que l'on trouve la chabasite, silicate double d'alumine et de potasse.

Localisation des produits, selon leur composition.

Une même dissolution, en attaquant des roches de diverses natures, y développe donc des combinaisons spéciales à chacune d'elles. Une localisation aussi prononcée de certaines zéolithes paraît montrer que leurs éléments n'étaient pas en totalité dissous dans l'eau qui imbibait le terrain. L'eau n'en apportait qu'une partie: les éléments complémentaires, chaux, alumine ou autres, nécessaires à la constitution des nouveaux composés, étaient renfermés soit dans le mortier, soit dans les briques qui les ont cédés à l'eau.

Les éléments des zéolithes n'étaient pas en totalité dissous dans l'eau.

Les nouvelles combinaisons se sont d'ailleurs fixées très-près des points où elles ont pris naissance. Elles diffèrent par ce caractère de la plupart des minéraux des filons métallifères, dont tous les éléments sont souvent étrangers aux roches voisines des parois (1).

Elles se sont fixées après des roches où elles ont pris naissance.

(1) A température plus élevée, peut-être l'eau acquerrait-elle un plus fort pouvoir dissolvant, et serait-elle alors susceptible de déplacer plus notablement les zéolithes qui y prennent naissance.



Analogie  
de la nature et  
de la disposition  
des minéraux  
rencontrés dans  
les maçonneries  
de Plombières  
et dans diverses  
roches éruptives.

Le travail qui se produit à Plombières s'est accompli sur des proportions considérables dans certaines formations géologiques.

L'ensemble des minéraux disséminés dans les innombrables cellules de la maçonnerie, les zéolithes, l'opale, l'arragonite, constituent une association qui forme fréquemment l'apanage de certaines roches éruptives.

Il y a plus : toute la manière d'être de ces minéraux contemporains rappelle, dans les moindres circonstances, leur disposition dans les nappes de basalte et de trapp douées de la structure amigdalôide. Si ce n'était la différence de couleur, il serait même très-possible de confondre les parties de béton chargées de zéolithes avec des tufs basaltiques où se sont formés les mêmes minéraux ; les briques avec leurs boursoufflures et leurs druses, imitent d'une manière surprenante les roches amigdalôides.

Analogie  
d'origine  
des minéraux des  
roches éruptives  
et de ceux  
des maçonneries  
de Plombières.

Une telle identité dans les résultats, décèle incontestablement de grandes analogies d'origine.

Beaucoup de roches d'origine éruptive se sont, en effet, boursoufflées dans la dernière période de leur refroidissement. Ces roches, ainsi que les brèches ou tufs dont elles sont accompagnées, ont reçu des infiltrations. L'eau pouvait provenir, soit de vapeurs condensées, soit de sources ordinaires, soit enfin de l'action directe de nappes d'eau douce ou marines, sous lesquelles les roches ont dû quelquefois s'épancher. Dans ces deux derniers cas, en pénétrant dans l'intérieur de la roche avant qu'elle fût complètement refroidie, l'eau se trouvenécessairement échauffée, et en se mouvant lentement sur certains silicates, elle pouvait donc réagir comme dans les maçonneries de Plombières.

Il est d'ailleurs possible que l'eau pure suffise souvent pour produire des zéolithes. Les roches volcaniques

renferment en effet déjà des alcalis parmi leurs bases. Échauffée en présence de certains de ces silicates, l'eau peut devenir bientôt minérale, comme M. Bunsen l'a reconnu pour la roche de l'Islande nommée palagonite (1). L'action énergique qu'exerce l'eau sur le verre à des températures élevées (2) en lui enlevant du silicate alcalin, appuie aussi cette dernière supposition.

Ce n'est pas seulement dans les cavités discernables de la maçonnerie qu'il s'est formé des combinaisons zéolithiques. Les briques en sont souvent pénétrées loin des boursouflures et dans leurs moindres pores. Leur constitution actuelle présente donc, au point de vue de la répartition des zéolithes dans la masse, une plus grande analogie avec celle des basaltes ou des phonolithes.

Analogie  
avec les basaltes  
et les phonolithes.

Ainsi l'opinion qui considère les roches à zéolithes comme résultant d'une modification de roches anhydres, telles que certaines espèces de dolérites et de trachytes, reçoit de ces faits une pleine confirmation (3). Ces différentes roches paraissent s'être transformées quand elles étaient déjà consolidées, de même que nos briques se sont imprégnées intimement de zéolithes.

En même temps il s'est isolé souvent d'autres résidus de la décomposition de ces roches, tels que la terre verte, du quartz, des carbonates de chaux, de magnésie, de fer, c'est-à-dire les carbonates des bases

(1) Liebig. *Annalen*, t. LXII, p. 48.

(2) *Annales des mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XII, p. 297.

(3) Cette opinion, soutenue très-habilement par M. le professeur Bischof, puis par M. Volger, a été appuyée depuis par les intéressantes recherches de M. Jenzsch sur les phonolithes du Mittelgebirge. La roche originaire existerait encore aux environs de Nestowitz (*Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1856, t. II).

qui étaient d'abord combinées à l'acide silicique. Des matières organiques se sont même souvent introduites dans la roche transformée : cette dernière circonstance a été l'un des arguments principaux de M. Bischof à l'appui de ses idées théoriques sur les basaltes (1).

Transformation  
du verre  
en zéolithe  
par l'eau  
suréchauffée.

Mes expériences fournissent un exemple remarquable de la transformation de silicates anhydres en silicates hydratés, qui trouve ici sa place.

J'ai déjà fait connaître (2) que le verre, après avoir été soumis à l'action de l'eau suréchauffée de 200 à 400 degrés, change complètement d'aspect et abandonne un silicate alcalin, qui lui-même, en se décomposant dans de certaines conditions de température, peut produire du quartz cristallisé.

Le verre ainsi modifié a parfois une composition voisine de la wollastonite. Mais en général, si l'on opère à une température d'environ 200 degrés, le résidu de la décomposition du verre est un silicate *hydraté* qui contient encore une partie de l'alcali.

Comme dans le premier cas, le verre conserve d'ailleurs sa forme générale; seulement il devient tout à fait opaque, d'un blanc de neige; il ressemblerait tout à fait à du kaolin, s'il n'avait une structure fibreuse très-prononcée.

La simple comparaison des épaisseurs d'un tube de verre, avant et après sa décomposition, annonce que dans cette dernière action la substance s'est considérablement gonflée. C'est ce que confirme l'examen des densités. Réduit en poudre fine, le verre modifié a, en effet, une densité de 2,49, c'est-à-dire très-voisine de

(1) *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*, t. II, p. 803.

(2) *Annales des mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XII, p. 297.

celle du verre ordinaire. Mais les fragments de la même substance, pris avec leur volume apparent, ont seulement une densité de 1,89. La substance est donc devenue poreuse dans l'acte de la cristallisation, et son volume apparent surpasse son volume réel du tiers de ce dernier.

Le verre modifié et hydraté dont nous nous occupons est facilement fusible; il est attaqué par les acides, même à froid. L'attaque est complète, ce qui prouve que toute la masse du verre a été transformée. Sa composition a été trouvée comme il suit, après un lavage à l'eau bouillante qui l'a séparé des parties solubles, et une dessiccation à 100 degrés :

Silice. . . . .	61,8
Chaux. . . . .	21,9
Magnésie. . . . .	3,9
Soude. . . . .	6,3
Alumine. . . . .	traces.
Eau. . . . .	4,2
	<hr/>
	98,1

Le verre primitif n'ayant pas été analysé, nous ne pouvons voir exactement combien il a perdu en alcali et en silice, mais nous reconnaissons qu'il s'est hydraté, et que le nouveau silicate appartient, par sa composition chimique et par l'ensemble de ses caractères, à la famille des zéolithes. Les quantités d'oxygène de la silice, la chaux, la magnésie et la soude sont à très-peu près comme les nombres 20 . 4 . 1 + 1. La composition a donné de l'analogie avec celle de la pektolithe, qui est aussi en cristaux aciculaires ou en masses fibreuses.

Ainsi l'eau pure et convenablement suréchauffée peut transformer un silicate anhydre, tel que le verre, en un silicate hydraté, de nature zéolithique.

En rapprochant ce dernier fait des résultats obtenus par M. Wœhler et M. Bunsen sur la formation des

Plusieurs modes de formation des zéolithes.

mêmes composés et de nos propres observations sur les réactions des maçonneries de Plombières, on est conduit à penser que les zéolithes peuvent avoir été produites de plusieurs manières dans les roches. La température à laquelle ces silicates hydratés se forment varie elle-même avec la nature des silicates anhydres qui leur donnent naissance.

Zéolithes  
dans les terrains  
stratifiés.

Les zéolithes ne sont pas nécessairement limitées aux roches éruptives ou aux filons. Depuis longtemps on connaît la mésotype et la stilbite dans les calcaires d'eau douce de l'Auvergne, et l'apophyllite a été signalée par M. Haidinger dans les calcaires fossilifères de l'Écosse (1). Dans ces derniers temps, M. Delesse a constaté, par l'analyse, la présence de silicates hydratés de nature zéolithique, dans de nombreuses roches stratifiées qui ont été modifiées par des roches trappéennes (2). L'exemple de la maçonnerie de Plombières s'applique également à la production des zéolithes dans les terrains sédimentaires.

Roches  
amygdaloïdes  
du lac Supérieur  
et du Chili.

Il y aurait peut-être lieu d'étendre également cette explication aux couches des environs du lac Supérieur, si connues par les richesses en cuivre qu'elles renferment. Les géologues américains leur ont donné le nom de trapp, à cause de leur structure amygdaloïde et de l'abondance des zéolithes. Cette hypothèse ne s'accorde cependant, ni avec la nature de ces roches, ni avec leur liaison aux terrains stratifiés en contact avec elles, d'après M. Rivot, et il les regarde comme des roches sédimentaires métamorphiques (3). Les faits que nous

(1) *Taschenbuch für mineralogie*, 1828, p. 642.

(2) *Études sur le métamorphisme* (*Annales des mines*, 5<sup>e</sup> s., t. XII, p. 89).

(3) *Notice sur le lac Supérieur* (*Annales des mines*, 5<sup>e</sup> s., t. X, p. 441).

venons de développer montrent que les caractères d'après lesquels on regardait l'origine de ces roches cuprifères comme éruptives peuvent appartenir aussi à des terrains statifiés. C'est ainsi, d'après les études récentes de M. Pissis, qu'au Chili des couches régulières formées de conglomérats porphyriques et appartenant au grès rouge, renferment de nombreux globules de zéolithes, avec de la calcédoine et du silicate de fer. L'auteur de cette intéressante observation attribue à l'éruption des labradorites la transformation des grès rouges en amygdaloïde (1).

Toutes les roches ne se prêtent pas également au développement des zéolithes. Ainsi du granite tout à fait friable s'est trouvé soumis aux mêmes conditions que la brique, sans qu'il se soit comporté comme cette dernière substance.

Tous les silicates ne sont pas susceptibles de produire des zéolithes.

En effet, on n'a pas signalé de zéolithes dans la pâte des granites, ni dans celle des porphyres à base de feldspath orthose : cependant cette dernière roche est souvent boursouflée et renferme des concrétions siliceuses, comme il s'en est quelquefois formé dans d'autres roches avec les zéolithes.

Des expériences en voie d'exécution me permettront peut-être d'expliquer ces différences.

Les deux substances où les zéolithes se sont si facilement développées à Plombières sont la chaux et la brique. Toutes deux sont précisément de la nature de celles qui entrent dans la fabrication des mortiers hydrauliques. Il est très-possible que la connaissance de composés parfaitement définis et cristallisés que

Facilité avec laquelle elles se développent dans les matériaux hydrauliques.

(1) Rapport verbal de M. Gay sur un mémoire de M. Pissis relatif à la topographie et à la géologie de la province de Aconcagua (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LXVI, p. 1034.)

nous voyons se former par l'action de l'eau fasse mieux connaître la nature des combinaisons des matériaux hydrauliques, et notamment les réactions qui se font par voie humide entre la chaux et la pouzzolane.

Les faits que nous venons d'examiner ne sont pas non plus sans analogie avec les phénomènes de métamorphisme. Il a suffi de la circulation d'une eau tiède et à peine minéralisée pour transformer la maçonnerie de Plombières et y faire naître des silicates hydratés et cristallisés, ou, suivant le terme usité en géologie, pour lui faire subir un *métamorphisme*. Or à une température convenablement élevée des silicates anhydres prennent naissance au sein même de l'eau, comme je l'ai prouvé par des expériences directes. Les effets produits ne seraient-ils pas tout autres si l'eau, fortement suréchauffée et cependant retenue par la pression des masses supérieures, circulait lentement à travers certaines roches, comme nous le remarquons à Plombières, et réagissait sur elles avec la haute température qui convient à la formation des silicates anhydres?

Je ne fais qu'indiquer ici ces rapprochements qui mériteraient, je pense, d'être développés davantage, soit par l'expérience directe, soit par la comparaison des faits nombreux qui peuvent leur servir d'épreuves.