

SUR L'ORIGINE ET LA FORMATION
DES
SILEX DE LA CRAIE
ET DES
MEULIÈRES DES TERRAINS TERTIAIRES.

THÈSE DE GÉOLOGIE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE

Devant la Faculté des Sciences de Paris, le *C. Jussieu* 1852.

POUR ÊTRE ADMIS

AU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

ALBERT GAUDRY,

Attaché au Muséum d'histoire naturelle de Paris ; vice-secrétaire de la Société géologique
de France pour les années 1852 et 1853.

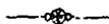
PARIS

IMPRIMERIE SIMON RAÇON ET C^o, RUE D'ERFURTH, 4.

1852

8516

ACADÉMIE DE PARIS.



FACULTÉ DES SCIENCES.



MM. MILNE EDWARDS, Doyen.

THÉNARD,	}	Professeurs honoraires.
PONCELET,		
BIOT,		
DE MIRBEL,		
CONSTANT PRÉVOST,	}	Professeurs.
DUMAS,		
AUGUSTE DE SAINT-HILAIRE		
DESPRETZ,		
STURM,		
DELAFOSSÉ,		
BALARD,		
LEFÉBURE DE FOURCY,		
LE VERRIER,		
CHASLES,		
DUHAMEL,		
DE JUSSIEU,		
GEOFFROY SAINT-HILAIRE,		
LAMÉ,		
DELAUNAY,		
VIEILLE,	}	Agrévés.
BERTRAND,		
MASSON,		
PÉLIGOT,		
PAYER,		
DUCHARTRE,		



A MON PÈRE.



A MONSIEUR CORDIER,

DE L'INSTITUT.

SUR L'ORIGINE ET LA FORMATION

DES

SILEX DE LA CRAIE

ET DES

MEULIÈRES DES TERRAINS TERTIAIRES.



§ I.

DE LA SILICE EN GÉNÉRAL.

La silice (oxyde de silicium, *si o*) est un des corps essentiels de la nature. Dissoute dans les eaux salées des mers comme dans les eaux douces des lacs et des étangs, chaque jour elle est absorbée par des infusoires, des spongiaires et quelques autres animaux dont les tissus renferment des pièces siliceuses. Elle est encore dissoute

dans le sol arable, et du sol elle pénètre dans les organes d'un grand nombre de végétaux.

Suivant M. Cordier (1), elle composerait, à l'état libre, les $\frac{33}{100}$ de l'enveloppe consolidée de la terre. D'après M. Marcel de Serres (2), elle en composerait même les $\frac{35}{100}$; et en ajoutant à ces $\frac{35}{100}$, $\frac{27}{100}$ de silice engagée dans les silicates, elle constituerait en tout les $\frac{62}{100}$ de l'écorce du globe. Ces données ne peuvent être qu'approximatives.

Elle existe dans la nature à trois états :

1° Elle est libre ;

2° Elle est à l'état de combinaison ;

3° D'après les observations que vient de publier M. Delafosse (3), elle se trouverait souvent à l'état de corps neutre, et elle aurait joué dans un grand nombre de silicates (les silicates doubles alumineux) le simple rôle d'un liquide dissolvant.

Quel que soit l'état sous lequel la silice s'est présentée, elle a dû sans doute exister originairement dans le sphéroïde terrestre et suivre les phases diverses par lesquelles le sphéroïde a passé. Or, ces phases peuvent se rapporter à l'action isolée de la chaleur, ou à l'action isolée des eaux, ou à l'action combinée de la chaleur et des eaux. De là, quatre séries de formations siliceuses :

1° Formations ignées ou plutoniennes dans lesquelles les phénomènes aqueux n'ont pu jouer qu'un rôle très-accessoire (quartz des diverses roches granitoïdes) ;

2° Formations aqueuses ou neptuniennes dans lesquelles les eaux ont enlevé la silice aux roches préexistantes pour en former ensuite de nouveaux dépôts (grès) ;

(1) Notes du Cours de géologie professé par M. Cordier, au Muséum, années 1849 et 1851.

(2) Marcel de Serres, *De l'Origine des Silex*. Société Honorable de Bordeaux. 1850.

(3) Delafosse. *Sur une relation importante qui se manifeste en certains cas entre la composition atomique et la forme cristalline, et sur une nouvelle appréciation du rôle que joue la silice dans les combinaisons minérales*. Notice insérée dans les *Annales des Mines* 1851.

3° Formations pluto-neptuniennes qui sont dues à la fois aux agents ignés et aux agents aqueux, ou, en d'autres termes, aux eaux des sources chaudes (tufs siliceux des geysers);

4° Formations neptuno-plutonienne dans lesquelles la chaleur est venue modifier les roches de formation plutonienne (roches métamorphiques).

Parmi ces formations, nous étudierons seulement celles qui se rapportent directement à l'action des eaux.

§ II.

DE LA SILICE DÉPOSÉE PAR VOIE AQUEUSE.

L'étude de la silice déposée par voie aqueuse peut être ramenée aux trois points suivants :

1° Aux divers âges géologiques, comment s'est-il trouvé de la silice dans les eaux?

2° Comment cette silice s'est-elle séparée des eaux?

3° Une fois séparée des eaux, comment s'est-elle déposée?

PREMIÈRE QUESTION.

La silice existant dans les mers et les lacs des temps anciens a eu sans doute deux origines différentes : une origine pluto-neptunienne et une origine neptunienne.

Origine pluto-neptunienne. — Primitivement, lors de l'incandescence de la surface du globe, la silice était à l'état de fusion et peut-être aussi, comme l'a supposé M. Delafosse, à l'état de volatilisation, formant des nuages et des pluies. Elle dut, lorsque l'atmosphère commença à se refroidir, être précipitée longtemps avant la condensation des eaux qui, restant vaporisées, se trouvèrent naturellement séparées. Par la suite, lorsque ces eaux se condensèrent, une petite partie de la silice, à la faveur d'une pression et d'actions calorifiques et chimiques différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui, put s'y dissoudre. Mais, il importe de le noter, cette dissolution de silice sur une grande échelle n'a pu se présenter que dans les âges antérieurs à l'apparition des êtres organisés. En effet, dès les premiers temps de son apparition, l'organisation essentielle des êtres semble peu éloignée de ce qu'elle est aujourd'hui; et il serait ainsi difficile de supposer des circonstances assez différentes des circonstances actuelles, pour que la silice restât en solution concentrée dans les mêmes eaux, à peine susceptibles, aujourd'hui, d'en dissoudre $\frac{1}{1000}$.

Si nos mers, par suite d'une diminution de pression, de chaleur et d'alcalinité, dissolvent faiblement la silice, à l'intérieur du globe il n'en est pas de même; et les eaux ont gardé une partie des propriétés dissolvantes qu'elles avaient, sans doute, dans les premiers âges: la preuve nous en est donnée par les sources chaudes. Tantôt la silice de ces sources est sensiblement pure, comme dans les geysers de l'Islande; tantôt elle est mélangée d'autres principes, comme dans les bains de César, au Mont-Dore (1). D'autres fois, comme à Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme), elle devient un élément très-accessoire.

Origine neptunienne. — En parlant de l'origine neptunienne de la silice, nous parlons d'une seconde origine due à l'action des eaux, et supposant toujours une origine plutonienne primitive. Que la terre, en effet, ait été incandescente originairement, ou qu'elle ait

(1) *Topographie minéralogique du département du Puy-de-Dôme*, par Bouillet, 1829.

été incandescente, selon la supposition de M. Dalmas (1), postérieurement à sa formation, toujours est-il qu'elle a passé par l'état de la fusion ignée, et sa silice a dû subir cette fusion.

Plus tard, cette silice s'étant refroidie et ayant formé des roches, les eaux durent à leur tour se condenser et exercer sur elles leur action. Cette action se produit encore journellement sous nos yeux ; elle est de deux sortes :

1° Les eaux, en désagrégeant les roches siliceuses, emportent les granules de la silice, les roulent, les broient, et, selon la force du courant, les abandonnent ou les retiennent en suspension. Rien ne limite la division des grains, la silice présentant une grande dureté, une ténacité faible, deux circonstances qui permettent une pulvérisation très-parfaite ;

2° De la suspension de grains infiniment petits à la solution il y a un passage insensible, et, en effet, comme l'a mentionné M. Delafosse (2), la silice dans un état de division extrême devient soluble pour $\frac{1}{1000}$ du poids de l'eau.

La faculté dissolvante des mers a pu être augmentée par la présence des alcalis et en particulier de la soude qui a été sans doute abondante sur quelques points, à en juger par le développement des couches de sel gemme. Elle a pu être augmentée aussi par une chaleur et une pression plus fortes. Mais, nous l'avons déjà dit, ces différences d'alcalinité, de température et de pression n'ont pu être très-sensibles, à partir de l'apparition des êtres organisés.

DEUXIEME QUESTION.

Une fois amenée au sein des eaux, comment la silice s'en est-elle séparée pour former des dépôts dans les couches du globe ?

(1) Dalmas, *La Cosmogonie et la Géologie basées sur les faits physiques*, 1832.

(2) Delafosse, *Dictionnaire des Sciences naturelles*, article *Silic.*

La silice, nous venons de le dire, se présente dans les eaux à deux états : en suspension et en solution.

La silice en suspension, c'est-à-dire à l'état de granules répandus dans les eaux, doit se séparer et former des sédiments par suite de la différence de sa pesanteur et de la pesanteur des eaux.

Pendant que la silice en suspension détermine des *sédiments*, la silice en solution forme des *précipités* (1). Ces précipités peuvent tirer leur origine de la silice existant naturellement dans les lacs et les mers, ou de la silice apportée par les sources.

1° Il est difficile, avons-nous dit, de supposer qu'à partir des âges où l'organisation a paru, les eaux des lacs ou des mers aient pu dissoudre une quantité de silice beaucoup plus grande qu'elles n'en dissolvent aujourd'hui.

Si, entre ces âges et l'époque actuelle, nous supposons difficilement ces différences, à plus forte raison aura-t-on peine à concevoir, entre deux âges géologiques très-voisins, des différences telles qu'il y ait eu, dans une période, précipitation de la silice dissoute dans une période précédente. Aussi pensons-nous que la silice fournie aux eaux par la dissolution des roches préexistantes a dû contribuer très-faiblement aux précipités de silice répandus dans les divers terrains.

2° Au contraire, supposons des sources qui, par suite de leur grande alcalinité, d'une forte pression et d'une chaleur élevée, amènent une eau chargée, par exemple, de $\frac{5}{1000}$ de silice. Cette eau, rentrant dans les conditions ordinaires par son mélange avec celle d'un lac ou d'une mer susceptible de dissoudre au plus $\frac{1}{7000}$ de silice, elle laissera précipiter une partie notable de sa silice.

Théoriquement, il devrait arriver qu'autant de fois une mer con-

(1) Voir, au sujet des formations par précipité, une Notice lue par M. Omalius d'Halloy à la Société géologique, dans la séance du 19 avril 1841. Dans cette Notice, M. Omalius d'Halloy émet l'opinion que des grès et des argiles, jusqu'ici attribués à l'usure des roches préexistantes, sont dus à des précipités produits dans des eaux que des sources ont amenées au milieu des mers.

tiendra mille parties d'eau, autant de fois elle dissoudra une partie de silice. Mais le mélange de l'eau des sources et de l'eau de la mer ne pouvant se faire ni instantanément, ni complètement, il y aura, même en supposant *une mer très-vaste*, excès de silice sur certains points, et de là précipitation : c'est ainsi, nous le verrons, que la silice des silex de la craie a dû être déposée.

Si l'afflux de silice se fait dans *un lac borné*, les eaux de ce lac étant promptement saturées, le précipité sera beaucoup plus abondant. C'est sans doute, comme nous le dirons par la suite, le phénomène qui s'est présenté lors du dépôt de la silice dont sont composées les meulières.

Si l'afflux a lieu sur *un sol émergé*, comme on le voit dans les geysers de l'Islande, la précipitation sera bien plus prompte encore, puisqu'elle pourra résulter de l'évaporation seule.

3° Aux causes qui déterminent la séparation de la silice d'avec les eaux, il faut en ajouter une dernière dont l'importance, dans des circonstances spéciales, a souvent été très-grande; nous voulons parler de la sécrétion de la silice par les êtres organiques. Quelques polypiers, plusieurs spongiaires, un très-grand nombre d'infusoires, absorbent la silice des étangs et des mers, et la fixent dans leurs tissus.

TROISIÈME QUESTION.

Une fois séparée des eaux, dans le sein desquelles elle avait été amenée, suivant quels modes la silice se dépose-t-elle au fond des bassins? Ces modes ont dû sans doute être très-divers, si on considère la variété des roches siliceuses. Ces roches sont tantôt des silex pyromaquez, tantôt des meulières. Ici on voit des silex cornés et carriés; là des silex agates, ménilites ou nectiques. Sur quelques points, des sources forment des tufs siliceux; sur quelques autres, des carapaces d'infusoires composent des bancs

de tripoli et de farine de montagne. Enfin, au fond des eaux, sont déposés de toute part des grès et des conglomérats de silice.

Dans un premier essai, nous avons passé en revue ces différents dépôts; mais, par la suite, craignant de n'avoir pas des explications assez certaines à donner des faits pour pouvoir les généraliser, nous avons changé ce travail d'ensemble en un travail spécial.

Nous nous bornerons à l'étude comparée :

De la formation des silex de la craie;

De la formation des meulières des terrains tertiaires.

Ainsi restreint, ce travail offre encore un cadre sans doute au-dessus de nos forces; nous réclavons en sa faveur toute l'indulgence des savants professeurs chargés de le juger.

§ III.

DES SILEX DE LA CRAIE.

Les silex de la craie se présentent dans deux positions très-différentes :

Les uns sont en place dans la couche où ils se sont déposés.

Les autres, séparés du point où ils ont pris naissance, sont le résultat d'un remaniement très-postérieur souvent à leur formation première. Tels sont les silex des puits décrits par M. Constant Prévost (1) sur les côtes de la Seine-Inférieure, ou ces cailloux

(1) Constant Prévost, Communication faite à la Société géologique de France, en janvier 1852.

des terrains rouges qui couronnent la craie d'une partie de la Normandie, ou encore ces silex de la Picardie dont M. Buteux (1) a décrit les formes si bizarres.

Quel que soit l'intérêt présenté par ces silex, leur déplacement et les altérations qui ont pu en être les conséquences nous les ont fait éliminer de notre sujet. Nous parlerons seulement des silex restés dans leur position originaire, et nous les étudierons :

1° Sous le point de vue géologique;

2° Sous le point de vue zoologique.

3° Des observations résultant de ce double examen, nous essaierons de déduire leur mode de formation.

I

SILEX CONSIDÉRÉS SOUS LE POINT DE VUE GÉOLOGIQUE.

Les silex se rencontrent, disposés dans les couches de craie, tantôt à l'état de bancs, tantôt à l'état de rognons ou de nodules.

Les bancs sont échelonnés à différents étages souvent équidistants. Leur plus ou moins grand rapprochement varie avec chaque localité : dans une partie de la craie à Ciply (Belgique) et à Maëstricht (Hollande), ils sont très-éloignés les uns des autres; d'autres fois, ils sont plus développés que les couches mêmes de craie.

Leur étendue en longueur est indéfinie. Leur épaisseur peut dépasser 2 mètres; elle peut aussi, dit M. Rozet (2), n'être que de $\frac{7}{100}$ ou de $\frac{1}{100}$. Nous avons même vu à Saint-Valery en Caux (Seine-Inférieure) des bancs dont l'épaisseur ne dépasse pas $\frac{1}{1000}$. Alors leur

(1) Communication faite par M. Buteux à la Société géologique, 1851.

(2) Rozet, *Traité élémentaire de Géologie*.

étendue est peu considérable, et ils méritent plutôt le nom de plaques que celui de bancs.

En général, les bancs sont parallèles entre eux et parallèles à la stratification générale. Cependant il en existe de perpendiculaires ou d'obliques les uns aux autres. Ainsi M. Constant Prévost nous a dit avoir vu, dans les environs d'Étretat, des bancs de silex qui se coupent les uns les autres. Sur les mêmes côtes, M. Passy (1) indique des bancs traversant obliquement plusieurs assises. M. Raullin nous a dit avoir reconnu dans l'Yonne des bancs dont les uns étaient perpendiculaires à la stratification générale, dont les autres étaient inclinés de 45 degrés. M. Buckland (2), en Angleterre, a décrit des veines siliceuses qui coupent des couches horizontales de silex sous un angle de 50 à 40 degrés. M. Desnoyers (3) a indiqué, dans le calcaire à baculites de Valognes, des filets minces et irréguliers de carbonate de chaux et de silice traversant verticalement les strates. A la montagne Sainte-Catherine, auprès Rouen, on voit des veines et des cloisons de silice qui s'entre-croisent dans la craie.

Ces faits sont des exceptions, si on considère l'ensemble des bancs dans les couches crayeuses ; presque tous ces bancs sont parallèles entre eux et à la stratification générale.

Il n'en est pas de même des deux faces de chaque banc considéré isolément ; presque jamais la face supérieure et la face inférieure ne sont parallèles entre elles. Elles sont très-irrégulières, sinueuses, souvent cavernueuses, et quelquefois elles se prolongent de manière à former des nodules dont plusieurs ne tiennent à la masse que par une base étroite.

Ainsi, les bancs passent aux nodules, et parfois ce passage

(1) Passy, *Description géologique du département de la Seine-Inférieure*, 1852.

(2) Buckland, *On the Paramoudra and formation of flint in the chalk.* (*Transac. of the geological Society of London*, 1817, 1^{re} série, vol. 4.)

(3) Jules Desnoyers, *Mémoire sur la Craie et sur les terrains tertiaires du Cotentin*, 1825. — *Mém. de la Société d'hist. nat.*, vol. 2.

est tellement insensible, qu'on ne peut décider si les silex sont en bancs ou en nodules très-rapprochés les uns des autres.

Ces nodules sont en général, comme les bancs, échelonnés à des niveaux parallèles entre eux. Et, de même aussi que les bancs sont parallèles à la stratification générale sans que leurs deux surfaces soient parallèles entre elles, de même les couches de nodules sont parallèles à la stratification générale sans que chaque nodule considéré isolément soit lui-même parallèle à la stratification. Ainsi, les silex forment des couches dont l'ensemble est horizontal, mais chacun des silex formant ces couches a une grande irrégularité de position. Les uns sont verticaux, les autres sont obliques ou horizontaux.

Parfois ils manquent complètement, comme on peut le voir sur plusieurs points de la Champagne; d'autres fois ils sont si rares, que c'est à peine s'ils dessinent une bande tranchée; d'autres fois encore, selon la remarque que nous en a faite M. Constant Prévost, ils forment des chaînes verticales reliant les séries de silex horizontaux; ou enfin, au lieu d'être distincts et nettement détachés de leur gangue, ils peuvent se confondre avec elle par des passages insensibles :

« A Laine-aux-Bois dit M. Leymerie (1), les silex se mêlent et « s'incorporent avec la craie, qui devient elle-même très-siliceuse. « On rencontre dans cet endroit des parties grenues qui, offrant « toute l'apparence de la craie, ne font cependant aucune efferves- « cence avec les acides. »

Les formes des silex ne sont pas moins irrégulières que leur position; cependant, on peut dire qu'elles sont sinueuses et courbes, jamais anguleuses.

Elles se rapprochent par leur aspect des formes habituelles aux septaria des terrains jurassiques, aux rognons de fer carbonaté des

(1) Leymerie, *Statistique géologique et minéralogique du département de l'Aube*, 1846. page 142.

terrains carbonifères, aux sphéroïdes strontianiens de Ménéilmontant, aux concrétions du lœss de Villejuif.

On ne peut aussi s'empêcher d'être frappé du rapport de plusieurs des bancs de silex avec ces bancs de grès si contournés, si bizarres, subordonnés aux sables supérieurs du bassin de Paris.

« Ces grès, dit M. Omalius d'Halloy, ont une grande tendance à passer au silex, et l'on en voit souvent qui, ne présentant à l'extérieur qu'un sable grossièrement agglutiné, se transforment insensiblement en un silex corné qui forme la masse intérieure (1). »

De la forme extérieure des silex, passons à leur conformation intime. — Leur intérieur présente en général un tissu translucide et compacte, de couleur grise, blonde, noire, plus rarement jaune ou rouge. Leur surface est poreuse et blanche. Quelques savants ont attribué cette blancheur à une hydratation superficielle ; d'autres l'ont attribuée, au contraire, à la perte d'eau de mélange produite au contact de l'air.

Il est vrai que, si un silex est brisé, les surfaces de cassure blanchissent légèrement avec le temps. Mais cette altération superficielle n'est pas la cause générale de la blancheur des silex. Cette blancheur est due à la porosité même de certaines parties de la masse. Lorsque de l'eau est agitée, l'air, s'interposant entre ses éléments, donne à cette eau une couleur blanche ; et l'écume n'est que le résultat de cette interposition de l'air entre les atomes d'eau. De même, lorsque les molécules de silice sont éloignées les unes des autres, l'air, s'interposant entre ces molécules, donne à leur ensemble un aspect blanc. Chaque fois que la silice devient celluleuse, on la voit passer à cet aspect d'une manière tout à fait insensible, et, si la masse du silex est entièrement poreuse, elle reste parfaitement blanche, ou au moins garde une couleur mate, sans aucune transparence.

(1) Omalius d'Halloy, *Éléments de géologie*, page 166.

Il est rare que les silex soient pleins dans toute leur étendue. Ils renferment des cavités irrégulièrement disséminées et contenant de la craie semblable à la craie environnante.

D'autres fois l'intérieur des silex est complètement creux et contient seulement de la silice pulvérulente. A Étretat, à Fécamp, à Veules-sur-Mer, à Pontavannes (Oise), etc., on voit un très-grand nombre de ces silex. Ils se reconnaissent à leur grande légèreté. Si on les casse, on trouve d'abord une enveloppe donnant la forme au silex. Cette enveloppe est composée d'une zone compacte, blonde ou noire, couverte, en dessus et en dessous, d'une zone blanche et poreuse. Ces zones sont très-irrégulières ; elles forment des saillies et des anfractuosités rentrant les unes dans les autres. Au-dessous de l'enveloppe, est une grande cavité remplie de silice pulvérulente mélangée de calcaire en proportion très-variable. D'après l'essai que M. Damour a bien voulu en faire devant nous, cette silice n'est pas hydratée ; elle est différente de la silice soluble dans les acides, que les chimistes sont convenus d'appeler silice gélatineuse. Elle n'est que la continuation de la zone blanche interne, dont le tissu devient de plus en plus celluleux, et dont les molécules finissent par n'avoir plus d'adhésion entre elles.

En son milieu, il existe presque toujours un noyau solide. Si on agite le silex dans lequel ce noyau est isolé, on entend un bruit semblable à celui que produisent les pierres d'Aigle.

En l'examinant avec un verre grossissant, on le trouve formé de petits tubes, courts, contournés sur eux-mêmes et creux dans leur intérieur ; sa teinte, en général, tire sur le rosé ; il ne contient aucune partie calcaire. On ne trouve point de corps organisés fossiles dans son centre ; mais ces corps sont souvent réunis en grand nombre entre le noyau et l'enveloppe du silex.

Les cavités, au lieu de contenir de la silice pulvérulente, peuvent être vides et être entourées par des parois lisses, mamelonnées, en tout semblables à celles des agates proprement dites, et formées comme elles de zones rubanées. A Veules-sur-Mer (Seine-

Inférieure) et à Dieppe, beaucoup de silex forment ainsi de magnifiques géodes de calcédoines. D'autres fois les cavités sont tapissées par des cristaux de quartz. Enfin, elles peuvent contenir des corps étrangers : de la speerkise provenant souvent d'un corps organisé ; de l'hydrate de fer, résultant de la décomposition des pyrites ; du soufre en poudre dû le plus souvent à cette même décomposition (Troyes en Champagne).

Dans les silex de Meudon, on trouve de la célestine cristallisée, mais cette célestine n'est pas logée dans des géodes ; elle garnit des fissures produites dans les silex longtemps peut-être après leur formation.

La plupart des caractères qui viennent d'être énumérés ne sont point spéciaux au silex des craies de quelques localités. Nous les avons retrouvés dans les divers silex soumis à notre observation :

Dans les silex de la *craie blanche* des environs de Beauvais et de Méru (Oise), de Troyes (Aube), d'Épernay (Marne), de Meudon près Paris, de Saint-Germain (Seine-et-Oise), et surtout dans ceux des falaises de la Seine-Inférieure, depuis Antifère jusqu'à Dieppe (Étretat, Yport, Fécamp, Saint-Valery-en-Caux, Veules, Sainte-Marguerite).

Dans les silex de la *craie dolomitique* de Beynes ;

Dans les silex de la *craie jaune* de Ciply (Belgique) et de Maestricht (Hollande) ;

Dans les silex de la *craie tuffeu* de la Touraine, de Sainte-Catherine, près Rouen, de Honfleur et de Penne-de-Pie (Calvados).

Dans ceux de la *craie chloritée* du cap la Hève, près le Havre ;

Dans ceux enfin de la *craie grise* de Varennes (Meuse).

Nous devons ajouter que l'on trouve des silex, non-seulement dans les diverses assises de la craie, mais encore dans presque tous les terrains : tels sont, pour en citer quelques exemples :

Les terrains carbonifères de Russie ;

Les terrains muriatifères du Wurtemberg ;

Les terrains secondaires de Thouars (Deux-Sèvres) (1), de Moutiers, de Fresnes-Camilly, de Trouville, etc. (Calvados), de la Sarthe (2), du Poitou (5), de Tonnerre (Yonne), des environs de Dijon (Côte-d'Or), de la fontaine de Vaucluse (Vaucluse), de Castellane (Basses-Alpes), de Grasse (Var), des montagnes du Jura (4), d'Istein (grand-duché de Bade), d'Albaracin (Espagne) (5), etc ;

Les couches de calcaire pisolithique au Mont-Aimé (6) ; les gypses du bassin de Paris et du bassin d'Aix en Provence, etc., etc.

Enfin, on peut dire d'une manière générale que des silex plus ou moins semblables à ceux de la craie se retrouvent dans tous les terrains. Cependant ils semblent, jusqu'ici, prédominer dans les roches calcaires ; de telle sorte que les terrains dans lesquels le calcaire l'emporte en abondance sur l'argile et les sables sont ceux dans lesquels se rencontre le plus grand nombre de sil x.

II

SILEX CONSIDÉRÉS SOUS LE POINT DE VUE ZOOLOGIQUE.

La craie chloritée du cap de la Hève, celle du département de l'Orne, celle de Blackdown en Angleterre, etc., renferment un très-grand nombre de spongiaires silicifiés et dont l'organisation primitive est difficile à reconnaître. En présence de ces spongiaires

(1) Alcide d'Orbigny, *Éléments de paléontologie et de géologie stratigraphiques*, 1852.

(2) Compte rendu du voyage de la Société géologique au Mans, par M. Gustave de Lorière, dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, 1850.

(3) Vicomte d'Archiac, *Mémoire sur la formation crétacée du plateau central de la France*, dans les *Mémoires de la Société géologique de France*.

(4) Thurmman, *Essai sur les soulèvements jurassiques de Porrentruy*.

(5) Nous tenons ce renseignement de M. Gustave de Lorière.

(6) Charles d'Orbigny, *Tableau des terrains des environs de Paris*, 1849.

défigurés, plusieurs savants ont attribué la formation d'une grande partie des silex de la craie à de la silice qui aurait remplacé des spongiaires mous, ayant d'une part laissé des vides par suite de leur facile décomposition, et, d'autre part, ayant attiré la silice à l'aide des spicules ou des globules siliceux secrétés par quelques-uns d'entre eux.

Cette opinion a été admise par Guettard en 1770, et ce savant naturaliste nous apprend qu'elle était de son temps universellement reçue (1).

En 1792, elle a été reproduite par de Luc dans une notice intitulée : *Sur la Nature et sur l'Origine des substances minérales des couches coquillières* (2).

Faujas de Saint-Fond, Dolomieu, et plus tard M. Huot (3), l'ont également adoptée.

En Angleterre, M. Bowerbanck lui a donné une extension très-grande :

« La plupart des masses de silex, dit-il (4), viennent de la silicification de corps spongieux existant au fond des mers. »

Tout dernièrement, M. Marcel de Serres a augmenté beaucoup encore la valeur de cette théorie par les développements qu'il lui a donnés.

Nous lisons, dans son important Mémoire sur les silex, les passages suivants (5) :

« La forme tuberculeuse des silex de la craie est due à ce que la matière dont ces silex sont composés a pris la place occupée

(1) Guettard, cinquième Mémoire inséré dans le second volume de ses *Mélanges*, 1770.

(2) De Luc, Notice insérée dans le *Journal de physique* de Laméthrie. 1792.

(3) Huot, *Nouveau Cours élémentaire de Géologie*, 1837.

(4) Bowerbanck, *On the spongy origin of Moss agates and other siliceous bodies*.

(5) Marcel de Serres, *De l'Origine des silex de la craie*, chap. 1^{er}. — Soc. linnéenne de Bordeaux, 1839.

« antérieurement par des zoophytes marins du genre *Alcyonum* ou
« de celui des Éponges. »

Et plus loin (1) :

« Les noyaux arrondis des silex représentent avec plus ou moins
« d'exactitude la forme des mollusques ou des zoophytes nus qui
« ont été convertis en silex. »

M. Marcel de Serres explique le mode par lequel s'est faite cette conversion des corps organisés. D'après lui, ces corps, par un premier phénomène, ont été détruits et ont laissé des cavités qui, par un phénomène distinct, le phénomène de l'infiltration, ont été remplies de silice. Ainsi (2), les corps organiques auraient été changés en silex par un remplacement, c'est-à-dire par une action brusque bien différente de la substitution lente qui s'est produite dans la silicification d'un grand nombre de coquilles.

Il a pu arriver que, dans plusieurs circonstances, des débris organiques ou des spicules siliceux aient servi de point d'attraction aux molécules de silice ; mais que les silex proprement dits soient un remplacement, soient un moulage de formes organiques, c'est ce que nous ne pouvons admettre d'une manière générale.

En effet, il y a, dans les couches de craie, deux sortes de masses siliceuses : les unes sont d'anciens spongiaires, ayant eu des spicules siliceux ou non, silicifiés par une action postérieure, et presque toujours plus ou moins reconnaissables.

Il s'en faut de beaucoup que les formes de ces spongiaires soient indéterminées. Sans doute elles sont variables et d'une grande simplicité ; mais cependant, si on parcourt la collection de ces animaux exposée dans les galeries zoologiques du Muséum, on verra que la plupart des genres fossiles, isolément si difficiles à déterminer, se rapportent très-exactement à des genres vivants. Ainsi, lorsque les spongiaires sont silicifiés, on arrive avec plus ou moins

(1) Marcel de Serres, *De l'Origine des silex de la craie*, chapitre de résumé. — Soc. Linéenne de Bordeaux, 1850.

(2) *Idem.*, chap. vi.

de facilité à reconnaître leur organisation première. On pourra s'en convaincre en examinant ceux du département de l'Orne, ceux du cap de la Hève et ceux d'Étretat, qui dessinent une bande très-remarquable par la couleur rouge de leur centre.

Quant aux masses siliceuses en général, sans doute elles contiennent des spongiaires épars ; mais il serait impossible d'assimiler l'ensemble de leurs formes à des formes organiques. Ces formes, infinies dans leurs variétés et leurs bizarreries, ne se rapportent à aucun type.

D'ailleurs, étudiés au microscope, les silex présentent des spicules, mais des spicules beaucoup plus rares qu'on ne pourrait le croire au premier abord. Nous avons reconnu qu'un très-grand nombre de pointes, prises d'abord pour des spicules de spongiaires, sont de petits piquants d'Ananchites très-souvent encore à l'état calcaire au milieu du silex dont elles sont enveloppées.

« Peut-être, dit M. Marcel de Serres, doit-on attribuer à la présence des spicules les amas de silice pulvérulente qui remplissent les cavités de beaucoup de silex pyromaques (1). »

Nous avons soumis cette silice pulvérulente à l'examen du microscope : elle ne diffère de la silice compacte que par sa texture pulvérulente et par son mélange fréquent avec un peu de craie.

Comme la craie, elle contient des spicules de spongiaires, mais elle n'en renferme point davantage ; et en même temps elle renferme des foraminifères, des tiges et des œufs de bryozoaires, des brachiopodes, des écailles de poisson. M. Turpin (2) a décrit des plaques de silex dont la section, présente plusieurs de ces animaux ; et, de leur dissémination, il a tiré la conséquence que les silex ne pouvaient être d'anciens spongiaires. Si, en effet, on peut

(1) Marcel de Serres, *De l'Origine des silex de la craie*, chap. vi. — Soc. linéenne de Bordeaux, 1850.

(2) Turpin, *Étude microscopique des différents corps organisés ou non trouvés dans la pâte transitive des silex*. (*Annales des Sciences naturelles*, 2^e série, tome VII.)

s'expliquer la présence de quelques animaux par hasard engagés dans les tissus d'un spongiaire, on ne peut y concevoir l'existence des foraminifères, et surtout des bryozoaires si nombreux dans la plupart des silex.

Ces deux observations sur la forme des silex et sur leur texture intime sont pour nous une preuve démonstrative que les nodules siliceux proprement dits n'ont pu en général être des remplacements d'anciens spongiaires.

Quant aux autres animaux, tels que les gastéropodes, les bivalves, les oursins, etc., ils ne sont pas en assez grand nombre pour avoir joué quelque rôle dans la formation des dépôts siliceux. D'ailleurs on ne peut les considérer comme occupant spécialement le centre des rognons. Ils se présentent dans les parties extérieures de ces rognons aussi bien que dans leurs parties centrales. Lorsqu'ils sont disposés à la surface des masses, ils se prolongent dans leur intérieur en conservant souvent leur état primitif; on pourra le constater dans des Ananchites de notre collection, dont le test, encore calcaire et spathique, est engagé dans le silex.

Ainsi, il se peut que souvent des particules appartenant aux corps organiques aient été le centre d'attractions siliceuses; mais un seul atome a suffi sans doute, et on ne doit pas considérer comme presque nécessaire l'existence d'un corps organisé au centre des nodules.

Il reste à déterminer si dans plusieurs circonstances le tissu même des silex ne serait point un agrégat d'êtres microscopiques?

Plusieurs savants illustres, et en particulier M. Ehrenberg en Allemagne, M. Charles Lyell en Angleterre, et M. Marcel de Serres en France, ont expliqué l'origine d'une partie des silex de la craie par des accumulations d'infusoires :

« Il y a, dit M. Ehrenberg (1), d'un côté, entre la présence des

(1) Extrait de M. Ehrenberg, cité par M. de Pinteville dans une *Note sur le terrain gypseux de la Sicile*. (*Bulletin de la Société géologique de France*.)

« marnes à infusoires siliceux dans la craie du Sud coïncidant avec
« l'absence des silex pyromaques, et, d'un autre côté, la présence
« des silex pyromaques dans la craie du Nord coïncidant avec l'ab-
« sence des marnes à infusoires siliceux, une relation qui met sur
« la voie d'expliquer le phénomène singulier des silex pyroma-
« ques de la craie et fait présumer qu'ils doivent leur existence
« à la transformation de la silice dissoute des infusoires en silex
« compacte. »

D'autre part, dans les *Éléments de géologie* de M. Charles Lyell, nous voyons le passage suivant :

« On est conduit à supposer (1) que, de même que le ciment sans
« forme de la demi-opale de Bilin résulte de la décomposition de
« débris d'animaux, de même aussi les parties des silex de la craie
« dans lesquelles on ne retrouve aucune trace de structure orga-
« nique, peuvent néanmoins avoir constitué une multitude d'ani-
« malcules microscopiques. »

Enfin, dans le Mémoire de M. Marcel de Serres sur les silex, nous lisons la phrase qui suit :

« Il ne serait point impossible que, dans la craie formée par des
« infusoires, la silice des silex de la craie provint des débris de
« ces mêmes infusoires. On peut d'autant plus le supposer, que
« ces infiniment petits composent les rognons dont la craie est
« remplie. »

La théorie qui rapporte à des infusoires l'origine d'une partie des silex de la craie repose, on le voit, sur des appuis trop sérieux pour que nous n'ayons point dû l'étudier dans tous ses détails; d'ailleurs, la forme dubitative employée dans plusieurs passages par ses savants auteurs semble solliciter un nouvel examen.

Nous avons donc passé en revue un très-grand nombre de silex; nous avons étudié de préférence ceux dont les cavités renferment

(1) Lyell, *Éléments de géologie*, 1859.

de la silice en poudre ; nous avons soumis à l'examen du microscope avec des grossissements très-divers : cette silice en poudre, la silice blanche, terreuse, qui recouvre la surface des silex, les coupes et les esquilles que l'on peut détacher du tissu compacte.

Nous avons en même temps comparé avec ces débris des fragments de craie ramassés dans leur voisinage.

Par suite de cet examen, nous n'avons jusqu'ici trouvé dans les silex aucune trace d'infusoires siliceux (plantes ou animaux). Les seuls infusoires décrits par M. Ehrenberg (1) qui se soient présentés à nous sont des *Peridinium* et des *Xanthidium*. Ces fossiles, d'après Turpin, ne sont point véritablement des infusoires, mais des œufs de bryozoaires (2).

De même, dans la craie proprement dite, nous n'en avons point trouvé jusqu'ici, et M. Ehrenberg en a seulement cité quatre espèces (3).

Lorsque l'on a considéré la craie comme tout entière formée par des infusoires, c'est que l'on a confondu le *schreib-kreide* avec le *mergel-kreide* d'un âge très-différent. La généralité des infusoires décrits dans la craie appartient aux infusoires à coque calcaire d'Ehrenberg, c'est-à-dire à cette série d'êtres que M. d'Orbigny, en France, a complètement séparée des infusoires proprement dits. Ces êtres ont des coques calcaires, jamais de coques siliceuses ; ils n'ont donc pu former les silex.

Les confusions commises au sujet des infusoires de la craie et des silex ont encore eu une autre cause ; elles ont été le résultat de la difficulté qu'il y a à déterminer au microscope des êtres souvent très-défigurés. C'est ainsi que nous trouvons dans les *Éléments de géologie* de M. Charles Lyell (page 65) les lignes suivantes :

« On a tout lieu de croire que les cellules en lesquelles se divi-

(1) Ehrenberg, 1837. *Des Infusoires fossiles et des Terres végétales vivantes*.

(2) Turpin, Mémoire déjà cité.

(3) Ehrenberg, 1839. *Les Formations de craie dure et de craie marneuse... expliquées par les organismes microscopiques qu'elles renferment*.

« sent ces foraminifères (foraminifères de la craie) sont souvent
« remplies de plusieurs centaines d'infusoires; car, à l'aide d'un
« puissant microscope, il a été reconnu que beaucoup des petits
« grains qu'elles renferment et qui composent l'enveloppe de craie
« consistent en disques circulaires comme les articulations de la
« Gaillonella, représentée figure 18. Les corps en question étaient
« calcaires; mais Ehrenberg en a découvert d'autres dans les silex
« de la craie, qui, ainsi que les infusoires du tripoli, sont sili-
« ceux. »

Ces disques circulaires attribués à des infusoires proprement dits (*Gaillonella*) sont sans doute des articulations séparées appartenant à des foraminifères hélicostègues (*Globigerina*, *Rosalina*); car ces articulations sont très-fréquentes, et on les voit souvent détachées à moitié des foraminifères dont elles proviennent; d'ailleurs leur structure calcaire les sépare des infusoires proprement dits.

Si M. Ehrenberg en a découvert de siliceuses dans les silex, c'est que sans doute ces mêmes articulations étaient silicifiées comme les autres tests primitivement calcaires des petits brachiopodes, et comme les tiges de bryozoaires que l'on trouve en même temps.

Ainsi, à l'aide de la loupe ou du microscope, nous n'avons trouvé dans les silex aucune surabondance de débris siliceux, organisés, ayant pu déterminer la formation de leurs bancs et de leurs nodules. Dans les silex comme dans la craie, les débris fossiles des corps organisés sont surtout : des écailles de poisson, des brachiopodes, des bryozoaires, des piquants d'oursin, des foraminifères et des spicules d'éponge.

Nous avons, dans un travail spécial, entrepris la description de ces débris fossiles. Nous l'avons abandonnée par cette raison même qu'elle eût été la répétition de celle des fossiles de la craie déjà en partie décrits.

Les silex ne renferment ni plus ni moins d'animaux microscopiques que la craie dont ils sont environnés. Si une couche de

craie en renferme beaucoup, les silex de cette couche en renfermeront beaucoup; ils en contiendront peu, si la couche de craie en contient peu elle-même. En d'autres termes, si on examine un fragment de silex et un fragment de la craie juxtaposée à ce silex, entre eux on ne verra d'autres différences que la différence minéralogique; l'un est en silice, l'autre est en carbonate de chaux; du reste, mêmes fossiles, en même nombre, avec la même disposition.

III

DE LA FORMATION DES SILEX.

Un grand nombre d'opinions ont été formulées sur la formation des silex de la craie. Elles peuvent être ramenées à deux points de vue principaux :

1° Les silex sont-ils d'une époque contemporaine ou presque contemporaine de l'époque à laquelle ont été formées les couches dans lesquelles ils sont enclavés?

2° Sont-ils d'une époque postérieure à la formation de ces couches?

PREMIÈRE QUESTION.

Formation contemporaine ou sub-contemporaine.

Plusieurs savants distingués, MM. Turpin (1), Boué (2), Rozet (3) ont supposé aux silex l'origine suivante :

Ils seraient dus à la barégine, c'est-à-dire à cette mousse flot-

(1) Turpin, ouvrage déjà cité.

(2) Boué, *Résumé des progrès de la géologie en 1851*. (*Bulletin de la Société géologique de France*, tome II, 4^{re} série.)

(3) Rozet, *Traité élémentaire de géologie*.

tante se développant dans les réservoirs d'eaux thermales, et renfermant souvent un grand nombre d'infusoires siliceux.

« Je ne balance pas, dit M. Turpin, à regarder la barégine
« comme la source permanente chargée de perpétuer la séparation
« des couches calcaires par des couches siliceuses. »

Il y a des objections à faire à cette manière de voir : comment la barégine, qui est si légère, a-t-elle pu se précipiter dans les profondeurs des mers où s'est formée la craie?

Comment, sous la pression des couches supérieures, cette mousse si lâche dans son tissu ne s'est-elle pas disposée en lentilles infiniment plates par rapport à la hauteur? Comment, surtout, si c'est en flottant à la surface des mers qu'elle a englobé les débris dont elle est remplie, tous ces débris n'appartiennent-ils jamais à des animaux flottants, mais toujours à des animaux essentiellement rampants ou même fixés au sol?

Les silix ont-ils été formés par sédiment? Les formes sphéroïdales, tuberculuses de leurs nodules, la texture irrégulière, caverneuse des deux faces de leurs bancs, excluent cette manière de voir.

On ne saurait les comparer aux dépôts stratifiés proprement dits; ils ont l'aspect de précipités. Or, nous avons vu que théoriquement il était difficile d'expliquer, au moins dans les époques crayeuses, la formation des précipités sur une grande échelle, soit par suite d'un excès de silice retenu primitivement dans les eaux, soit par suite de l'action érosive et dissolvante des eaux sur les roches environnantes.

Il faut donc supposer des sources amenant de la silice dans les réservoirs des mers.

Cette supposition n'est point en désaccord avec les faits; car M. Constant Prévost a déjà rappelé (1) la fréquence des sources minérales dans les mers actuelles.

(1) Constant Prévost, *Mémoire sur les submersions itératives des continents actuels*, 1827.

D'ailleurs, si l'on se représente des eaux semblables à celles des geysers de l'Islande, se déversant dans une mer au lieu de se déverser à terre, on devra admettre au fond de cette mer la formation de précipités. Les causes actuelles ayant sans doute agi dans les âges géologiques, il est à supposer que la silice a été amenée dans les mers par des sources, et, une fois amenée, elle a dû se précipiter, nous l'avons déjà dit, par suite des différences chimiques et physiques de son nouveau milieu.

Mais, en même temps que la silice se précipitait, la craie se précipitait aussi.

Comment les molécules de craie et les molécules de silice ne se trouvent-elles point mêlées ?

Ce mélange a eu lieu plus qu'on ne pourrait le croire au premier abord ; car la craie de Meudon contient $\frac{10}{100}$ de silice, et, si on traite par les acides une quantité un peu grande d'une craie quelconque, il reste au fond du vase un résidu siliceux.

Pendant, outre la silice intimement mélangée avec la craie, il y a de très-nombreux nodules et des bancs qui sont presque uniquement formés de silice et nettement séparés de leur gangue de craie.

MM. Buckland (1), Mantell (2), C. Prévost et Lyell, ont attribué cette séparation à l'attraction.

Seulement ces savants ont entendu l'attraction de manières différentes.

M. Buckland a pensé que les molécules de silice se précipitaient avant les molécules de calcaire : cet ordre de précipitation était déterminé par l'afflux alternatif de sources siliceuses et de sources calcaires ; il avait pour résultat le dépôt de la matière siliceuse au fond des eaux avant le dépôt de la matière crayeuse. Lorsque ces

(1) Buckland, *La Géologie dans ses rapports avec la théologie naturelle*, page 79.

(2) Mantell, *Geology of Sussex*, 1832, page 155.

dépôts de silice étaient puissants en épaisseur, ils constituaient des bancs continus ; lorsque leur épaisseur était faible, ils se contractaient, et certains points d'entre eux, devenus des centres d'attraction pour les parties siliceuses, donnaient naissance aux nodules isolés.

D'après la manière de voir admise par M. Constant Prévost, et que nous avons adoptée nous-même, la formation des couches siliceuses serait un peu postérieure au dépôt de la craie ; elle serait le résultat de la réunion des particules siliceuses lorsque les couches de craie étaient en voie de consolidation.

Cette réunion n'a pu sans doute se faire par suite de la seule différence de la pesanteur spécifique de la craie et de la silice.

La densité de la silice ($D=2,65$) se rapproche trop de la densité de la craie ($D=2,72$) pour que les molécules crayeuses aient fortement tendu à pénétrer plus bas que les molécules siliceuses.

Nous pensons que la réunion de la silice sur certains points, la réunion du calcaire sur d'autres points, sont le résultat d'une attraction ayant, au sein des couches en voie de formation, rapproché les molécules semblables entre elles.

Cette attraction peut se concevoir facilement ; car elle est un des phénomènes les plus habituels de la physique. A chaque pas on la retrouve dans la nature, depuis les mondes, dont elle détermine la marche, jusqu'aux atomes infiniment tenus qu'elle rassemble en cristaux.

L'attraction, pour la silice en particulier, a été indiquée par M. Constant Prévost (1), et peut se constater chaque jour dans les pâtes à porcelaines, dans lesquelles la silice se prend en grumeaux.

Il reste à savoir quel phénomène l'a déterminée lors de la forma-

(1) Constant Prévost. *Sur l'Origine des silex de la craie et des meulière*s, 1843. (*Bulletin de la Société géologique.*)

tion des silex. A-t-elle été due à des actions électro-chimiques? Avec les connaissances restreintes rassemblées jusqu'ici dans l'électro-chimie, nous ne pouvons encore nous rendre un compte exact du rôle joué par ce double agent dans la formation des silex.

Tout ce que nous pouvons dire, c'est que dans des circonstances spéciales, et avec de très-fortes piles, M. Cross et M. Becquerel ont obtenu, par l'électro-chimie, des cristaux ou des groupements de silice (1). M. Edmond Becquerel, avec lequel nous nous sommes entretenus sur ce sujet, nous a dit qu'il ne croyait à aucune action électro-chimique dans la formation des silex, et, depuis longtemps déjà, un savant, à la fois physicien et géologue, M. Boué, avait formulé la même opinion.

L'attraction a-t-elle été déterminée par les corps organiques?

Comme nous l'avons déjà dit, nous n'avons pu trouver au centre des silex de corps organisés susceptibles d'être devenus des points d'attraction pour les molécules avoisinantes; nous n'osons nier, cependant, qu'au centre des silex il ait pu, dans quelques circonstances, se trouver des particules de matière organisée ayant jusqu'ici, par leur petitesse, échappé à nos investigations.

Il n'est d'ailleurs nullement nécessaire, pour expliquer les phénomènes de l'attraction, d'avoir recours à des particules étrangères.

Les premières molécules de silice isolées au milieu des molécules de craie sont devenues elles-mêmes des centres d'attractions sili-ceuses.

Il en a été pour elles de même que pour un grand nombre de pisolithes chez lesquels, selon M. Beudant (2), le grain initial est une particule même de la substance préalablement formée.

En effet, les particules semblables s'attirent entre elles, et la silice sera plus naturellement appelée par la silice que par un granule organique, étranger par sa nature (3).

(1) Becquerel, *Éléments d'électro-chimie appliqués aux sciences naturelles*.

(2) Beudant, *Cours élémentaire de minéralogie*, page 50.

(3) Voir, au sujet des attractions qui ont pu déterminer la formation des silex de la

Au moyen de l'attraction seule, on ne peut expliquer l'horizontalité des couches de nodules et des bancs de silex. Il faut pour s'en rendre compte supposer avec M. Buckland des afflux de silice alternatifs et inégaux en intensité.

Lors d'un afflux plus abondant, il se formait une couche plus riche en silice, dans laquelle les molécules siliceuses étant presque aussi nombreuses ou même aussi nombreuses que les molécules de craie, pouvaient en se rapprochant former des bancs continus.

DEUXIÈME QUESTION.

Formation postérieure à la première consolidation de la craie.

Souvent la formation des silex a été présentée d'une manière très-différente de celle que nous venons d'exposer.

Werner, dont l'opinion a été embrassée par le professeur Jame-son, par M. Parkinson et par quelques autres géologues, a supposé que, pendant le dépôt de la craie, des gaz se trouvèrent engagés dans les couches. Les gaz y formèrent des cavités irrégulières susceptibles d'être, par la suite, remplies par des infiltrations de silice : « ils étaient dus à la décomposition de corps organiques « existant en très-grand nombre comme le prouvent les restes de « coquille. »

D'après Berger, dit Mantell, les cavités remplies plus tard par de la silice résulteraient du retrait des couches.

craie, un travail de M. Virlet, intitulé : *Notes sur quelques phénomènes de déplacements moléculaires qui se sont opérés dans les roches postérieurement à leur dépôt.* (Bulletin de la Société géologique de France, 2^e série, tome II, 1844.

D'après Guettard (1), de Luc (2), Brongniart (3), Huot (4), M. Dufrenoy (5), et M. Marcel de Serres (6), une grande partie des silex serait due, nous l'avons déjà dit, à l'introduction de la silice dans des cavités formées antérieurement par des animaux mous, tels que des alcyons et des spongiaires.

Seulement, pour quelques-uns de ces géologues, le remplissage aurait eu lieu par de la silice tenue en solution dans des eaux très-peu concentrées; pour les autres, il aurait eu lieu par de la silice gélatineuse.

M. Bory de Saint-Vincent (7) a attribué les silex de la craie non plus à des infiltrations dans des cavités préexistantes, mais à une filtration qui, par une substitution lente, aurait changé la craie en silice, molécule à molécule.

Quoi qu'il en soit de ces explications, toujours est-il que les savants auteurs dont nous venons de citer les noms ont considéré la plus grande partie des silex comme ayant été formés postérieurement aux couches dans lesquelles ils sont enclavés et comme ayant été formés par des infiltrations. Nous avons, dans un premier travail, donné une grande extension à cette manière de voir; depuis, par suite d'observations qui nous ont été communiquées par M. Constant Prévost, nous en avons de beaucoup diminué l'importance.

Restreinte aux termes dans lesquels nous allons la présenter, elle pourra se concilier plus facilement avec le premier mode de formation que nous avons exposé, et qui, sans doute, a été le plus général.

Les bancs et les nodules de silex ont été dus en grande partie

(1) Guettard, 1770 (II^e volume de ses *Mélanges*, 5^e Mémoire).

(2) De Luc, *Sur la Nature des silex et sur l'Origine des substances minérales des couches coquillières*. (*Journal de physique*, 1792.)

(3) Alex. Brongniart, article *Silex* du *Dictionnaire des sciences naturelles*, tome XLIX, 1827.

(4) Huot, *Nouveau Cours élémentaire de géologie*, 1837.

(5) Dufrenoy, ouvrage déjà cité.

(6) Marcel de Serres, ouvrage déjà cité.

(7) Bory de Saint-Vincent, *Voyage souterrain, ou Description du plateau de Saint-Pierre de Maëstricht et de ses vastes cryptes*.

à une attraction produite entre les molécules semblables, toujours peu de temps après la précipitation.

A mesure que les couches se consolident, l'attraction cessa sans doute de pouvoir s'exercer ; mais, par la pénétration, ou, mieux peut-être, par la filtration, les eaux durent continuer la formation du dépôt, au moyen de nouvelles molécules qu'elles amenaient dans les cavités laissées entre les molécules premières.

Ainsi, tandis qu'il faut attribuer à la précipitation et à l'attraction la masse des dépôts de silex, il faut, nous le pensons, attribuer plusieurs de leurs accidents à la filtration de la même eau silicifère qui avait formé l'ensemble de ces dépôts.

La filtration ainsi limitée est un phénomène facile à concevoir ; presque toutes les couches du globe présentent quelques traces de filtration, et, si l'endurcissement des assises croît proportionnellement à l'ancienneté de leur formation, il faut, sans doute l'attribuer à la filtration autant qu'à la pression des couches supérieures. Dans les sols émergés, les puits que l'on perce chaque jour, mais les puits artésiens surtout, sont une preuve de filtrations encore permanentes ; enfin, dans le sol immergé, les données fournies par les volcans semblent indiquer une filtration des eaux.

Ainsi, théoriquement, la filtration est un phénomène que nous pouvons admettre pour expliquer plusieurs des accidents des silex, et, sans elle, nous ne saurions nous rendre compte de quelques faits, tels que les faits suivants :

A Étretat, à Fécamp, à Saint-Valery (Seine-Inférieure), mais surtout à Pontavannes près de Méru (Oise), on trouve dans la craie beaucoup de nodules de silex creux figurant des sphéroïdes assez réguliers.

Ces nodules ont plusieurs ouvertures qui parfois ont pu être facilement prises pour des oscules, et ainsi faire voir des spongiaires là où il n'y avait que des masses de nature inorganique ; ces silex, comme nous l'avons expliqué déjà, ne sont point pour la plupart des spongiaires silicifiés. Il est difficile d'expliquer leurs ouvertures si on ne les considère comme les points par lesquels ont pénétré les eaux de filtration.

Souvent on voit des zones partir de ces ouvertures et se montrer rubanées comme dans les agates proprement dites; si elles sont peu variées et peu discernables, c'est que l'eau de filtration, ayant traversé des couches de craie en général pures et homogènes, ne peut être colorée comme si elle eût traversé les wackes où sont enfermées la plus grande partie des agates.

Outre les zones agatoïdes, on voit quelquefois dans les nodules siliceux de véritables stalactites, ou des concrétions, ou des mamelons dont la formation est due sans doute au suintement d'eaux silicifères.

D'après une supposition de M. Mantell (1), la matière calcédonieuse pour former ces accidents aurait pénétré par filtration à travers le tissu même du silex, et la masse du nodule ne serait point due à la filtration. Lorsque l'on voit les zones rubanées et les canaux d'ouvertures de plusieurs de ces nodules, lorsque l'on ne peut trouver de limite entre la partie calcédonieuse et la partie siliceuse, on a peine à admettre cette hypothèse du savant géologue anglais.

Il est impossible d'établir la séparation entre la partie externe formée par attraction et la partie interne formée par filtration; et d'ailleurs il est beaucoup plus difficile de concevoir une filtration à travers un silex qu'à travers la craie.

On verra encore, si on se reporte à nos descriptions précédentes, que le noyau de la plupart des silex creux est formé de petits tubes se recouvrant irrégulièrement, et n'ayant pu sans doute être formés autrement que par un suintement.

Enfin les veines verticales ou obliques de silex dans quelques localités, telles que celles de Sainte-Catherine, à Rouen, celles indiquées à Valognes par M. Desnoyers, etc., sont sans doute le plus souvent des preuves de filtration à travers des couches antérieurement formées.

« Le calcaire à baculites de Valognes, dit M. Desnoyers (2), a

(1) Mantell, *Geology of Sussex*, 1822.

(2) Desnoyers, *Mémoire sur la craie et sur les terrains tertiaires du Cotentin*, 1825. (*Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Paris*, vol. II.)

« subi une pénétration siliceuse qui forme une sorte de silici-calce, « ou plus rarement constitue des tubercules isolés de silex corné, « pâles, semblables à ceux de Maëstricht. On croit voir, ajoute-t-il, « des traces de ce double précipité (précipité de chaux et de silice) « dans les filets minces qui se croisent et traversent verticalement « les strates. »

La difficulté est d'expliquer d'où peuvent provenir les cavités que les eaux filtrantes ont remplies de silice.

Elles ont pu très-accidentellement être dues à des gaz se développant dans les couches ou à des corps organisés en décomposition ; mais la plupart sans doute sont le résultat de la dissolution produite par les mêmes eaux qui ont amené la silice. En effet, une grande partie des molécules crayeuses a dû être déposée par précipitation. Or, pour que du bicarbonate de chaux soluble dans l'eau des mers se précipitât, ou, en d'autres termes, passât à l'état de carbonate neutre insoluble, il fallait qu'il abandonnât un équivalent d'acide carbonique. Ainsi, par la raison même que de la craie se précipitait, les eaux contenaient de l'acide carbonique, et cet acide carbonique, filtrant avec les eaux, devait produire des cavités sur les points plus attaquables que les autres, c'est-à-dire sur ceux dont la texture était moins serrée ou la composition plus pure. Ainsi, nous croyons être d'accord avec les phénomènes naturels en attribuant à des eaux faiblement acides la formation de la plupart des cavités changées plus tard en silex.

Nous avons dit que les corps organisés avaient été trop peu nombreux pour avoir pu influencer fortement sur le dépôt des grandes masses siliceuses. Ils sont d'ailleurs, par leur nature, plus susceptibles que les roches d'être silicifiés. La cause en est dans leur facile destruction : leur disparition amène des vides, et ces vides, rencontrés par les eaux siliceuses, doivent se remplir de silice.

Ce remplissage a pu, dans quelques circonstances, être facilité par l'action chimique des matières organiques en décomposition.

En effet, cette décomposition dégage des acides, et en particulier de l'acide carbonique. Si on suppose la silice dissoute non à l'état de silice libre, mais à l'état de silicate alcalin, l'acide carbonique a dû se comporter comme il se comporte journellement dans les laboratoires de chimie ; il a donc précipité la silice de sa solution, et, pendant que cette silice remplissait le vide laissé par la matière organique, lui-même était emporté à l'état de carbonate alcalin ; ainsi la silicification serait due en cette circonstance à une action chimique.

En général, cependant, le remplissage des cavités semble devoir être attribué à une action mécanique, par laquelle la silice s'est réunie là où elle a trouvé un vide ; et, en effet, plus les corps sont facilement décomposables, plus ils sont fréquemment silicifiés.

Ainsi, pour que des os en partie formés de phosphate de chaux aient été décomposés, il a fallu, sans doute, le développement d'un acide, tel que l'acide sulfurique, susceptible de changer en biphosphate soluble leur phosphate de chaux insoluble.

Or, cette circonstance n'a pu se présenter que très-accidentellement ; les os, par conséquent, ont dû rarement donner lieu à des cavités : et, en effet, nous ne les trouvons presque jamais silicifiés.

Au contraire, pour que des débris organiques formés de calcaire se décomposent et laissent des vides à leur place, il leur suffit d'être rencontrés par des eaux renfermant de l'acide carbonique, et presque toutes les eaux en contiennent : or, les fossiles primitivement calcaires sont très-souvent silicifiés.

Enfin, dans les corps organisés à côté des pièces de nature minérale, il y a des tissus bien plus décomposables encore que ces pièces ; et justement ces tissus sont les parties les plus fréquemment remplacées par la silice ; la plupart des silicifications sont à l'état de moules représentant les parties organiques des animaux et s'intercalant entre les pièces de leur squelette inorganique, qui peut d'ailleurs avoir persisté ou avoir été détruit postérieurement.

Ainsi la fréquence des épigénies de silice dans les corps organisés semble dépendre essentiellement de la facilité de décomposition pré-

sentée par ces corps, ou, en d'autres termes, de la facilité avec laquelle ils laissent des vides. D'ailleurs, on conçoit difficilement comment la silice, ayant joué le rôle d'un acide très-faible, ayant le plus souvent peut-être joué le rôle d'un corps neutre, aurait pu se substituer directement à du phosphate, ou même à du carbonate de chaux ; presque toujours les épigénies de la silice dans les corps organisés comme dans les minéraux sont le résultat de deux phénomènes indépendants : 1° La dissolution de la substance primitive, qui est emportée et laisse un vide ; 2° L'arrivée de la silice dans la cavité laissée par chaque atome du minéral ou du fossile qui a disparu.

Les spongiaires des terrains de craie sont une des preuves les plus fréquentes du moulage de la silice dans des cavités laissées par une matière primitive en décomposition. Il se peut d'ailleurs que les spicules siliceux dont plusieurs de ces animaux sont en partie composés aient déterminé l'attraction des molécules environnantes et ainsi facilité leur remplissage.

Les moules d'oursin sont encore une preuve fréquente de l'introduction de la silice dans des vides laissés par suite de la décomposition d'une substance primitive. Ils sont remarquables par la perfection avec laquelle ils représentent l'organisation de la boîte osseuse. Cette perfection indique un liquide qui, bien loin d'être pâteux, devait être très-fluide, puisqu'il pénétrait dans tous les détails de l'organisation.

Le liquide a pénétré, en général, par les grandes ouvertures (les ouvertures anales et buccales) ; car on voit attachés encore à ces ouvertures des prolongements communiquant avec les masses siliceuses dans lesquelles ou près desquelles les oursins sont placés. Ces prolongements ont reçu le nom de queues de l'oursin.

Il est à noter que les pointes correspondantes aux pores ambulacraires adhèrent au moule, mais n'adhèrent presque jamais au silex dans lequel l'oursin est enveloppé ; d'où on peut conclure que la silice, après avoir pénétré dans l'oursin par les ouvertures anale ou buccale, a quelquefois débordé de dedans en dehors, à travers les

pores tentaculaires, mais n'a point pénétré de dehors en dedans, à travers ces pores.

Quelques moules d'oursin présentent un accident remarquable : les séries de pièces ambulacraires et interambulacraires sont remplacées par des séries de rhomboédres dont la moitié est engagée dans le moule, dont l'autre moitié est sortante. La collection de l'abbé Haüy, et surtout le cabinet de M. Cauzon, à Louviers, en présentent de très-beaux exemples. Cet accident n'appartient pas au moule, mais à la coquille même ; en effet, dans les collections d'échinodermes fossiles, on peut voir des tests calcaires d'*Ananchytes ovata*, dont la paroi extérieure n'a pas été modifiée sensiblement, mais dans l'intérieur desquels les plaques ambulacraires et interambulacraires sont recouvertes de moitiés de rhomboédres spathiques.

Ce phénomène résulte sans doute d'un jeu des molécules, qui, lors de la cessation des forces organiques, ont tendu à reprendre leurs formes cristallines naturelles. Plus tard, la silice, en pénétrant dans l'intérieur de l'oursin, s'est introduite dans les intervalles de ces moitiés de rhomboédres, et a formé un moule qui présente leurs creux en relief.

Ainsi, la singularité de ce phénomène est due au carbonate de chaux, qui s'est pseudomorphosé, et non à la silice, qui a seulement eu à remplir des vides.

M. Charlesworth (1), en Angleterre, a décrit une coquille d'oursin présentant sur sa paroi interne des moitiés de rhomboédres en calcaire spathique, et renfermant un moule siliceux : « Sur les « points où le silex est immédiatement en contact avec le calcaire, « il prend lui-même une structure semi-cristalline. »

Sans doute, si les circonstances eussent été favorables, la silice eût pénétré dans tous les intervalles, et, si la boîte de l'oursin eût été détruite, il serait resté un de ces moules aussi beaux que bizarres dont nous avons en France quelques rares échantillons.

(1) Voir, dans le *Magazine of natural History*, 2^e série, tome IV, 1810, une Notice de M. Edward Charlesworth, intitulée : *On the Siliceous casts of the echinites from the chalk.*

RESUMÉ SUR LES SILEX.

1° La silice des silex appartenant aux terrains de craie (craie blanche, craie tufau, craie chloritée, etc.) provient, pour la plus grande partie, de sources sous-marines ;

2° Elle s'est précipitée au fond des mers par suite de la différence des circonstances de sa première dissolution et des circonstances qu'elle a rencontrées dans les mers ;

3° Elle s'est séparée de la craie par une attraction des molécules de même nature ;

4° Pendant la consolidation des couches, il y a eu suintement d'eaux siliceuses ; ce suintement a produit plusieurs des accidents que présentent les bancs, les nodules et les fossiles silicifiés.

En expliquant simultanément la formation des silex par attraction au fond des mers et par filtration au milieu des couches en voie de consolidation, nous avons éliminé une difficulté qui nous a arrêtés longtemps et qui nous semblait mettre en opposition l'observation et le raisonnement, car :

En fait, des traces de filtration sont de tous côtés répandues dans les bancs et les nodules de silex ;

En théorie, on ne peut concevoir comment la silice aurait formé des dépôts par filtration sans avoir en même temps formé des couches par précipitation directe.

Ces deux points ont sans doute été la cause de la différence si tranchée des explications données sur l'origine des silex.

En les conciliant, nous croyons avoir, autant que possible, concilié les divergences d'opinions ; de part et d'autre, ces opinions avaient été émises par des hommes trop expérimentés dans la science pour qu'elles n'eussent pas chacune un fond de vérité.

§ IV.

SUR LES SILEX MEULIÈRES DES TERRAINS TERTIAIRES.

I

DESCRIPTION DES MEULIÈRES (MEULIÈRES PROPREMENT DITES ET CALCAIRES SILICEUX).

Les silex qui ont reçu le nom de meulières se présentent dans les terrains tertiaires des environs de Paris, dans deux gisements différents :

Les uns sont intercalés dans les argiles qui couronnent les couches de travertin moyen et de travertin supérieur ;

Les autres sont enclavés dans les diverses couches de travertins.

Meulières des argiles. — Les meulières intercalées dans les argiles offrent un grand développement : à Montmorency, aux buttes Saint-Chaumont, à Pantin, à Franconville, à Meudon, à Neauphle-le-Château, aux environs d'Orsay et de Palaiseau, etc., etc. (1). Dans ces localités, elles sont superposées aux travertins supérieurs ; mais à la Ferté-sous-Jouarre, où leur développement est peut-être plus considérable encore, elles sont superposées aux travertins moyens.

Elles présentent, au milieu des argiles où elles sont engagées, l'aspect de blocs brisés. Quelquefois ces blocs sont éloignés de leur position originaire, ayant été entraînés par les courants sur le ver-

(1) Voir, au sujet du gisement des pierres meulières, un extrait du *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, année 1854 ; *Rapport sur le gisement des pierres meulières des environs de Paris, leur exploitation, etc.*, par M. Dufrenoy.

sant des collines et sur le bord des vallées ; mais, en général, ils semblent se trouver à peu de distance du point où ils se sont formés, ou même avoir été brisés sur place. Leurs formes souvent anguleuses, leurs arêtes vives, en sont une preuve. Leur structure interne en fournit une autre preuve. Leur tissu présente de nombreuses cellules et même de grandes anfractuosités souvent remplies d'argile. Cette argile est très-semblable à l'argile dans laquelle les meulrières sont enclavées ; et, comme les cavités sont souvent parfaitement closes et ne sont reliées aux faces externes des meulrières par aucune fente, aucun conduit, on ne peut supposer qu'elles ont été remplies après coup. Ainsi les meulrières ont été formées originellement au milieu même de l'argile dans laquelle elles sont aujourd'hui engagées.

Cette argile est d'une couleur naturellement grise, mais souvent elle est bariolée de jaune ou de rouge dus à un peu d'oxyde de fer. En apparence, elle est pétrie de grains de sable ; si on lave ce sable, on voit que les grains dont il est composé ne sont pas roulés, présentent souvent des angles vifs et figurent véritablement de petites meulrières. Si on l'observe avec un verre grossissant, on remarque que ses granules les plus fins figurent également de petites meulrières, très-semblables aux gros blocs, en différant seulement par le volume et n'étant en rien comparables à des grains roulés. Chacun d'eux porte l'empreinte d'avoir été formé près du point où il se trouve, et il semble avoir eu une origine individuelle et distincte. Ainsi, non-seulement les meulrières, mais encore les argiles dont elles sont entourées, sont voisines du point où elles se sont formées.

Les meulrières renferment dans quelques localités de grandes accumulations de corps fossiles, et en particulier de végétaux (Neauphle-le-Château, Buttes de Sannois, Meudon). L'organisation de ces fossiles est souvent difficile à discerner, la silice ayant rempli tous les intervalles des tissus et remplacé les tissus eux-mêmes. Les différentes espèces sont des espèces d'eau douce et en général des espèces vivant à d'assez faibles profondeurs dans les eaux.

C'est sans doute d'après cette observation que M. Constant Pré-

vost a signalé les meulières renfermant des fossiles comme ayant dû être formées sur le bord des bassins; les meulières sans fossiles comme ayant dû, au contraire, être formées dans le fond des bassins.

Les meulières des argiles présentent un accident essentiel à signaler; elles renferment des masses sphéroïdales, composées de couches concentriques, et présentent, plus encore que les silex proprement dits, un rapport frappant avec les grès enclavés dans les sables supérieurs de Fontainebleau, du Trou d'enfer, près Versailles, etc. Nous avons vu à Meudon et à Franconville de beaux exemples de ces sphéroïdes à couches concentriques; M. Constant Prévost nous a dit en avoir observé de semblables à Montmorency, aux Molières, etc.

Meulières des travertins. — Dans le bassin de Paris, autant il y a de couches de travertin, autant il y a de zones renfermant des meulières. On voit des meulières dans les travertins de l'époque du dépôt de l'argile plastique (environs d'Épernay); on en voit dans les travertins inférieurs au gypse (environs de Valvins), dans les travertins superposés aux marnes vertes du gypse (Champigny, la Brie), dans ceux qui sont placés au-dessus des sables de Fontainebleau (environs d'Orléans).

Hors du bassin de Paris, on trouve encore dans divers pays des meulières occupant des positions semblables : telles sont les meulières des marnes supérieures au gypse dans le bassin d'Aix.

Les meulières forment dans les travertins des couches irrégulières, qui se répètent et se superposent souvent plusieurs fois de suite (Villejuif, Juvisy). On peut dire, d'une manière générale, qu'en dehors de la différence de leur gisement, elles se distinguent des meulières des argiles par la rareté de leurs fossiles et par la présence dans leurs cavités, non plus d'argile, mais de calcaire parfaitement semblable à celui dans lequel elles sont engagées.

Quelques-unes d'entre elles se font remarquer par leur enchevêtrement avec les travertins et par une grande multiplicité de con-

crétions, de stalactites, de veines entre-croisées. Réunies avec les travertins, elles portent le nom de calcaires siliceux.

« Ces calcaires, disent MM. Cuvier et Brongniart (1), sont pénétrés de silice qui s'y est infiltrée dans tous les sens, tous les points. »

La silice s'y présente tantôt en veines verticales, tantôt en bancs horizontaux alternant avec des bancs calcaires.

Dans les bancs calcaires, il arrive souvent que les veines siliceuses se croisent en tant de sens, que la proportion de la silice devient égale à la proportion du calcaire ; des grandes veines, dérivent des veines secondaires ; des veines secondaires, d'autres veines plus petites, de telle sorte que les filets siliceux forment une véritable ramification, et il est à noter que partout auprès de ces filets le calcaire est imprégné de silice, tandis qu'un peu loin d'eux il est resté pur et homogène (2).

Sur quelques points les veines, au lieu de s'atténuer de plus en plus, s'élargissent et aboutissent à des géodes dont les parois sont formées de couches concentriques ; ces géodes contiennent tantôt des mamelons irréguliers, tantôt des concrétions en forme de stalactites.

De leur côté, les bancs siliceux renferment souvent autant de calcaire que de silice.

Ils présentent des cavités hérissées à l'intérieur de pointes, de tubes qui s'allongent et se croisent en tous sens.

Ces tubes existent également lorsque les bancs siliceux sont superposés à des roches tendres ; alors, rien n'est plus irrégulier que l'enchevêtrement des couches siliceuses dans les couches calcaires. Elles y forment des sinus, des anfractuosités, des parties rentrantes les unes dans les autres.

(1) Cuvier et Brongniart, *Description géologique des environs de Paris*, 1822.

(2) Voir, au sujet des calcaires siliceux, le Mémoire de M. Dufrenoy, intitulé : *Sur la Position géologique du terrain siliceux de la Brie et des meulières des environs de la Ferté*, 1856, tome III des *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, par MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont.

En un mot, on peut dire que l'aspect des calcaires siliceux suppose dans certaines circonstances une origine en partie différente de celle des meulièrees proprement dites. Nous reviendrons sur ce sujet dans le cours du paragraphe suivant.

II

DE LA FORMATION DES MEULIÈRES (MEULIÈRES PROPREMENT DITES ET CALCAIRES SILICEUX).

La différence essentielle qui sépare les silex meulièrees des silex proprement dits, n'est pas l'âge géologique, car ils ne sont pas spéciaux aux terrains tertiaires.

M. Dufrénoy (1) en a indiqué dans les terrains secondaires. Ce n'est point non plus la composition chimique, car cette composition est la même. C'est plutôt dans les premiers un ensemble de caractères indiquant une formation lente : texture très-fine et compacte ; silicification parfaite d'un grand nombre de fossiles ; cristaux bien définis ; calcédoines à surfaces tellement lisses, qu'elles peuvent sembler polies. C'est, dans les seconds, un ensemble de caractères indiquant au contraire une formation rapide : texture irrégulière ; surfaces rudes, âpres ; cristaux de petite dimension ; silicification souvent très-impairfaite des fossiles.

La deuxième différence qui sépare les silex meulièrees des silex proprement dits, c'est l'existence de fossiles marins dans ceux-là, de fossiles d'eau douce dans ceux-ci.

La troisième différence, moins importante, consiste dans l'ho-

(1) Voir la *Description des meulièrees de l'étage oolithique inférieur de Meillant*, dans une Note de M. Dufrénoy sur le calcaire jurassique à l'est de Poitiers. (*Bulletin de la Société géologique de France*.)

« On exploite des meulièrees, dit M. Dufrénoy, dans la partie inférieure du calcaire du « Jura, à Meillant, près Saint-Amand, dans le département du Cher, ainsi que dans plusieurs autres localités du Berry et du Poitou. » (Dufrénoy. *Traité de minéralogie*, 1845.)

hétérogénéité de coloration des silex ; dans l'inégalité de coloration et de transparence des meulières.

Enfin, et c'est là une quatrième différence, lorsque les meulières n'ont point été dérangées de leur position primitive, elles ne se présentent guère en nodules isolés comme les silex, mais en masses plus ou moins continues.

Ces différences de faciès doivent sans doute correspondre à des différences dans le mode de formation ; essayons de nous en rendre compte.

Les silex de la craie, comme la craie elle-même se sont formés en général dans la profondeur des mers (1) ; nous avons vu qu'ils ont sans doute été le résultat de la précipitation d'eaux siliceuses fournies par des sources.

La quantité de ces eaux étant faible comparativement à la masse de celles des mers, la silice se précipitait peu rapidement, et il en résultait des dépôts portant les caractères d'une formation lente.

Ces dépôts ayant lieu à de grandes profondeurs, ils ne pouvaient être modifiés directement par les principes colorants si divers dus à l'usure des côtes et aux affluents fluviaux ; de là leur régularité presque constante de coloration.

Enfin les eaux siliceuses amenées par les sources pouvant se mêler aux eaux des mers, les molécules siliceuses devaient se précipiter avec les molécules crayeuses, et être souvent dispersées au milieu d'elles : de là, la cause première de l'isolement des nodules.

Voyons si ces circonstances se sont présentées dans la formation des meulières.

Les meulières, comme les silex de la craie, ont dû sans doute leur silice à des sources. En effet, elles offrent bien plus l'aspect d'un précipité que l'aspect d'un sédiment, et les précipités de silice ne

(1) Voir les preuves que la plus grande partie de la craie a été déposée dans des mers profondes, page 108 de *l'Essai sur la formation des terrains des environs de Paris*, par M. Constant Prévost, 1827.

peuvent, nous l'avons vu, s'expliquer en grand, dans les époques géologiques rapprochées des nôtres, sans l'intervention des sources. M. Constant Prévost a indiqué (1) dans le bassin de Paris cinq points qu'il regarde comme le centre de sources siliceuses et calcaires. Le savant professeur nous a même dit avoir reconnu la cheminée d'une source siliceuse. Il paraît que cette cheminée pouvait se voir il y a quelques années à l'entrée du bois de Romainville, dans une excavation remplie de concrétions, de stalactites de silice et de calcédoines nombreuses.

Ainsi, la silice ou du moins la plus grande partie de la silice dont sont composées les meulières a sans doute été amenée par des sources comme celle des silex de la craie. Mais ici va commencer une différence essentielle; car les calcaires travertins dans lesquels ou au-dessus desquels se trouvent les meulières n'ont point, comme la craie, été formés dans le sein des mers; ils ont pris naissance dans des œstuaire, ou dans des lacs alimentés par l'eau douce.

C'est du moins ce qui résulte de l'étude de leurs corps organisés fossiles, appartenant à des végétaux ou à des animaux continentaux, tandis que les débris fossiles de la craie appartiennent à des êtres marins.

Lorsque les eaux silicifères des sources se déversaient dans ces lacs ou ces œstuaire, elles arrivaient dans une eau peu ou point alcaline soumise à une basse température et à une faible pression. De plus, ces lacs ou ces œstuaire étant nécessairement plus bornés en étendue que les mers, leurs eaux étaient bien moins encore que celles des mers susceptibles d'une faculté dissolvante qui pût remplacer le grand abaissement de la température, de la pression et de l'alcalinité des eaux souterraines (2).

Ainsi les précipités étaient rapides; les molécules siliceuses ne

(1) *Carte et coupe géologiques relatives à la théorie générale des terrains des environs de Paris*, par M. Constant Prévost.

(2) Se reporter à nos considérations antérieures sur la précipitation de la silice dans les eaux.

comblaient pas le vide que les molécules précédentes avaient laissé ; mais , se superposant brusquement avec confusion , elles formaient (1) ces dépôts irréguliers , enchevêtrés , qui se reproduisent encore aujourd'hui dans les geysers d'Islande (2).

Quant à l'inégalité et à l'impureté de la coloration du tissu intime dans les meulières , elles peuvent s'expliquer en partie (3) de la manière suivante : dans les œstuaire et les lacs débouchaient des affluents terrestres qui , à certaines époques , troublaient la pureté de leurs eaux par les principes colorants enlevés aux terres dans leur parcours ; de là ces accidents de coloration si rares dans les silex formés au fond des hautes mers.

Enfin , l'eau des sources laissant précipiter sa silice presque au fur et à mesure qu'elle se déversait dans l'eau des lacs , elle n'avait point le temps de se disperser , de se mélanger avec elle ; de là les précipités en masse présentés par les meulières ; de là leur disposition si peu fréquente en nodules isolés.

Ainsi , d'une manière générale , nous croyons pouvoir dire que les causes de formation des silex de la craie et des meulières , ont été sans doute peu différentes les unes des autres , et ont dépendu surtout du rétrécissement des bassins dans lesquels se sont déposées ces dernières.

(1) Ce rapport entre la régularité de la texture d'un dépôt et la rapidité de sa formation ne nous semble point susceptible d'être discuté. Il a été constaté par M. E. Robert pour les dépôts siliceux ; et , pour les dépôts calcaires , nous en avons partout des preuves autour de nous. Si les eaux de Saint-Alyre , à Clermont , donnent des moulages grossiers , c'est que la précipitation du calcaire est trop rapide ; et si , près de ce point , à Saint-Nectaire , les eaux donnent des moulages dont le grain est si fin , la texture si compacte , c'est que la précipitation du carbonate de chaux est beaucoup plus lente.

(2) *Note sur l'Islande* , par E. Robert. (*Bulletin de la Société géologique de France* , tome VII , 4^{re} série.)

(3) La coloration primitive des meulières a été rendue plus intense qu'elle ne l'était d'abord par des infiltrations postérieures à leur émergence. (Voir , à ce sujet , deux *Notices sur la coloration des grès des environs de Paris* , par M. Constant Prévost , l'une en 1842 , et l'autre en 1845 , dans le *Bulletin de la Société géologique* .)

Voyons maintenant si dans celles-ci, comme dans les silex, nous trouverons les indices de deux formations, l'une contemporaine ou presque contemporaine du dépôt des roches encaissantes, l'autre postérieure à ce dépôt.

De la formation des meulièrees à une époque contemporaine ou presque contemporaine du dépôt des roches encaissantes. — La silice étant arrivée dans les lacs et les estuaires par l'entremise des sources, elle a dû se précipiter au fond des eaux.

Avec la silice, devait se précipiter du carbonate de chaux.

Comment donc l'un et l'autre se sont-ils séparés? Car on voit les bancs de meulièrees, dans plusieurs localités, se distinguer des assises qui les renferment. (Cour-de-France, près Juvisy; Villejuif, près Bicêtre.)

Il faut supposer que ces séparations sont dues en premier lieu à des affluents alternatifs et inégaux de silice, ainsi que M. Buckland l'a pensé pour les silex de la craie. Mais cette séparation est due aussi sans doute à ce qu'une couche siliceuse étant formée, les molécules de silice renfermées dans les couches en voie de consolidation étaient attirées vers cette silice (1).

Cette attraction explique en partie les formes sinueuses et tuberculeuses présentées par les surfaces des bancs de meulièrees; car il s'en faut de beaucoup que ces bancs aient leurs deux faces, la face inférieure et la face supérieure, parallèles entre elles; leurs sinuosités sont plus grandes encore peut-être que celles des bancs de silex dans la craie.

(1) Voir, au sujet des attractions qui ont pu déterminer la formation des meulièrees, une Notice de M. Constant Prévost, intitulée : *Quelques faits relatifs à l'origine des silex meulièrees.* (*Bulletin de la Société philomathique*, octobre 1826.

De la formation des meulières à une époque postérieure à celle du dépôt des roches encaissantes. — Comme nous l'avons dit pour les silex de la craie, il faut encore supposer ici que, pendant la formation des meulières par précipitation et par attraction des parties siliceuses, il y avait filtration à travers les couches en voie de consolidation et adjonction de nouvelles molécules de silice aux premières molécules.

Cette filtration, qui a contribué à la consolidation des meulières comme de toutes les roches en général, a été presque contemporaine de l'attraction moléculaire, avec laquelle elle s'est le plus souvent combinée.

Elle a dû cependant persister plus longtemps que l'attraction, les couches permettant sans doute encore la perméabilité et le suintement des eaux, lorsqu'elles sont déjà trop consolidées pour permettre à l'attraction de se produire librement.

La filtration n'a pas dû seulement déposer de la silice entre les molécules des couches en voie de consolidation, mais elle a dû en déposer encore dans des cavités préexistantes.

Pour s'en convaincre, il suffira de jeter les yeux sur ce que nous avons dit et sur ce que les divers auteurs ont dit avant nous du calcaire siliceux, et de plusieurs accidents présentés par les meulières proprement dites.

La difficulté est d'expliquer l'origine des cavités préexistantes ; si les calcaires travertins eussent été émergés avant la filtration de la silice, on pourrait supposer qu'ils ont été fendillés et que plus tard la silice a rempli leurs fissures ; mais tout porte à considérer la pénétration de la silice comme s'étant faite au-dessous même des lacs dans lesquels se sont déposés les calcaires travertins.

On ne peut les attribuer à des gaz, car elles sont souvent beaucoup trop volumineuses, ni à des corps organisés détruits, car

à Champigny (1) et à Juvisy, où les calcaires siliceux ont un si grand développement, il n'y a nulle trace de débris fossiles.

Il faut, nous le pensons, les attribuer, ainsi que nous l'avons fait pour quelques-uns des silex de la craie, à la dissolution des eaux qui ont pénétré les couches. En effet, d'après nos explications antérieures, les lacs dans lesquels se sont formés les travertins ont dû contenir beaucoup plus d'acide carbonique que les mers dans lesquelles la craie s'est déposée; la raison en est dans la rapidité beaucoup plus grande de la précipitation des travertins que de la craie.

De cette pénétration d'eau ainsi chargée d'acide carbonique sont résultées nécessairement des dissolutions dans les roches, et par là même sont résultées des cavités (2).

Ainsi, nous attribuons les veines, les géodes, les concrétions d'une partie des calcaires siliceux et des meulière à des cavités que les eaux filtrantes ont creusées par l'action corrodante de leur acide carbonique, et qu'elles ont remplies de silice soit postérieurement, soit simultanément.

Parmi les accidents présentés par les calcaires siliceux, il en est un qui, dans quelques circonstances, nous semble pouvoir être rapporté au phénomène de la filtration : nous voulons parler des orbicules ou anneaux siliceux. Les orbicules siliceux sont surtout fréquents sur les corps organisés; mais on les retrouve encore dans des roches où n'apparaît nulle trace d'organisation: tels sont les calcaires siliceux de Champigny.

Alexandre Brongniart (3) a décrit avec beaucoup de soins et de

(1) Voir le Mémoire de M. Dufrenoy sur Champigny, dans les *Mémoires pour servir d'introduction à la carte géologique de France*, par MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont.

(2) Voir une *Note sur quelques tubulures dont l'origine a été rapportée à des dégagements de gaz, et qui paraissent être dues à la filtration des eaux*, par Albert Gaudry. (Réunion extraordinaire de la Société géologique à Dijon. 1871.)

(3) Alex. Brongniart, article *Silex* du *Dictionnaire des sciences naturelles*, et *Mémoire sur les orbicules siliceux*, 1851.

détails les orbicules siliceux. Il les a attribués à une tendance particulière de la silice gélatineuse à former des cercles concentriques, et il a appuyé ses observations sur de nombreuses figures.

M. Léopold de Buch (1) a supposé qu'au centre de tout orbicule il y avait une matière organique préexistante. « Il se forme dans « cette matière un petit globule d'hydrate de silice; ce globule s'é-
« lève, s'étend, et vraisemblablement change son état visqueux pour
« en prendre un autre un peu plus solide, sans néanmoins durcir
« entièrement. Un nouveau globule perce le précédent et le pousse
« en avant tout autour à la manière des ondes. D'autres globules
« suivent et s'entourent d'ondes nouvelles. »

Nous pensons que dans quelques circonstances, et peut-être en particulier à Champigny, où il y a absence absolue de traces organiques, les orbicules ont pu être le résultat de gouttelettes échappées de la paroi supérieure d'une cavité. Par leur chute répétée sur un même point, ces gouttelettes auraient déterminé un dépôt concentrique. C'est du moins ce qui pourrait avoir eu lieu pour la formation de quelques orbicules d'assez grande dimension.

Enfin, ces accidents n'ont-ils point parfois dû leur origine à des interpositions de matières étrangères qui se seraient groupées en zones alternantes, comme le feldspath et l'amphibole de la diorite orbiculaire de Corse?

En laissant dessécher de la silice gélatineuse dans une capsule de porcelaine, nous avons obtenu un accident singulier, semblable à celui que M. Brahm a déjà obtenu dans d'autres substances. La silice se divisa par le retrait en fragments, et chaque fragment avait à son centre, dans la partie en contact avec la porcelaine, une espèce d'anneau disposé en forme de spire plane.

La silice avait été obtenue avec du silicate de potasse traité

(1) *Recueil de planches de pétrifications remarquables*, par Léopold de Buch. Berlin, 1831.

par un courant d'acide carbonique. Bien que parfaitement pure en apparence, elle mit à jour en se desséchant quelques fils de carbonate de potasse. Ces fils s'enroulent volontiers en spirales. Ce sont eux peut-être qui, s'interposant dans la silice, ont déterminé la formation des anneaux spiraux.

Ces anneaux, d'ailleurs, sont très-différents des orbicules siliceux naturels en ce que ceux-là ne sont jamais spiraux, mais toujours concentriques.

Nous avons dit que les meulères des argiles se trouvaient en blocs concassés quelquefois entraînés par des courants, mais qui en général paraissent être en place.

Nous en avons du moins présenté comme preuve la forme anguleuse des blocs, et l'absence, dans l'argile, de grains roulés.

L'explication de ce concassement a été donnée de plusieurs manières différentes par les géologues. Les uns l'ont attribué à de petites commotions souterraines, les autres à des mouvements de bascules déterminés par le retrait des couches inférieures. Suivant cette dernière opinion, admise par M. Constant Prévost, le concassement des meulères aurait eu lieu à la suite de leur émer-sion.

Les puissantes couches de sable placées en général au-dessous d'elles laissant écouler l'eau qu'elles contenaient lors de leur immersion, il en serait résulté des retraits. Par suite de ces retraits et par suite des enfoncements qu'ils auraient déterminés, les meulères, sollicitées inégalement en différents sens, se seraient fracturées.

RESUMÉ SUR LES MEULÈRES.

Les meulères ont été dues : 1° à des précipités de silice venant de sources et se déposant au fond des eaux ; 2° à des suintements de silice qui traversaient les couches pendant et après leur consolidation.

Les différences essentielles qui séparent les silex meulières des silex proprement dits viennent de ce que les silex proprement dits ont été formés dans des eaux profondes et par une *précipitation lente*, tandis les meulières ont été formées dans des eaux peu profondes et par une *précipitation rapide*.

Le 25 mai 1852.

Vu et approuvé,

Le Doyen,

MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer,

Le Recteur de l'Académie de la Seine,

GAYX.

