

RECHERCHES MICROGRAPHIQUES

SUR

LA NATURE ET L'ORIGINE DES ROCHES PHOSPHATÉES

PAR

A.-F. RENARD,

Membre correspondant de l'Académie royale de Belgique

ET

J. CORNET,

Docteur en sciences naturelles.

NOTICE PRÉLIMINAIRE.

Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*,
3^e série, tome XXI, n^o 2, 1891.

Bruxelles. — Imprimerie de F. HAYEZ, rue de Louvain, 112.

RECHERCHES MICROGRAPHIQUES

SUR

LA NATURE ET L'ORIGINE DES ROCHES PHOSPHATÉES (1).

Nous nous proposons dans cette notice de faire connaître les résultats préliminaires d'une étude d'ensemble que nous avons entreprise sur la formation des roches phosphatées. Cette étude a été dirigée surtout vers la solution du problème, très obscur encore, de l'origine de ces roches. Nous l'avons abordée par la méthode micrographique, en tenant compte d'ailleurs, dans la mesure nécessaire, des observations sur le terrain. On pourra se convaincre, croyons-nous, que le mode de recherche que nous avons appliqué a permis, sinon de dissiper tous les doutes que la question nous offrait, au moins de lever les plus importants, et nous a conduits à envisager ces formations sous un jour nouveau.

Au lieu de considérations générales et hypothétiques, qui ont trop souvent servi de point de départ aux conceptions relatives à l'origine du phosphate de chaux des terrains sédimentaires, nous nous sommes appliqués à analyser attentivement les faits que nous montrent les phosphates en voie de formation dans les mers actuelles. Ensuite, nous les avons comparés aux phosphates disséminés dans les terrains marins anciens, et en particulier à ceux des couches créacées des environs de Mons.

Ce sont les phosphates de cette région que nous avons

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 5^e série, tome XXI, n^o 2, pp. 126-160, 1891.

surtout étudiés jusqu'ici et que nous décrirons spécialement dans ce travail; nous ne nous sommes pas bornés cependant à les étudier isolément, nous les avons comparés à ceux des départements de la Somme, du Pas-de-Calais et de l'Oise, du Cambrésis et de la Hesbaye.

Comme nous le montrerons tout à l'heure, cet examen comparatif ne nous a pas seulement apporté des faits similaires, susceptibles d'une même interprétation pour ces divers gisements, mais il nous a permis de constater, dans certaines circonstances, des détails plus nets que sur les phosphates de Belgique, dont nous avons surtout en vue l'étude en commençant ce travail.

L'attention est vivement attirée, précisément en ce moment, par des découvertes récentes de nouveaux et riches gisements de phosphates dans notre pays et dans les régions voisines; témoin le nombre de publications qui se succèdent rapidement sur des questions touchant d'assez près celle de l'origine du phosphate. Nous voulons soumettre aux savants qui s'occupent actuellement de ces roches les éléments d'un examen comparatif, et leur permettre de contrôler notre interprétation. Il s'agissait aussi pour nous, dans ces circonstances, de prendre date par une notice préliminaire, qui nous permit ainsi de poursuivre un travail d'ensemble plus détaillé, où nous appliquerons à des phosphates d'autres gisements le mode de recherches que nous avons suivi. Nous croyons, en effet, qu'un certain nombre de faits, que nous établissons ici pour la première fois, ainsi que plusieurs de nos conclusions ont une portée plus générale, et qu'ils pourront s'appliquer à d'autres phosphates encore que ceux qui font l'objet de cette notice.

Procédés de préparation. — Indiquons une fois pour

toutes les procédés de préparation, très simples d'ailleurs, que nous suivons pour l'examen microscopique.

Pour les roches composées à la fois de craie blanche et de granules ou de concrétions phosphatées, nous nous bornons à les soumettre à des lavages à grandes eaux, qui entraînent les parties calcaires. On isole ainsi un résidu phosphatique qui, de même que les matières crayenses recueillies par décantation, est soumis au microscope.

Pour les phosphates riches, on sépare, par le même procédé, les particules pulvérulentes de moindres dimensions des granules phosphatés. Il est bien évident que ces séparations par lavages répétés sont loin d'être parfaites; mais elles suffisent pour le but que nous avons en vue.

L'examen microscopique des matières ainsi séparées se fait à divers grossissements; généralement des objectifs assez faibles suffisent. On observe ces particules à la lumière réfléchie, transmise ou polarisée, à l'état libre ou immergées dans l'eau, la glycérine ou le baume de Canada.

Il est quelquefois utile, pour l'examen des phosphates en grains, de recourir à un décapage des particules par l'acide acétique ou par l'acide chlorhydrique très dilué. Ces éléments pulvérulents se débarrassent ainsi d'une foule d'impuretés qui voilent leur forme propre ou leur structure intime.

Enfin, outre l'examen de matières pulvérulentes préparées comme on vient de le dire, nous avons, presque dans tous les cas, étudié les phosphates en sections minces transparentes. Dans tous les cas douteux, nous avons eu recours à des réactions chimiques faites sous l'objectif même du microscope; parmi ces réactions, la plus fréquemment employée est celle à l'aide de la liqueur molybdique; elle permet de discerner avec précision l'élément phosphaté des autres matières associées.

Conditions générales de gisement. — Donnons tout d'abord les conditions générales de gisement des phosphates que nous allons étudier.

1° On les trouve au lieu et place où ils se sont déposés ou concrétionnés, mélangés aux éléments avec lesquels ils constituent les roches phosphatées. Ce sont des phosphates de formation contemporaine aux couches encaissantes. On peut ranger dans cette première catégorie les granules phosphatés des diverses craies blanches, les concrétions plus volumineuses, disposées en lits dans ces craies, les débris phosphatiques de Vertébrés (Poissons, Reptiles, etc.).

2° Une seconde catégorie comprend les roches phosphatées qui ont été soumises à des remaniements et qu'on trouve dans des dépôts plus récents, où elles peuvent s'être enrichies en phosphate. C'est dans cette catégorie qu'on doit ranger, par exemple, les éléments roulés du poudingue de Cuesmes ou du poudingue de la Malogne.

3° Enfin, on peut réunir dans un troisième groupe les sables phosphatés, les nodules et les fossiles qui se présentent comme résidu de la dissolution d'une craie sous l'action d'eau chargée d'acide carbonique et d'acides humiques.

Dans cette subdivision viennent se placer les phosphates riches de Cibly, de la Somme, du Pas-de-Calais, du Cambrésis, de la Hesbaye, etc.

Ce qui concerne la stratigraphie et la paléontologie des gisements phosphatés est généralement assez connu pour que nous n'ayons pas besoin d'y revenir. Tel n'est pas, d'ailleurs, le but de ce travail; mais comme il importe qu'un lecteur étranger à nos régions soit fixé sur l'âge géologique des formations que nous allons examiner dans cette notice, nous ferons précéder l'exposé de nos recherches person-

nelles d'un tableau synoptique des assises dont nous avons étudié les roches phosphatées. (Gosselet, *Esquisse*.)

- Maestrichtien** Zone à *Hemipneustes radiatus*.
 Tuffeau de Ciplý.
 Poudingue de la Malogne.
 Tuffeau de Maestricht, couche à coprolithes, etc.
- Sénonien** Zone à *Fissurirostra Palissti*.
 Craie brune de Ciplý.
 a. Craie glauconifère à Thécidées.
 b. Craie brune de Ciplý proprement dite.
 c. Craie à silex spongieux.
 Poudingue de Cuesmes.
 Craie de Spiennes.
- Zone à *Belemnitella mucronata*.
 Craie de Hesbaye.
 Craie de Nouvelles.
- Zone à *Belemnitella quadrata*.
 Craie d'Obourg.
 Craie de Trivières.
 Craie de Herve.
 Craie grise de la Somme, etc.
- Zone à *Micraster cor-anguinum*.
 Craie de Saint-Vaast.
 Craie d'Ossogne.
- Zone à *Micraster cor-testudinarium*.
 Craie grise du Cambrésis.
- Turonien** Zone à *Micraster breviporus*.
 Tun de Lézennes.
- Zone à *Terebratulina gracilis*.
 Craie de Maisières.

Examen microscopique des phosphates de Beauval et d'Orville. — Passons immédiatement à l'examen microscopique des phosphates.

Nous avons dit plus haut que ceux de certains gisements présentent, d'une manière exceptionnellement nette, les caractères que nous retrouvons aux phosphates des terrains créacés des environs de Mons, dont les détails de structure sont généralement plus voilés. Ils resteraient souvent méconnaissables, si l'on n'avait pas comme point de comparaison les indications fournies par des phosphates d'autres gisements. Parmi ces derniers se placent en première ligne les phosphates en grains de la Somme et du Pas-de-Calais.

a) *Moules de Foraminifères.* Si l'on soumet au microscope les phosphates dont il s'agit, on constate qu'ils sont formés de grains nettement caractérisés comme moules de Foraminifères (*Globigerina*, *Textularia*, *Cristellaria*, etc.). Leur surface porte d'une manière bien visible l'empreinte de la forme organique à l'intérieur de laquelle le phosphate s'est déposé. La partie interne des grains montre d'une manière non moins marquée tous les détails de la structure et de l'arrangement des loges qui ont été respectées dans leur intégrité par la phosphatisation. Ces moules ont environ de 0,05 à 0,1 millimètre. A la lumière réfléchie, ils sont blanchâtres, d'aspect porcelané, brillant; à la lumière transmise, leur teinte est jaunâtre, brunâtre ou vert sale, et l'on constate que la surface brillante, à éclat résinoïde, est due à un enduit recouvrant le moule interne et remplaçant en quelque sorte le test des Foraminifères, dont on ne constate jamais, peut-on dire, la présence dans ces grains phosphatés.

Ces grains sont transparents, plus rarement opaques,

d'un pâte assez homogène, mais granulée de points noirs. Elle montre entre nicols croisés des traces assez faibles de polarisation d'agrégat. La zone brillante, très mince, qui recouvre les moules et qui en suit tous les contours, tranche par sa pureté, sa transparence, sa teinte jaunâtre très faible sur le noyau moins homogène qu'elle enveloppe et dont elle pénètre quelquefois les interstices. Cette substance hyaline montre, en outre, la croix des agrégats sphérolithiques, ce qu'on n'observe pas pour les parties centrales. Malgré cette différence de caractères physiques, le moule et sa mince enveloppe sont l'un et l'autre constitués par du phosphate de chaux; c'est ce que prouvent les réactions faites sous l'objectif du microscope par la liqueur molybdique.

Outre les petits cristaux de phospho-molybdate qui se forment alors, les grains, en se dissolvant sous l'action du réactif, abandonnent un résidu floconneux, brunâtre ou jaune sale de matière organique, et le liquide donne la réaction du fer. On peut attribuer à ces substances organiques et au fer le rôle de matières colorantes.

A la vue des particularités que nous révèle d'une manière aussi nette l'examen microscopique de ces granules phosphatés, on ne peut se défendre de l'idée qu'ils doivent leur origine à un dépôt de phosphate de chaux à l'intérieur de coquilles de Rhizopodes calcaires. Une analogie très frappante se manifeste entre les faits que nous constatons et ceux que nous montre la glauconie. Qu'il nous suffise d'avoir constaté qu'un nombre considérable de granules de phosphate sont des moules internes de Foraminifères. La figure 1 donne la preuve évidente de notre assertion. Nous ferons ressortir bientôt la portée de la constatation que nous venons de faire.

b) *Fragments de tissu osseux.* Une observation qui n'est pas moins importante se rapporte à un élément, à vrai dire moins répandu dans le phosphate que les moules dont nous venons de parler, mais dont la présence constante est des plus caractéristiques. Associés à ces moules, on découvre des fragments microscopiques, mesurant une fraction de millimètre, d'une matière plus transparente, jaunâtre, claire, quelquefois incolore. Ce sont des fibres, des esquilles, des plaques, à contours souvent rectilignes ou déchiquetés (fig. 3). Ces éclats sont constitués par du phosphate de chaux, mais, outre les caractères que nous venons de donner, ils en ont un autre qui permet de se prononcer sans hésiter sur leur nature. En employant un pouvoir grossissant plus fort, on constate, en effet, que beaucoup de ces fragments ne sont pas homogènes; ils montrent la structure du tissu osseux des Poissons et des Reptiles. Cette détermination est confirmée par la comparaison de lames minces, taillées dans des os et des dents parfaitement déterminables, qu'on trouve comme fossiles dans les mêmes gisements (fig. 4 et 5).

Non seulement cette structure et leur forme, mais leur transparence et leur minceur permettent de les distinguer d'un coup d'œil des éléments phosphatiques moulés. Il suffit d'examiner la préparation à la lumière réfléchie : toutes les particules hyalines osseuses s'évanouissent en quelque sorte du champ, tandis que les grains plus ou moins opaques se montrent comme des points réfléchissant la lumière. Ces éclats osseux se distinguent aussi par leurs phénomènes de polarisation chromatique.

Signalons encore, parmi les restes organiques, la présence assez fréquente de dents microscopiques de Poissons dont la forme et la structure ne peuvent laisser aucun doute dans la détermination.

c) *Particules minérales.* Avant de passer à l'examen des particules que l'on prendrait de prime abord comme des grains amorphes et dont la détermination est plus difficile, disons que les éléments minéralogiques élastiques sont rares. On constate néanmoins quelques fragments anguleux de quartz mesurant environ un dixième de millimètre, des éclats de feldspaths monocliniques et tricliniques de la même dimension, plus ou moins kaolinisés, et quelques particules d'une roche schisto-cristalline que nous rapporterions au micaschiste.

On doit donc considérer les particules minérales comme jouant un rôle très subordonné dans la masse du phosphate de la Somme, comme on peut s'en convaincre du reste par le résidu de l'attaque aux acides qui forme à peine quelques centièmes de l'ensemble.

d) *Particules d'aspect amorphe.* Il n'en est pas de même des éléments dont nous allons parler; leur rôle est important, mais leur détermination exacte n'est possible, nous paraît-il, qu'en s'appuyant sur ce que nous montre l'examen des moules phosphatés de Foraminifères décrits plus haut. Les grains dont il est ici question ont à peu près la même dimension que les moules internes; ils offrent les mêmes caractères optiques, ils sont bordés par la même zone hyaline, le noyau est plus opaque, les linéaments qu'on y découvre sont plus vagues. Toutefois, une observation attentive ne manque pas de montrer, dans la généralité des cas, qu'ils sont eux-mêmes des moules internes, mais dont les traits caractéristiques sont plus ou moins effacés. Il en est qui laissent entrevoir vaguement la disposition des loges, d'autres ont conservé les contours des Foraminifères, d'autres enfin sont tellement modifiés par des actions postérieures, que toute trace de structure

interne ou externe est effacée; et cependant, même pour ces derniers, l'étude de toutes les formes de transition nous amène à considérer, à leur tour, la majorité de ces grains comme des moules internes de Rhizopodes.

Mieux que toutes les descriptions, la figure 2, où sont représentées les diverses formes de ces grains de phosphate avec les transitions qu'ils offrent, fera naître dans l'esprit du lecteur le rapprochement que nous venons d'indiquer.

e) *Concrétions microscopiques*. Signalons enfin, comme éléments assez fréquents, des petites concrétions phosphatiques plus ou moins circulaires à centre opaque ou brunâtre, environnées d'une série de zones concentriques d'une extrême minceur; elles sont transparentes, offrent la croix noire sphérolithique et doivent être envisagées comme des couches d'un phosphate plus pur, disposées successivement sur le noyau. Quelquefois ces concrétions microscopiques sont elliptiques, elles offrent deux ou plusieurs noyaux. On peut les considérer alors comme formées par la juxtaposition de deux concrétions ébauchées, cimentées et enveloppées ensuite par des zones communes.

Faisons ressortir l'analogie que présentent les zones externes de ces petites concrétions avec la couche hyaline qui recouvre comme d'un vernis les moules phosphatiques des Foraminifères.

D'autres formes, souvent en fuseau et généralement plus grandes que les concrétions dont nous venons de parler, se retrouvent aussi avec une certaine constance. Elles sont presque opaques, gris pointillé de noir; nous les rapportons, avec doute, à des restes coprolithiques d'Échinodermes.

On observe, en outre, une grande quantité de particules

plus petites que celles dont il a été question jusqu'ici, et parmi lesquelles on distingue des fragments de moules, de loges isolées de Foraminifères et d'autres fragments trop petits ou trop vagues pour permettre une détermination précise; mais tous sont phosphatiques, et ils ne peuvent être autre chose que des débris finement divisés des éléments précédents.

En terminant la description micrographique de l'élément phosphaté de la craie de Beauval et d'Orville, il est utile de faire remarquer que la craie grise de ces localités, qui n'a pas été soumise à l'enrichissement naturel, montre, outre les éléments que nous venons de décrire, tous ceux que l'on trouve d'habitude dans la craie blanche.

Phosphates de Ciply. — On sait que la craie brune de Ciply se divise par lévigation en une partie crayeuse (1), formant environ 75 % de la masse, et en un résidu phosphaté plus dense. La partie crayeuse possède tous les caractères d'une craie type et, lorsque la séparation des éléments denses a été complète, on n'y retrouve plus que des traces de phosphate et le résidu de l'attaque aux acides est insignifiant.

a) *Partie crayeuse.* L'examen microscopique confirme l'analogie complète de cette matière calcaire avec la craie. On y distingue, en effet, comme dans la craie, de

(1) Cette partie crayeuse est celle désignée par Melsens sous le nom de *folle farine*. (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 1874, 2^e série, t. XXXVIII, p. 25). Depuis, cette expression a été prise dans d'autres sens, et c'est pour éviter toute confusion que nous nous servons du terme *partie crayeuse*, comprenant sous ce terme les matières calcaires qui se séparent, au lavage, de la partie phosphatée.

nombreux Foraminifères intacts, des fragments de coquilles de Mollusques, d'Échinodermes, etc., et une masse amorphe calcaireuse, vase crayeuse qui provient de la trituration des coquilles calcaires. Cette partie crayeuse est de tous points semblable à la craie de Spiennes sous-jacente (fig. 15).

b) *Partie phosphatée.* Les éléments phosphatés, examinés en lumière réfléchie, sont formés de granules légèrement mamelonnés à la surface, à éclat résinoïde, semblables à ceux de la Somme, sauf que leur teinte est plus brunâtre et que les moules bien nets de Foraminifères y sont beaucoup moins nombreux. Ce rapprochement avec les grains phosphatés de Beauval et d'Orville se confirme par l'examen en lumière transmise, mais ici on constate encore une fois que les granules phosphatiques de Cibly sont plus vagues de forme, leur bordure transparente est moins développée, la partie centrale est plus opaque, elle offre un pointillé assez grossier allant du brun au noir.

Pour mieux juger de leur nature, il est nécessaire de leur faire subir un décapage à l'acide acétique. On ne manque pas alors de voir qu'un certain nombre de ces granules sont bien des moules internes de Foraminifères, identiques à ceux que nous avons décrits et figurés pour les phosphates de la Somme et du Pas-de-Calais. Dès qu'on a constaté ces formes, on n'hésite pas à en reconnaître des indices sur d'autres grains, où le caractère de moule interne est moins prononcé; il en est d'autres, enfin, sur lesquels on doit en quelque sorte deviner la nature primitive de moules internes, tant les actions moléculaires postérieures les ont effacés (fig. 8 et 9).

Au fond, les faits que nous constatons ici sont sensi-

blement les mêmes qu'à Beauval; mais, dans la craie brune de Cibly, ils apparaissent comme voilés, et ce n'est qu'en suivant toutes les transitions qu'on peut arriver à une détermination certaine de leur origine. C'est ainsi qu'on trouve dans la craie phosphatée que nous analysons des moulages d'une netteté et d'une intégrité parfaites; d'autres, plus nombreux, où la subdivision des loges est à peine marquée, les contours mal définis; d'autres, enfin, où la forme originelle est masquée au point qu'on prendrait ces particules pour absolument amorphes (fig. 8).

Ici, comme dans les phosphates de la Somme, on rencontre des concrétions microscopiques de phosphate à bord zonaire, assez large, hyalin, à centre noir ou brunâtre; elles peuvent présenter, comme dans les cas précédemment décrits, un ou plusieurs centres.

Les fragments osseux abondent dans les phosphates de Cibly. Ces éclats, ainsi que des dents microscopiques, sont mêlés aux grains bruns; ils sont absolument semblables à ceux que nous avons décrits plus haut, et leur rôle, comme quantité, est le même que dans les phosphates de la Somme (fig. 6 et 7).

L'observation que nous avons faite au sujet du peu de netteté des moules phosphatiques doit s'appliquer aussi, dans une certaine mesure, à certains de ces fragments osseux de très petites dimensions. Mais, en procédant par comparaison, on arrive bien vite à voir que ces éclats, de nature douteuse, doivent se ranger avec les particules si abondantes de tissu osseux de Poisson et de Reptile, où la structure intime est restée parfaitement empreinte.

Les particules minérales de la craie phosphatée de Cibly sont peu nombreuses; on n'y trouve que quelques

rare fragments de quartz et des fragments plus rares encore de feldspath.

Quant aux particules impalpables mêlées aux grains et aux éclats dont il vient d'être question, nous constatons qu'elles sont les mêmes que dans le phosphate de Beauval.

Somme toute, le phosphate en grains de Cibly est identique au fond, pour la nature des particules qui le constituent, à celui du gisement français auquel nous l'avons comparé, à la seule différence près que dans ce dernier on distingue mieux le caractère vrai des éléments constitutifs. Mais les faits sont les mêmes et nous mènent à la même conclusion relativement au mode d'origine.

Couches de la base. — Il reste à dire quelques mots d'autres roches phosphatées dépendant de la craie brune de Cibly. Nous avons vu plus haut que la craie de Spiennes forme un même terme stratigraphique avec celle de Cibly, renfermant les grains phosphatés dont il vient d'être question.

En descendant la série, on constate que, dans la partie supérieure de la craie de Spiennes, sont intercalés des lits de parties phosphatées qui n'offrent aucune particularité qui n'ait déjà été décrite. En même temps, ces couches renferment de nombreux silex bruns, quelquefois spongieux, et qu'on prendrait comme étant encore en voie de formation.

Des lames minces, taillées dans ces concrétions siliceuses, montrent que, sauf leur porosité, elles sont semblables, pour leur nature minéralogique et leur structure, à d'autres silex de la craie; ce qui les distingue surtout, c'est qu'elles empâtent des grains bruns phosphatés analogues à ceux décrits plus haut et qui prêtent à ces

masses siliceuses la couleur qui leur est propre. Outre ces grains bruns de phosphate, ces silex renferment tous les éléments constitutifs de la craie dans laquelle ils sont enchâssés. Ces faits sont une preuve nouvelle que le concrétionnement de la silice et sa cristallisation se sont faits après le dépôt, et qu'ils ont pris comme centres des débris de Spongiaires, quelquefois parfaitement reconnaissables, et dont les vides étaient déjà remplis au moment de la silicification par les matières sédimentaires, crayeuses et phosphatiques (fig. 13 et 14).

Signalons en passant que c'est dans ces couches à silex que se rencontrent les couches phosphatées d'Havré. Sauf que les grains sont un peu plus opaques et d'une couleur plus foncée tirant sur le vert, ce qui les fait ressembler à la glauconie, ces phosphates d'Havré ne présentent aucun trait caractéristique qui n'ait déjà été signalé dans la description précédente.

Couches supérieures. — A la partie supérieure des couches de la craie brune de Cibly, les grains phosphatés diminuent; la roche prend une structure plus grossière; elle est rugueuse, blanchâtre, et plusieurs lits de silex gris brunâtre y sont intercalés. Les bancs tout à fait supérieurs sont du calcaire sans mélange de phosphate. Au-dessous de ces couches on aperçoit quelques lits renfermant des grains de phosphate mêlés à des grains de glauconie.

Bancs durcis. — On sait que certains bancs de craie phosphatée durcie se trouvent au contact du tufeau de Cibly ou du poudingue de la Malogne. La craie brune apparaît en ces points durcie sur une épaisseur atteignant quelquefois un mètre. Nous avons soumis au microscope

des lames minces de fragments extraits de ces bancs, et nous avons pu constater qu'ils ne sont autre chose qu'une agglomération de tous les éléments de la craie brune cimentés par de la calcite qui a cristallisé en place. On distingue très bien de la masse qu'elles cimentent ces veinules de calcaire secondaire incolore, formé de granules cristallins juxtaposés; elles sillonnent les préparations et tranchent par leur limpidité sur les parties plus opaques ou colorées qu'elles agrègent (fig. 11).

On doit rattacher, dans ce cas, l'infiltration et la cristallisation du calcaire à l'émersion de ces bancs, durant laquelle les eaux atmosphériques qui les traversaient auront déterminé la cimentation de la roche.

Quelques bancs durcis, qui se rencontrent à la partie supérieure de certaines assises de la craie blanche du Hainaut, présentent au microscope les mêmes plages de calcaire de seconde formation.

Phosphates riches. — Ce qu'on a dit de la nature microscopique des grains phosphatés de Cibly peut s'appliquer à la lettre aux phosphatés enrichis de Mesvin-Cibly et d'Havré.

Phosphates du Cambrésis. — La craie à *Micraster costudinarium* du Cambrésis se compose d'une partie calcaire mélangée de nombreux granules de glauconie, de granules phosphatés et de fragments de quartz.

La lévigation ne sépare qu'imparfaitement les éléments calcaires des éléments d'autre nature qui les accompagnent. Mais en employant l'acide acétique dilué, on enlève le carbonate de chaux, et l'on obtient comme résidu les parties insolubles dans ce réactif.

Le *phosphate riche* du Cambrésis se présente avec tous les caractères de la craie grise ainsi décalcifiée.

La partie calcaire de la craie à *Micraster cor-testudinarium* du Cambrésis présente tous les éléments normaux d'une craie ordinaire : nombreux Foraminifères, fragments plus ou moins volumineux de coquilles et poudre impalpable formée d'éléments triturés.

Les fragments de quartz qui y sont mêlés sont assez nombreux, plus ou moins roulés.

La glauconie, très abondante, se présente sous deux aspects principaux bien distincts : d'abord en grains à surface arrondie, souvent fortement mamelonnée, où l'on entrevoit parfois des contours vagues de Foraminifères. On trouve ensuite la glauconie sous forme de cylindres ou de bâtonnets assez allongés, isolés ou réunis par un point commun. Ils dérivent, croyons-nous, de spicules de Spongiaires.

Les éléments phosphatés offrent également deux types bien différents. Comme dans le phosphate de la Somme, on y trouve des Foraminifères phosphatés très reconnaissables, quoique moins distincts que ceux de ce dernier gisement. Ils sont en tous cas beaucoup moins nombreux. Ils appartiennent aux mêmes genres que ceux de Beauval et Orville. Tous sont pourvus de cette zone externe concrétionnée que nous avons vue plus haut si bien développée. On trouve également beaucoup de loges isolées. Certains éléments obscurs doivent être rapportés à des formes effacées de Foraminifères.

Les petites concrétions formées d'une couche épaisse de zones claires concentriques entourant un noyau granuleux, que nous avons décrites et figurées à propos des craies de Cibly et de la Somme, existent également dans celle du Cambrésis.

A côté de ces restes plus ou moins distincts de Foramifères, on trouve en grand nombre des éléments analogues à ceux que nous avons déjà rencontrés ailleurs et rapportés à des fragments d'os. Leurs caractères se rapprochent de ceux de Cibly et de la Somme. Ce sont des plaques, des fibres, des éclats, incolores ou colorés en jaune ou brun plus ou moins foncé, ordinairement transparents. Ils sont opaques quand les canalicules, que présentent nettement certains d'entre eux, sont remplis d'une matière brun foncé, sans doute de nature organique.

Nous croyons pouvoir affirmer ici, comme pour Cibly et Beauval, que beaucoup de ces éléments sont des fragments d'os de Poissons. La présence de fragments osseux de Reptiles nous paraît moins établie.

La craie de Maisières et la craie glauconifère d'Osogne présentent une composition analogue à celle du Cambrésis. Les parties phosphatées y sont toutefois beaucoup moins abondantes. Leurs produits d'enrichissement par l'action des eaux météoriques ont aussi une composition voisine de celle des formations analogues du Cambrésis (1).

Nous nous proposons de revenir ultérieurement sur l'étude micrographique des roches de ces deux assises.

Phosphates de la Hesbaye et du pays de Herve. — Nos études sur ces phosphates sont les moins avancées. Nous avons l'intention d'y revenir bientôt avec détails, lorsque nous aurons pu nous procurer les éléments nécessaires. Il importe surtout d'être fixé sur les couches crétacées dont dérivent les phosphates riches.

(1) Rappelons que M. Stainier a déjà signalé ces analogies.

Les *nodules de Spongiaires, moules de fossiles* se rapprochent beaucoup de ceux du Hainaut. Les Spongiaires montrent souvent des traces très reconnaissables de la structure primitive. Dans les coupes de ces divers éléments on distingue un grand nombre de Foraminifères phosphatisés.

La pâte calcaire qui remplit les vides des fossiles contient un assez grand nombre d'éléments que nous déterminons comme fragments d'os.

Les phosphates sableux ou argileux montrent des granules phosphatés de nature assez vague, mais dont beaucoup nous semblent aussi être des concrétions formées autour de coquilles de Foraminifères, ou des débris de telles concrétions.

Les agents dissolvants qui ont donné lieu aux amas de phosphates riches de Hesbaye, ont altéré profondément la forme primitive des éléments dont ils dérivent, ce qui tend à les rendre méconnaissables.

Concrétions phosphatées — Après ce résumé succinct de nos observations micrographiques sur les craies phosphatées et les phosphates enrichis, il reste à décrire les concrétions phosphatiques volumineuses qu'on rencontre à divers niveaux dans la craie de nos régions.

Nous voulons parler ici des concrétions formées d'un mélange de carbonate et de phosphate de chaux développées *en place* au point où on les trouve. Elles sont comparables à celles qui se forment au fond des mers actuelles. Quand elles n'ont pas été remaniées par suite de la destruction des couches qui les empâtent, elles présentent un aspect extérieur et une structure qui excluent toute idée de formation par *roulement*. Nous voulons les opposer à de véritables galets ou cailloux roulés provenant de

l'action mécanique de la vague sur des fragments de roches préformées, et que l'on confond souvent avec les véritables concrétions sous le nom de nodules, etc. Les concrétions se sont ordinairement formées autour d'un reste organique plus ou moins reconnaissable, ou bien elles remplissent l'intérieur de fossiles testacés. Elles peuvent, il est vrai, avoir été remaniées, et dans ce cas on les trouve mélangées à des cailloux roulés, dont il est quelquefois assez difficile de les distinguer, les bancs émergés et les fragments qui en proviennent ayant ordinairement subi un enrichissement en phosphate qui tend à les faire ressembler à des concrétions formées *in situ*. D'autre part, les actions mécaniques tendent à donner aux concrétions des formes arrondies qui favorisent encore la confusion.

Nous tâcherons donc, dans ce qui suit, de distinguer les deux cas.

Le *tun* des environs de Lille, zone à *Micraster breviporus*, semble formé de fragments de craie remaniée (Gosselet, *Esquisse*). Les nodules sont couverts de Serpules, Huitres, Spondyles, etc. Il présente à Lézennes la disposition suivante (1).

1 ^{er} <i>tun</i> . — Nodules de phosphate de chaux réunis par de la craie glauconifère	0 ^m ,50
Craie sableuse glauconifère	2 ^m ,50
2 ^e <i>tun</i> . — Semblable au premier, à ciment moins glauconieux	0 ^m ,50
Craie grise sans phosphate	0 ^m ,20
3 ^e <i>tun</i> . — Nodules de phosphate dans de la craie grise pyriteuse	0 ^m ,50

(1) GOSSELET. *Leçons sur les Gîtes de Phosphate de chaux au nord de la France*. Lille, 1889.

La teneur en phosphate des nodules du tun serait variable et pourrait atteindre 10 à 15 % d'acide phosphorique (Savoie).

Nous nous proposons d'examiner la structure des nodules du *tun* dès que nous aurons pu nous procurer des échantillons sur les lieux.

Des concrétions phosphatées et des fossiles à moule interne phosphatisé, ordinairement disposés en lits, se rencontrent à diverses hauteurs dans la craie blanche du Hainaut, de la Hesbaye et de la France. Tantôt ils occupent une position telle, qu'ils ne correspondent à aucune émerision ni discordance de stratification. Mais souvent ils sont mêlés à des fragments de craie remaniée ou à des fossiles brisés; sur leur surface sont fixées des Serpules, Huitres, etc., et ils sont au sein d'une craie durcie. La présence de trous de lithophages vient aussi confirmer l'interruption de la sédimentation.

Les divers poudingues connus sous le nom de Poudingue de Cuesmes, de la Malogne, etc., doivent être envisagés comme de véritables conglomérats formés d'éléments roulés de roches plus anciennes. Ceux-ci, il est vrai, ont subi un concrétionnement secondaire qui les a enrichis en phosphate de chaux.

Des nodules de phosphate de chaux ont aussi été rencontrés dans le sable landenien recouvrant les poches de phosphate riche à Mesvin, etc. On en a même trouvé dans l'ergeron des mêmes localités. On doit aussi les considérer comme remaniés.

L'examen de ces concrétions se fait sur des lames minces; il n'a porté jusqu'ici que sur les nodules phosphatés qu'on trouve au contact de la craie de Saint-Vaast et de la craie de Trivières. Nous ne doutons pas qu'on ne retrouverait les

particularités que nous allons indiquer, si l'on étudiait les concrétions de même nature et de même aspect macroscopique signalées en plus ou moins grande abondance à d'autres niveaux de la craie, ou dans d'autres localités.

On peut dire d'une manière générale que les concrétions que nous avons examinées, sont toutes formées par l'agglomération des particules qui constituent le sédiment crayeux où ces nodules sont enchâssés. On y distingue au microscope des granules phosphatés, des parties crayeuses, coquilles de Foraminifères et leurs débris plus ou moins phosphatisés, le tout agglutiné par du phosphate concrétionné. Ces nodules mesurent souvent plusieurs centimètres; leur aspect extérieur est analogue à celui des concrétions phosphatées des mers actuelles. Le concrétionnement du phosphate s'est souvent opéré autour de débris de Spongiaires, quelquefois de moules de Brachiopodes, dont les formes sont encore bien discernables et permettent, sinon la détermination de l'espèce, au moins celle du genre auquel ces restes fossiles appartiennent.

C'est ainsi qu'on distingue aisément sur quelques-uns d'entre eux, et ce sont les plus fréquents, la forme externe des Spongiaires appartenant aux genres *Ventriculites*, *Astrocladia*, etc. Mais ces formes sont encroûtées par le phosphate concrétionné ou par les matières crayeuses qui les revêtent et les pénètrent de toutes parts. Bien souvent aussi toute forme organique paraît effacée et les nodules sont irréguliers, à contours arrondis. Leur surface est généralement recouverte d'un mince enduit légèrement lustré, jaunâtre, brunâtre ou vert sale. Ces concrétions sont dures (D.5), tenaces; elles donnent les réactions pyrognostiques du phosphate de chaux; d'ailleurs, les nombreuses analyses qu'on en a faites ne laissent pas de doute

à l'égard de leur composition chimique. Lorsqu'ils sont brisés ou sciés, on aperçoit à l'intérieur une masse d'aspect jaune rosâtre, presque toujours avec taches irrégulières de limonite vers le centre.

A l'œil nu, on ne voit guère de détails de texture, sauf quelques filaments blanchâtres. C'est l'examen microscopique qui permet de déceler leur structure intime.

Observés à de faibles grossissements, ces nodules se montrent constitués par tous les éléments du sédiment où ils se sont développés. On voit au premier coup d'œil que ce sont des agrégations de la vase crayeuse, qui avait envahi tous les vides des restes de Spongiaires ou Brachiopodes, et qui ont été cimentées en place par des infiltrations phosphatiques.

Le phosphate joue le rôle de ciment : il pénètre tous les creux, s'avance dans l'intérieur des sections de Foraminifères et prend quelquefois la place de masse fondamentale en pseudomorphisant le carbonate de calcium des éléments crayeux. On distingue le phosphate à sa couleur jaune brunâtre ; il est généralement concrétionné, n'éteint pas uniformément entre nicols croisés. On le voit formant de larges plages, d'où se détachent des sections d'organismes calcaires ; ces parties phosphatées sont caractérisées par une certaine opacité, due à l'inclusion d'une foule de particules noirâtres ; c'est à peine si l'on entrevoit une structure dans cette masse fondamentale. Mais sur les bords et dans les vides, on observe une zone affectant nettement les caractères des phosphates de chaux concrétionnés.

Sans vouloir entrer dès maintenant dans l'interprétation des faits, disons cependant que les choses se présentent comme si la masse fondamentale, s'étant solidifiée en con-

centrant la matière pigmentaire organique et minérale du sédiment primitif, avait laissé subsister des solutions de continuité qui ont été remplies par des infiltrations de phosphate plus homogène, de matière plus pure, transparente, légèrement jaunâtre, à contours curvilignes et à structure fibroradiée. Ces faits sont à rapprocher évidemment de ceux constatés pour la partie interne et la zone externe des moules de Foraminifères phosphatisés.

Ces nodules sont remplis de restes d'organismes, surtout de coquilles de Foraminifères. Dans les lames minces, on les distingue nettement à leur forme et quelquefois aussi à la matière calcaire incolore qui les constitue. La partie occupée autrefois par le sarcode est remplie aujourd'hui par du phosphate qui s'est infiltré dans les coquilles par les solutions de continuité.

Le dépôt de phosphate dans l'intérieur des enveloppes calcaireuses est associé à celui d'une substance pigmentaire brunâtre plus opaque, formée d'oxyde hydraté de fer associé à une matière organique. Cette infiltration du phosphate ne s'est pas toujours bornée à un remplissage du creux laissé par la matière organique des Foraminifères. Souvent on constate une pseudomorphose du calcaire en phosphate. D'après l'épaisseur ou la structure de ces parois, cette épigénie est plus ou moins avancée; fréquemment la texture primitive de la coquille est entièrement effacée par la pseudomorphose.

On pourrait résumer ainsi les observations précédentes sur la nature et la structure de ces nodules : le centre d'attraction du phosphate est un débris organique dont la forme est plus ou moins effacée. Dans les vides où s'était accumulée la vase crayeuse, on voit le phosphate de chaux sous deux formes bien distinctes : l'une presque entière-

ment amorphe, peut-on dire, l'autre concrétionnée, cimentant les éléments crayeux et se substituant d'une manière plus ou moins complète au carbonate de calcium, qui constituait à l'origine les coquilles de Foraminifères et leurs débris (fig. 16 et 19).

Poudingue de Cuesmes et poudingue de la Malogne. — On rencontre à la base de la craie brune phosphatée et à la base du tuffeau de Cibly qui la surmonte, des amas de cailloux roulés, connus sous le nom de poudingue de Cuesmes et de poudingue de la Malogne.

Les roches qui les constituent contiennent généralement une forte proportion de phosphate de chaux. Ce sont des éléments remaniés des roches crétacées sous-jacentes.

Nous y avons reconnu au microscope des fragments de craie blanche remaniée, des nodules phosphatiques semblables à ceux que nous venons de décrire, des moules phosphatisés des fossiles de la craie blanche, des fragments des bancs durcis de la craie de Cibly, dont nous avons fait connaître la structure, enfin les moules phosphatisés des fossiles de la craie brune (fig. 12, 17, 18). Ajoutons qu'on y trouve en outre des éléments, moules de fossiles et fragments de roches, dont le gisement primitif est plus incertain.

On constate que tous ces éléments ont subi un enrichissement en phosphate et que plusieurs d'entre eux sont revêtus comme d'un vernis phosphatique de formation secondaire, sur lequel nous aurons à revenir.

Conclusions. — Nous nous sommes bornés jusqu'ici à établir les faits : nous avons indiqué d'une manière générale les conditions de gisement et la nature, telle que nous

l'a montrée le microscope, des diverses catégories de phosphates que nous nous étions proposé de décrire. Nous n'avons pas voulu, à dessein, dans la partie précédente de ce travail, nous écarter d'une analyse que nous nous sommes efforcés de faire avec toute l'exactitude que nous pouvions y apporter. Après cette constatation de faits, sur lesquels ne peuvent s'élever de doutes légitimes, croyons-nous, pour les phosphates que nous avons examinés en détail, comme ceux de la Somme, du Pas-de-Calais et des environs de Mons, il reste à exposer succinctement l'interprétation que nous sommes amenés à adopter pour expliquer l'origine de ces phosphates. Étant donnés les faits nouveaux et inattendus sur lesquels nous pouvons nous appuyer, nous devons nous placer à un point de vue différent de celui auquel on s'est mis pour apprécier la formation des phosphates de la craie.

Origine des nodules. — Examinons d'abord le mode de formation des nodules phosphatiques de grande dimension, et disons tout de suite que, dans notre manière de voir, nous les considérons comme formés en place (1), à moins toutefois que les conditions de gisement ou les caractères externes ne nous indiquent qu'ils sont remaniés.

(1) Il y a, comme on l'a dit, une restriction à faire pour certains nodules qui sont des fragments de craie blanche remaniée; par exemple, les nodules que l'on rencontre en certains endroits de la base de la craie grise à *Belemnitella quadrata* de la Somme. On comprend aussi, si l'on tient compte des conditions que nous admettons pour expliquer la formation de la craie, que bien des nodules des couches crayeuses peuvent être roulés.

Pour expliquer l'origine du phosphate de chaux qui constitue les concrétions, nous pouvons écarter l'hypothèse d'un apport direct de l'intérieur du globe; rien dans les conditions du gisement ne nous indique que ce soient des sources ou des émanations internes qui ont apporté le phosphate des nodules; rien non plus n'autorise à y voir un dépôt de l'eau de mer sans l'intervention préalable des organismes qui sécrètent le phosphate. Ce sont ces derniers dont la décomposition doit être envisagée comme la source *immédiate* du phosphate des concrétions. Ces débris d'êtres organisés et les produits phosphatés qui, sous la forme d'excréments, de tissus décomposés, viennent se mêler aux matières sédimentaires, subissent, longtemps même après le dépôt, les réactions chimiques qui s'accomplissent sous l'action de l'eau de mer ou des eaux infiltrées. Les matières phosphatées d'origine organique doivent, tout au moins au même titre, subir l'altération à laquelle n'échappent pas les substances auxquelles elles sont associées. En admettant, comme nous l'avons fait (1), que la matière phosphatée dissoute soit douée de la propriété des corps colloïdes, on comprend qu'elle soit faiblement retenue en solution et qu'il suffise qu'un centre de concrétionnement exerce son action pour la précipiter. Or, les observations de nos devanciers et celles que nous avons pu faire montrent que ce phosphate est attiré vers les substances organiques : de là le fait que nous constatons si souvent, que la charpente du nodule est un Spongiaire ou une coquille de Brachiopode; de là l'enrichissement en phosphate, si fréquem-

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 5^e série, t. XVIII, p. 644, n^o 42, 1889.

ment constaté dans les organismes fossiles dont les parties dures renferment ce corps. Ceci nous est encore prouvé par l'infiltration du phosphate de chaux à l'intérieur des Foraminifères et la pseudomorphose plus ou moins complète de leurs coquilles calcaires en phosphate. Ces débris d'organismes accumulés dans les sédiments crayeux possèdent encore de la substance organique. Celle-ci doit exercer sur le phosphate une action attractive qu'on peut considérer comme un écho affaibli de celle qu'exerce sur ce corps la matière vivante. Dans les sédiments qui renferment ces nodules, il se passe des phénomènes de décomposition chimique, dont les concrétions siliceuses nous présentent un exemple remarquable. De même que la silice se concentre et se concrétionne, de même nous admettons que le phosphate de chaux, mis en liberté par la dissolution des matières phosphatées disséminées dans les couches voisines, vient se grouper et se concrétionner autour de certains centres qui servent de noyau. Une fois cette première couche déposée, elle agit comme centre d'attraction, et elle groupe autour d'elle, à mesure que les dissolvants les lui fournissent, toutes les molécules de la même matière qui se trouvent dans son rayon d'action. C'est ainsi que, par des apports successifs, se forment en place, dans des sédiments accumulés en couches, mais encore doués d'une certaine plasticité, les nodules que nous avons décrits. Leur développement peut se poursuivre longtemps encore après le dépôt des masses sédimentaires qui les renferment.

Origine des phosphates en grains. — Cette interprétation peut-elle s'appliquer tout entière aux grains de

phosphate isolés dans la craie, ou accumulés sous la forme de granules libres dans certains lits de ce terrain, ou enfin accumulés dans les poches à phosphate enrichi?

Nous avons constaté tout à l'heure que c'est à l'intérieur des coquilles de Foraminifères que se fait de préférence le dépôt de matière phosphatée, et le nombre prodigieux de moules de ces organismes que nous avons observés dans le phosphate en grains apporte une preuve nouvelle à cette assertion. Mais peut-on admettre que chacun de ces Foraminifères isolés, transformé en moule phosphatique, ait en quelque sorte joui pour lui seul du privilège d'attirer le phosphate à l'exclusion de milliers d'autres au milieu desquels il se trouve, et qui sont restés purement et simplement à l'état de craie blanche? On comprend qu'une concrétion doive commencer par un point, mais qu'elle se soit arrêtée à la limite de ce centre, comme c'est le cas pour des milliards de moules de Rhizopodes, ce fait nous semble infiniment peu probable.

Tenons d'ailleurs en vue le mode de gisement des granules phosphatés. Ils forment quelquefois, au sein des couches de craie, des lits d'épaisseur variable, d'étendue irrégulière, s'amincissant aux extrémités, conditions qui sont peu favorables, croyons-nous, à l'interprétation qui tendrait à y voir des dépôts phosphatés formés en place. Ces conditions sembleraient indiquer au contraire une accumulation sous l'influence d'agents de transport dont l'activité se serait exercée avec une intensité variable. Nous serions amenés ainsi à faire entrer en jeu, dans la dissémination de ces grains, l'action mécanique des eaux marines. Cette manière de voir est appuyée d'une manière concluante par la présence de cette prodigieuse quantité

d'éclats d'ossements de dimensions microscopiques, dont nous avons appris à connaître la présence constante dans les craies phosphatées. On ne peut hésiter un instant à voir dans ces particules osseuses des débris triturés de squelettes de Poissons et de Reptiles. L'examen microscopique nous les montre comme clastiques, et d'ailleurs nous ne comprendrions pas comment, sans actions mécaniques, ces restes de vertébrés se seraient transformés en cette poussière osseuse au fond d'une mer dont les eaux seraient aussi calmes et tranquilles que celles des couches océaniques aux grandes profondeurs, loin des côtes.

Des travaux récents tendent à prouver que la supposition admise autrefois relativement au mode de formation de la craie n'était pas fondée. Au lieu d'y voir un dépôt pélagique, c'est-à-dire formé à des points où les actions de transport ne font plus sentir leurs effets en raison de la distance à la côte, on peut admettre qu'au moins certains sédiments crayeux se sont déposés dans des mers peu profondes et à des points relativement rapprochés des rivages. Dans ces conditions, les particules osseuses dont nous parlions tout à l'heure peuvent très bien avoir été entraînées et mélangées aux coquilles de globigérines et d'autres organismes qui se disposaient plus au large. On sait, en effet, que des matières arrachées aux continents ou formées sur les côtes peuvent venir s'accumuler dans les vases à globigérines en voie de formation dans la zone littorale profonde, à des distances du rivage qui dépassent 300 à 400 kilomètres.

Pour que ce transport se fasse de la côte à cette distance, en des points où peut déjà se déposer une craie pure, une des conditions essentielles, c'est la dimension

des particules. On sait, d'après les expériences de Daubrée, qu'un grain de quartz d'un dixième de millimètre est condamné à flotter indéfiniment dans les eaux agitées. Or, les particules osseuses sont justement dans ces conditions favorables de transport, et nous constatons, en outre, que les moules de Foraminifères, qui ont la même composition et par conséquent la même densité que ces éclats de tissu osseux, possèdent aussi des dimensions moyennes qui ne dépassent guère 0,1 millimètre.

Nous avons dit tout à l'heure qu'il existe des raisons tirées des conditions de gisement qui paraissent plaider en faveur d'un transport pour ces moules phosphatés et ces granules isolés. Nous venons de voir que les motifs qui militent en faveur des particules osseuses comme éléments clastiques et d'origine côtière peuvent être invoquées, presque au même titre, pour interpréter la présence de ces granules dans la vase crayeuse. Nous sommes donc amenés à voir dans ces deux éléments des matières qui dérivent de points situés près du rivage, et nous allons montrer que cette hypothèse, justifiée par les faits qui précèdent, peut nous mener à l'interprétation rationnelle de l'origine immédiate de ces phosphates.

L'exploration des mers profondes a mis hors de doute que, si la vie abonde dans l'océan, c'est surtout sur les côtes, dans les eaux basses, qu'elle se développe avec une fécondité incomparable. Si l'on tient compte maintenant de cette prodigieuse accumulation de fragments microscopiques d'ossements de Vertébrés, on doit admettre, comme le prouve d'ailleurs leur charriage, qu'une faune très riche se développait alors sur les rivages de la mer crétacée.

Ces Poissons et ces Reptiles livraient, par la décomposi-

tion de leurs tissus et de leur squelette, par leurs excréments, des matières phosphatées qui, dissoutes dans l'eau de mer et imprégnant la bouillie sédimentaire, devaient se concentrer, sous la forme de phosphate, dans l'intérieur des organismes microscopiques, comme nous le constatons dans les dépôts crayeux des mers actuelles. Or, tout nous porte à admettre qu'à l'époque crétacée les Rhizopodes calcaires prédominaient sur toute la surface des mers, qu'ils existaient aussi bien près des rivages qu'au large et en haute mer. Il se déposait donc sur la côte même une vase crayeuse peu mélangée d'éléments minéraux, et dans ces coquilles s'infiltraient, comme nous le voyons pour les vases à globigérines actuelles, les matières phosphatées produites par l'accumulation des résidus de la faune qui vivait sur les rivages. Nous admettons donc que le moulage s'est fait près des côtes et que plus tard les courants, les marées et les vagues, après avoir réduit en poussière les débris d'ossements, les entraînaient avec les moules phosphatiques qui allaient se déposer ensemble jusqu'aux points où s'étend la limite du pouvoir de transport; ils s'y mélangeaient à la vase calcaire, formée en partie d'une masse crayeuse clastique, en partie de Globigérines et d'autres Foraminifères habitant la haute mer, et dont les dépouilles s'accumulaient au milieu des éléments de transport.

Dans cette masse sédimentaire, les actions chimiques, dont on retrouve des traces incontestables dans la formation des silex, par exemple, ont continué de s'exercer. C'est là qu'elles ont déterminé la formation en place des nodules et, suivant toutes probabilités, c'est là aussi que, sous l'action d'eaux dissolvantes, des particules phosphatées ont livré la substance qui forme les minces enduits

recouvrant les moules et, dans certains cas, les fragments de phosphates remaniés.

Qu'il nous soit permis, en terminant cette notice, de présenter nos remerciements à plusieurs géologues et industriels dont l'obligeance nous a mis en possession de nombreux échantillons de diverses provenances ou de données sur les gisements. Nous sommes particulièrement reconnaissants des services que nous ont rendus MM. Lemonnier, Max et Paul Lohest, Stainier, Morimont et Denys.

Gand, janvier 1891.

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

FIG. 1. *Craie phosphatée de la Somme.* — Moules phosphatiques de Foraminifères avec enduit transparent; entre ces moules, poussière provenant de leur trituration et petits fragments d'os. *oc. 2, obj. C. Zeiss.*

FIG. 2. *Craie phosphatée de la Somme.* — Moules phosphatiques de Foraminifères moins nets, concrétions microscopiques de phosphate à centre opaque. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 3. *Craie phosphatée de la Somme.* — Eclats microscopiques d'ossements de Reptiles et de Poissons. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 4. *Craie phosphatée de Ciplty.* — Tranche mince d'une vertèbre de Poisson. *oc. 2, obj. D.*

FIG. 5. *Craie phosphatée de Ciplty.* — Tranche mince d'une vertèbre de Reptile. *oc. 2, obj. D.* Les figures 4 et 5 ont été dessinées

pour montrer l'analogie de structure entre les ossements fossiles de Reptiles et de Poissons trouvés dans les mêmes couches et les éclats de tissu osseux représentés par la figure 5.

FIG. 6. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Éclats microscopiques d'os de Poissons. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 7. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Éclats microscopiques d'os de Reptiles *oc. 2, obj. C.*

FIG. 8. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Moules phosphatiques de Foraminifères. *oc. 2, obj. C.*

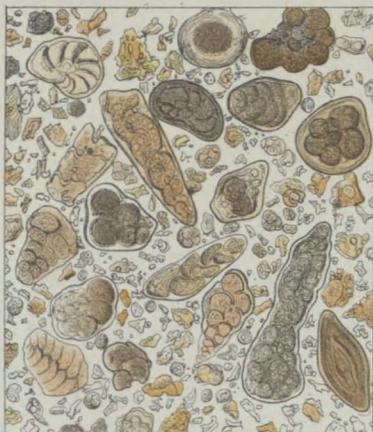
FIG. 9. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Moules phosphatiques de Foraminifères moins nets et concrétions microscopiques de phosphate à centre opaque. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 10. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Coupe mince dans la *craie brune*, montrant la masse fondamentale crayeuse où sont enclavés les grains phosphatiques gris noirâtre presque opaques ou jaunâtres avec enduit transparent incolore. *oc. 2, obj. C.*

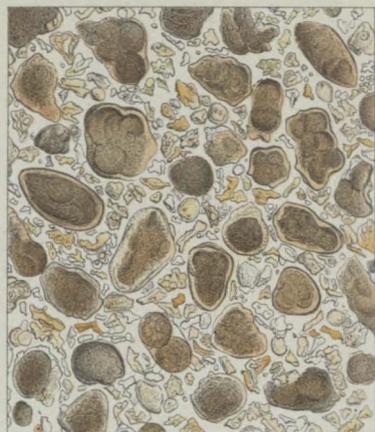
FIG. 11. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Coupe mince des *Bancs durcis*, montrant la masse fondamentale crayeuse et les grains phosphatés jaunâtres ou grisâtres, ainsi que les filonnets incolores de calcite cristallisée, transparente, qui cimentent les éléments crayeux. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 12. *Poudingue de la Malogne.* — Coupe mince d'un caillou remanié provenant des *Bancs durcis*; elle offre la même microstructure que la figure précédente, sauf que la calcite de seconde formation est mieux représentée, *oc. 2, obj. C.*

FIG. 13. *Craie phosphatée de Ciplly.* — Coupe mince d'un silex provenant de la base de la craie phosphatée de Ciplly, montrant dans de la silice concrétionnée des grains phosphatiques bruns et noirs, opaques, *oc. 2, obj. C.*



1.



2.



3.



9.

8.



4.

5.



6.

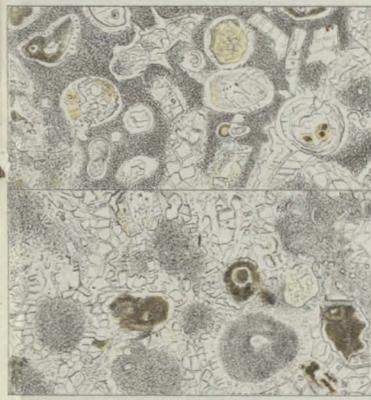
7.



10.



15.



12.



16.

17.



13.

14.



18.

19.

FIG. 14. *Craie phosphatée de Ciply.* — Coupe mince d'un Spongiaire rempli de silice concrétionnée et renfermant des grains bruns de phosphate, *oc. 2, obj. C.*

FIG. 15. *Craie de Spiennes.* — Coupe mince de la craie, montrant la poussière crayeuse des sections de Foraminifères et quelques grains jaunâtres phosphatiques. A comparer avec la craie phosphatée de Ciply (fig. 10, *oc. 2, obj. C.*).

FIG. 16. *Craie de Spiennes.* — Coupe mince d'un Spongiaire phosphatisé; dans une masse fondamentale crayeuse et siliceuse, infiltrations jaunâtres de phosphate concrétionné, *oc. 2, obj. C.*

FIG. 17. *Poudingue de la Malogne.* — Coupe mince d'un nodule phosphatique formé par un moule de Térébratule. La figure montre que ce moule est formé par de la craie avec infiltrations de phosphate jaunâtre. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 18. *Poudingue de la Malogne.* — Coupe mince d'un nodule phosphatique formé par une concrétion remaniée de la craie blanche de Saint-Vaast. *oc. 2, obj. C.*

FIG. 19. *Craie de Saint-Vaast.* — Concrétion phosphatique formée de craie blanche avec phosphate jaunâtre infiltré. *oc. 2, obj. C.*

