

# LEÇONS

SUR LES

## GITES DE PHOSPHATE DE CHAUX

DU NORD DE LA FRANCE

*professées à la Faculté des Sciences de Lille le Jeudi 29 Novembre  
et 6 Décembre 1889*

PAR

M. J. Gosselet, Professeur.

L'importance considérable que prend l'exploitation du Phosphate de chaux dans nos environs et même dans notre département, les nombreux intérêts industriels et agricoles qui s'y rattachent, m'engagent à ajouter à l'étude du terrain crétacé deux leçons consacrées à l'examen du Phosphate de chaux.

Je n'ai pas la prétention d'indiquer de nouvelles exploitations et de guider les recherches ; mon rôle doit être plus modeste : Faire connaître l'état actuel de la science ; préciser les conditions dans lesquelles on rencontre le phosphate ; empêcher les chercheurs de s'égarer et peut-être les mettre sur la voie de nouvelles découvertes, tel est uniquement mon but.

Je commencerai par l'étude des gîtes les mieux connus. J'ai pour me guider un ouvrage très important (1) qui vient d'être publié par un savant qu'un long séjour parmi nous et l'importance de ses services avait fait notre compatriote et dont le départ est encore vivement senti.

**Phosphates de Lille.** — Le phosphate de chaux le plus voisin de nous est celui qui constitue la couche désignée aux environs de Lille sous le nom de *tun*. Sous la craie, qui a été exploitée aux grandes carrières de Lezennes pour la construction des anciennes maisons de Lille, on rencontre :

1<sup>er</sup> *tun*. — Nodules de phosphate de chaux réunis par de la  
craie glauconifère . . . . . 0<sup>m</sup>,50

(1) A. OLRV. — Le Phosphate de Chaux et les établissements Paul Dessailly, Paris. 1889.

Craie sableuse glauconifère . . . . .	2	50
2 <sup>e</sup> tun. — Semblable au premier, à ciment moins glauconieux . . . . .	0	50
Craie grise sans phosphate. . . . .	0	20
3 <sup>e</sup> tun. — Nodules de phosphate dans de la craie grise pyriteuse. . . . .	0	50

Les nodules de tun sont un mélange de phosphate et de carbonate de chaux. Ils renferment, d'après M. Savoye, de 10 à 15 p. c. d'acide phosphorique. Peut-être cette quantité est-elle un peu exagérée; d'après certains renseignements, elle serait variable.

La couche de tun couvre une assez grande surface aux environs de Lille; mais elle ne paraît pas s'étendre au delà d'un certain rayon.

Les fossiles du tun sont encore bien peu connus. M. Cayeux, préparateur du cours de géologie à la Faculté des sciences, est occupé à les déterminer. Il y a reconnu en assez grande abondance le *Micraster breviporus*.

**Phosphates de la Somme.** — Il y a un peu plus de deux ans, on découvrit aux environs de Doullens (Somme), des gîtes de phosphate d'une richesse telle que le prix des terrains s'éleva subitement dans des proportions colossales. Il y eut des parcelles vendues au taux de 500,000 fr. l'hectare.

Le phosphate de chaux de la Somme se trouve dans trois conditions différentes.

1<sup>o</sup> Disséminé en petits cristaux ou en petits grains bruns dans la craie, à laquelle ils donnent une couleur grise. Cette craie grise, qui contient 12 0/0 d'acide phosphorique, n'est pas la même que celle qui accompagne le tun à Lezennes. Elle contient un fossile bien connu : *Belemnitella quadrata* et l'on sait que le niveau à *Belemnitella quadrata* est séparé du niveau à *Micraster breviporus* par plus de 100 m. de craie blanche.

2<sup>o</sup> En nodules de la grosseur d'une noix constituant çà et là un petit lit de 10 à 45 centimètres d'épaisseur à la base de la craie grise. C'est une formation toute locale dont je n'aurais rien dit, si elle ne rappelait pas le tun de Lezennes.

La craie grise et les nodules ne sont pas exploités.

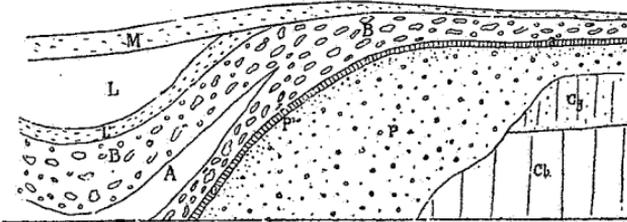
3<sup>o</sup> A l'état de sable. Ce sont les grains de phosphate de la craie qui ont été isolés et séparés du carbonate de chaux. Ces sables renferment 25 à 40 0/0 d'acide phosphorique. Ils sont contenus dans des poches irrégulièrement coniques, creusées à la surface de la craie et dont la profondeur atteint jusqu'à 10 à 20 mètres. Ils ne remplissent pas complètement les poches; ils se bornent à en tapisser les parois; il peut même arriver qu'ils manquent au fond. Le centre de la poche est rempli

par de l'argile jaune avec gros silex, dite bief à silex, dont l'âge n'est pas encore déterminé. Il arrive que la partie supérieure du sable phosphaté est coloré en jaune par des infiltrations de l'argile du bief.

De cette disposition on peut conclure que le sable phosphaté a constitué à une certaine époque une couche régulière à la surface de la craie. Il s'était formé sous l'influence du ruissellement des eaux pluviales, par lavage de la craie grise, dissolution et entraînement du carbonate de chaux. Les grains de phosphate plus lourds étaient roulés dans les parties les plus basses du sol crayeux, où ils finissaient par s'accumuler. Plus tard ce sable phosphaté fut recouvert par de l'argile mélangée de silex provenant de la destruction des collines crayeuses voisines.

Les poches furent creusées ultérieurement, après le dépôt du bief à silex par l'infiltration des eaux pluviales qui dissolvaient le carbonate de chaux de la craie. De telles poches existent partout à la surface de la craie et des calcaires en général. Il y a dix ans que j'ai donné avec M. Boussinescq l'explication de leur mode de formation (1). J'ai même cité comme exemple les poches contenant le phosphate riche à Mons.

*Coupe d'une poche de sables phosphatés de l'exploitation Solvay à Orville.*



- Cb Craie blanche.
- Cg Craie grise.
- P Sable phosphaté.
- P' Partie supérieure du sable phosphaté, noircie par des particules charbonneuses.
- a Petite couche d'argile ferrugineuse et charbonneuse ; trace d'un ancien sol végétal.
- B Bief à silex.
- A Argile grise intercalée dans le bief à silex.
- L Limon jaune clair.
- L' Limon avec éclats de silex.
- M Limon jauné foncé avec éclats de silex ; limon de lavage.

(1) L'argile à silex de Vervins. *Ann. Soc. géol.* VI, p. 317. 1879.

On comprend que les gites de sable phosphaté ne puissent exister que dans le voisinage de la craie grise à *Belemnitella quadrata*. Or cette craie est assez locale ; il est peu probable qu'elle ait couvert toute la Picardie. A l'époque où elle se déposait, la mer crétacée était beaucoup plus restreinte qu'à l'époque où s'est formée la craie blanche. De plus, lors des ravinements prétertiaires ou quaternaires, une partie considérable de la craie grise et des sables phosphatés a dû être enlevée.

Enfin certains accidents stratigraphiques ont contribué à limiter les dépôts de phosphate. Les sables phosphatés ont été reconnus par masses de quelques hectares d'étendue, disséminées sur une ligne presque droite, qui va de Doullens à Albert. Leur limite occidentale correspond à une faille qui a ramené au niveau du sol des couches de craie blanche beaucoup plus basses que la craie grise. On voit vers cette limite orientale la craie grise s'enfoncer vers la faille avec une inclinaison de 15 degrés. Il y a d'autres failles plus petites dans l'intérieur des exploitations ; elles ont pour effet de remonter la craie blanche au niveau de la craie grise qu'elles font disparaître. Mais le sable phosphaté s'étend indifféremment sur les deux craies, ce qui prouve qu'il est postérieur aux failles. Il est probablement aussi postérieur à la grande faille orientale ; il pourrait donc s'étendre un peu au delà, sur la craie blanche.

**Phosphates de Mons.** — Il existe aussi aux environs de Mons une craie pulvérulente remplie de petits grains bruns qui sont du phosphate de chaux. La roche est d'un gris brunâtre, on lui donne le nom de craie brune ; auprès de Saint-Symphorien, elle a une couleur presque noire. Elle ne contient que 10 à 12 % d'acide phosphorique, mais comme elle est très tendre, on est arrivé par des procédés mécaniques à enlever une partie du carbonate de chaux et par conséquent à l'enrichir en phosphate ; ce qui permet de l'utiliser industriellement.

La craie brune de Mons est caractérisée par de nombreux fossiles : on peut citer en particulier *Pecten pulchellus*, *Belemnites mucronatus*, etc.

La craie brune est surmontée soit par un calcaire non crayeux à grains plus grossiers dont on a rangé une partie dans le Crétacé, sous le nom de tuffeau de Cibly et l'autre dans le tertiaire avec l'appellation de calcaire grossier de Mons. Récemment deux savants belges, MM. Rutot et Van den Broeck ont montré qu'il fallait réunir le tuffeau de Cibly au calcaire grossier de Mons.

La quantité de phosphate diminue dans le bas de l'assise, qui passe à une craie grisâtre, rude au toucher (craie de Spiennes). En dessous on

trouve la craie blanche à *Magas* et à *Belemnites mucronatus*, puis la craie à *Belemnites quadratus*. La craie phosphatée de Mons est donc plus récente que la craie phosphatée de la Somme. MM. Cornet et Briart ont estimé à 200 mètres l'épaisseur de craie qui sépare le niveau à *Pecten pulchellus* du niveau à *Belemnites quadratus*.

Le calcaire grossier de Mons est lui-même surmonté par des sables verts grossiers et argileux appartenant au terrain tertiaire.

La surface du terrain crétacé, qu'elle soit formée par le calcaire grossier, la craie brune ou la craie blanche, est creusée de poches irrégulières, plus ou moins profondes, qui sont remplies de sable vert.

L'origine de ces poches est celle que j'indiquais tout à l'heure pour les poches de la craie de la Somme. Elles ont été creusées par les eaux pluviales, qui s'accumulaient en certains endroits, passaient au travers des sables verts, dissolvaient le carbonate de chaux de la craie et laissaient sur place, comme résidus, les substances insolubles qui étaient mélangées à la craie. Sur la craie blanche le résidu était presque nul; sur le calcaire grossier, c'était du sable; et sur la craie brune c'était du phosphate (1). On y trouvait donc, tout faits, ces phosphates riches que l'industrie crée à tant de frais.

Vous voyez dans quel concours de conditions ils se rencontraient.

Ils ne pouvaient se trouver que là où la craie brune était près de la surface du sol, de manière à ce que les eaux pluviales puissent l'atteindre avant d'avoir perdu tout leur acide carbonique, là, où une couverture de sable vert avait permis à l'eau de séjourner et avait empêché que les résidus ne fussent entraînés par le ruissellement; là, où la présence de quelques cailloux à la base des sables verts déterminait, par une sorte de drainage, l'accumulation des eaux pluviales corrodantes (1).

Le sable phosphaté tapisse les poches sur une épaisseur de quelques centimètres. Provient-il uniquement de la craie qui a été dissoute pour la formation de la poche, ou y avait-il déjà, au commencement de l'âge tertiaire, avant la formation du sable vert, des endroits où s'était déposée une petite couche de phosphate entraînée par les eaux pluviales?

C'est ce qu'une étude attentive des poches eût seule permis de dire. Actuellement elles ont toutes été vidées. Il est donc peu probable que le problème puisse être résolu. Toutefois eu égard à la richesse de la craie brune, à la forme cylindrique et étroite des poches, je crois que le phosphate riche était un résidu fait sur place.

(1) *Ann. Société géologique du Nord*, XI, p. 366, 1884.

La craie grise n'est pas le seul gîte de phosphate des environs de Mons ; ce n'est pas le plus anciennement exploité. Entre la craie grise et le tuffeau, il y a un banc de poudingue, le poudingue de la Malogne, dont les galets sont composés d'un mélange de phosphate et de carbonate de chaux ; un autre poudingue de même nature se rencontre aussi localement à la base de la craie grise. Cornet et Briart lui ont donné le nom de *Poudingue de Cuesmes*.

Pendant plusieurs années on a exploité les galets de ces poudingues comme phosphate de chaux.

Nous avons à nous poser à leur sujet une question scientifique importante : Quelle est leur origine première ? Ce sont évidemment des nodules comparables aux nodules de notre tun, qui ont été isolés, brisés, roulés et arrondis par les vagues ; mais il s'agit de retrouver la roche à laquelle ils ont été enlevés. Tant qu'on n'a connu que le poudingue de la Malogne, on a pu supposer que le phosphate de chaux formait à la partie supérieure de la craie brune un ou deux bancs cohérents, qui avaient été détruits avant la formation du tuffeau ; mais la découverte du poudingue de Cuesmes força à considérer la roche phosphatée dont viennent les galets comme plus ancienne que la craie brune. Elle était complètement inconnue lorsque, il y a peu de temps, M. Lemonnier découvrit dans un puits à Cibly, à la partie supérieure de la craie blanche, un banc de craie avec nodules de phosphate contemporains.

C'est là l'origine des galets du poudingue. Ce banc de craie blanche aura été détruit presque partout sous l'influence des vagues et peut-être à l'érosion pluviale ; la craie était délayée ou dissoute, tandis que les éléments plus durs auront été roulés, transformés en galets et accumulés sur la rive.

**Phosphates du Cambrésis.** — Je puis maintenant aborder l'étude des gîtes de phosphate de chaux du Cambrésis. Je le puis d'autant mieux qu'ils viennent d'être l'objet d'observations toutes récentes de la part de M. Ladrière (1).

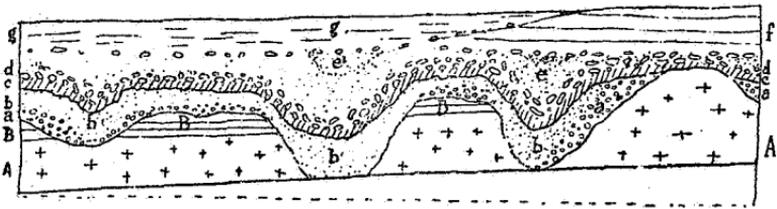
Le gîte de phosphate de chaux du Cambrésis est très analogue à celui de la Somme ; mais il n'est pas du même âge. Il y existe comme dans la Somme un banc de craie grise qui doit sa couleur à ce qu'elle contient de la glauconie et des grains brunâtres de phosphate de chaux.

(1) Depuis lors, il a paru sur les phosphates du Cambrésis une petite note de M. Stainier, ingénieur belge. Les observations de M. Stainier concordent avec celles de M. Ladrière, avec cette différence qu'il accuse une richesse de phosphate beaucoup plus grande.

La proportion d'acide phosphorique qui y est contenue est de 4,85 %.

La craie grise ne forme que quelques bancs peu épais au-dessus de la craie à silex cornus et à *Micraster breviporus*. Dans le centre du Cambrésis, elle contient peut-être le *Micraster cor testudinarium*, mais dans la vallée de la Selle, seule partie où le phosphate ait encore été découvert, le *Micraster* trouvé dans la craie grise est le *Micraster breviporus*, comme à Lezennes.

Coupe des gîtes de Phosphate de chaux du Cambrésis,  
d'après M. Ladrière.



- A Craie à silex et à *Micraster breviporus*.
- B Craie grise phosphatée.
- a Conglomérat marneux phosphaté.
- b Sable verdâtre phosphaté.
- c Argile brun jaunâtre très compacte.
- d Conglomérat à silex.
- ee' Sable landenien.
- f Limon.
- g Limon de lavage.

Comme dans la Picardie, la destruction de la craie grise par les agents météoriques a donné naissance à des dépôts détritiques plus riches en phosphate.

C'est d'abord (a) un conglomérat formé de fragments de craie grise et de quelques silex altérés et corrodés, dans une pâte de marne, qui n'est pas autre chose que de la craie grise à l'état pulvérulent; il ne constitue pas une couche continue.

Vient ensuite du sable gris ou brun verdâtre (b) avec grains de glauconie et de phosphate de chaux.

Ces dépôts tapissent des poches creusées dans la craie; quelquefois ils s'élèvent au-dessus du bonhomme (nom donné par les ouvriers aux parties saillantes de la craie qui séparent les poches).

Comme dans la Somme, ils sont recouverts d'une petite couche d'argile plastique brun jaunâtre (c), qui est la base d'un dépôt caillouteux formé de silex volumineux, non roulés, empâtés dans de l'argile plastique grise ou verdâtre (d).

Mais, tandis que le dépôt caillouteux de la Somme est postérieur au landenien, celui du Cambrésis lui est antérieur.

Comme dans la Somme, les dépôts de phosphates et le conglomérat à silex sont descendus dans les poches creusées dans la craie par la pénétration des eaux pluviales; mais là encore il y a une différence. Dans la Somme le centre des poches est rempli par du limon quaternaire; dans les Cambrésis, il est comblé par du tuffeau et du sable landenien.

Lorsque la mer crétacée quitta le Cambrésis, elle laissa à sec, sous forme de zones concentriques, les diverses variétés de craie qui s'étaient successivement déposées sur son fond, les plus anciennes constituant les zones extérieures et les plus récentes les zones intérieures. La craie grise, plus tendre que la craie blanche qui la bornait à l'O. et que la craie à silex qui la limitait à l'E., s'est altérée plus rapidement à l'air. Les premiers effets de l'altération furent la production du conglomérat marneux phosphaté et, en même temps, la formation d'une légère dépression, où se déposèrent ensuite les produits de la lixiviation du terrain avoisinant par les eaux pluviales, c'est-à-dire les sables phosphatés.

Plus tard l'argile à silex vint recouvrir le sable phosphaté. Les silex étaient empruntés à la craie à silex voisine. Ils furent donc amenés d'une très courte distance, sans être roulés, ni même usés. Comment cela se fit-il? C'est une question un peu problématique dont la discussion m'entraînerait trop loin. Les couches landeniennes vinrent ensuite recouvrir les silex.

Puis, plus tard encore, à une époque difficile à déterminer, les eaux pluviales creusèrent les poches, où s'enfoncèrent peu à peu tous ces dépôts.

**Phosphates de chaux de l'Artois.** — Les phosphates de l'Artois exploités à Pernes, Fléchin, Audincthun sont des nodules irréguliers, noir verdâtre, de la grosseur d'un œuf, enveloppés dans du sable argileux verdâtre. Il y en a deux bancs de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, séparés par 2 mètres d'argile marneuse verte. Les nodules du banc supérieur sont plus gris que ceux du banc inférieur; ils sont aussi plus riches en phosphate, ils contiennent 25 % d'acide phosphorique, tandis que ceux du banc inférieur n'en contiennent que 22 %.

Au-dessus des couches de phosphates, on trouve du sable calcaire glauconifère qui passe peu à peu à de la marne. Les fossiles n'y sont pas abondants; cependant on y trouve le *Pecten asper*. C'est donc bien la partie du Cénomaniens que les mineurs désignent sous le nom de tourtia.

Sous les phosphates de l'Artois, il y a une argile plastique noire

dans laquelle on a recueilli, au voisinage, *Ammonites inflatus*. Elle correspond à la partie supérieure de l'argile de Wissant, que M. Barrois rapporte encore au Cénomanién.

Ainsi les phosphates du Pas-de-Calais sont situés dans le Cénomanién, c'est-à-dire 80 à 100 mètres en dessous du niveau des phosphates de Lezennes et du Cambrésis, entre l'assise à *Pecten asper* et l'assise à *Ammonites inflatus*. On peut les rapporter à la première.

D'après les travaux de M. Barrois, les sables à *Pecten asper* de l'Artois correspondent seulement à la zone supérieure des sables et marnes à *Pecten asper* des départements de l'Aisne et des Ardennes (zone à *Ammonites laticlavius*). Dans ces départements, il y a trouvé au même niveau une très grande quantité de nodules de phosphates de chaux.

**Phosphates du Boulonnais.** — Tout autour des affleurements jurassiques du Bas-Boulonnais, on exploite des nodules de phosphate de chaux très semblables aux précédents, mais situés dans une position un peu différente. Ils constituent un lit assez régulier de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, situé sous l'argile de Wissant ou argile du Gault, dont il vient d'être question, et à la partie tout à fait supérieure des sables verts à *Ammonites mamillaris*. On y trouve avec cette Ammonite une autre espèce caractéristique de la base de l'argile, c'est l'*Ammonites interruptus*. La couche s'étend en Angleterre. On la voit s'enfoncer sous la mer au N.-O. de Wissant; on va même l'y exploiter à marée basse.

**Phosphates des Ardennes.** — Les phosphates des Ardennes sont les premiers connus. On ne peut en parler sans citer trois noms qui ont fondé en France l'industrie des phosphates : Élie de Beaumont, le savant qui proclama le premier l'utilité des phosphates en agriculture; de Molon, l'ingénieur qui s'empara de cette idée et se mit partout à la recherche des phosphates; M. Desailly, l'industriel qui, le premier, organisa l'exploitation sur une grande échelle. Si leurs efforts n'ont pas toujours été couronnés par la fortune, c'est une raison de plus pour proclamer publiquement toute la reconnaissance à laquelle ils ont droit.

La couche de phosphate occupe dans l'Est une grande étendue dans les départements des Ardennes et de la Meuse. Nous avons été l'étudier l'année passée à Grand-Pré, lors de l'excursion que nous avons faite dans les terrains secondaires des Ardennes.

Le phosphate de chaux des Ardennes ressemble beaucoup à celui du Boulonnais. Il est à l'état de nodule dont la teneur en acide phos-

phorique varie de 14 à 20 %. Ces nodules, de la grosseur d'un œuf, sont désignés dans le pays sous le nom de *coquins* de sable. Ils se présentent en une, quelquefois en deux couches assez régulières, épaisses de 15 à 20 centimètres, dans le sable vert à *Ammonites mamillaris*.

Dans l'Argonne on rencontre un autre niveau de nodules de phosphate de chaux dont la teneur en acide phosphorique est plus élevée. Ces phosphates sont dits *coquins de gaize*, parce qu'ils forment une petite couche vers la base de la gaize, grès très poreux imprégné de silice soluble, qui constitue les collines de l'Argonne. La couche de coquins de gaize est située à 20 ou 30 m. au-dessus de la couche de coquins de sable. On les dit aussi *coquins riches*, parce qu'ils sont plus riches que les précédents; ils contiennent jusqu'à 27 % d'acide phosphorique. Cependant on a cessé de les extraire, parce que, la zone s'enfonçant rapidement vers la colline de l'Argonne, l'exploitation coûte trop cher.

**Conclusions.** — En résumé, le phosphate de chaux se montre dans le Nord de la France à plusieurs niveaux géologiques et sous plusieurs formes. On le trouve :

1° en nodules, soit dans la craie, soit dans les sables verts, soit dans la gaize; ces nodules contiennent toujours une portion plus ou moins considérable de la substance encaissante et le phosphate y est mélangé de carbonate.

2° En galets; ce sont les nodules précédents qui ont été remaniés et roulés par une mer postérieure à celle où ils se sont formés.

3° En grains disséminés dans la craie, à laquelle ils donnent une teinte brunâtre ou grise; ces grains sont cristallins à Cibly et à l'état de petites concrétions à Doullens.

4° Sous forme de sable; ce sont les grains précédents qui ont été séparés de la roche encaissante et accumulés les uns sur les autres par l'action des eaux pluviales.

En fait il y a deux manières d'être primitives du phosphate de chaux; il est disséminé dans la roche, ou il est réuni et concrétionné en nodules.

**Origine du phosphate de chaux.** — Vous vous étonnez peut-être de voir le faible rôle que jouent les géologues dans la découverte des phosphates. C'est qu'il y a peu d'hommes qui aient une assez grande largeur d'esprit pour envisager dès l'abord tous les côtés d'une question. Quand il se trouve en présence de phosphate dans une roche,

l'industriel dit : Combien rapportera-t-il? Le savant se demande : Comment s'est-il formé?

Je remercie le premier pour la société, dont nous faisons tous partie, du soin qu'il prend de nos besoins matériels; mais je ne puis pas oublier que je parle dans une chaire de Faculté des sciences et je me pose avec le second la question : d'où vient le Phosphate?

On a donné au problème deux solutions différentes. Les uns ont cru que le phosphate provenait des êtres organisés; d'autres ont supposé qu'il était amené par des sources du noyau central de la terre ou de la pyrosphère.

Tous les êtres organisés contiennent du phosphore. Il y en a dans les os, dans les muscles, dans la bile, dans l'urine, dans le sang, surtout dans les cellules nerveuses. Le cerveau en contient une si grande quantité que des physiologistes, pour mieux marquer son importance, ont été jusqu'à écrire que c'est le phosphore qui fait la pensée.

Quand les animaux marins viennent à mourir, leurs dépouilles se mélangent à la boue et au sable des mers; l'acide phosphorique, mis en liberté par la putréfaction, se combine à une partie du carbonate de chaux des sédiments; il se forme du phosphate de chaux qui se cristallise ou se concrétionne en nodules.

Non seulement les cadavres des animaux sont une source d'acide phosphorique, mais aussi leurs excréments, surtout ceux des animaux carnassiers.

On avait cru pouvoir expliquer par cette dernière hypothèse les nodules de phosphate des Ardennes, qui sont accompagnés d'une très grande quantité de coquilles de mollusques et de reptiles carnassiers. On a supposé qu'ils se sont formés dans des baies, où vivaient ces reptiles, qui faisaient grand carnage parmi les poissons et les mollusques. Les résidus de leur digestion, mélangés à du sable, auraient donné naissance aux nodules de phosphate de chaux. On connaît à l'état fossile des excréments de reptiles ou de poissons. Voici, par exemple, des excréments de *Macropoma*, poissons qui fréquentaient notre pays à l'époque où il était couvert par la mer crétacée. On désigne, en géologie, ces sortes de fossiles sous le nom de *coprolites*.

Le public, toujours amateur des solutions extraordinaires, accepta l'explication et le nom de coprolites fut donné et est encore donné aux nodules de phosphate des Ardennes.

Cette hypothèse a pu séduire lorsqu'on ne connaissait encore que le phosphate en nodules. Cependant certaines circonstances devaient ouvrir les yeux. Ces nodules ne sont pas disséminés dans tous les terrains; ils sont en abondance à un même niveau et y forment des cou-

ches des plus étendues. Le gîte des Ardennes se suit à travers les départements de la Meuse et de la Haute-Marne jusque dans celui de l'Aube. C'est presque le même que le niveau du Boulonnais, que l'on peut suivre dans une partie de l'Angleterre. Les rivages de l'époque n'eussent donc été qu'un immense cloaque.

Donnera-t-on la même explication au tun de Lezennes, où les fossiles sont très rares et où il n'y a pas de reptiles. Puis il y a le phosphate disséminé dans la craie comme à Mons, dans la Somme, dans le Cambrésis.

Cornet a donné pour le phosphate de la craie brune de Cibly une explication plus naturelle.

Il rappelle, d'après M. Élisée Reclus, que lors du changement de la mousson, principalement en octobre et en novembre, des milliards de poissons morts de toute espèce sont rejetés par la vague sur les côtes de Périm et d'Aden. Afin que l'air n'en soit point empesté, il faut que les habitants se mettent à la besogne pour enfouir ces amas de chair putréfiée. Il n'y a pas de raison, ajoute-t-il, pour ne pas admettre que le même phénomène a pu se produire à différents moments des temps géologiques.

Il se base, pour supposer que telle a été la formation de la craie brune, sur ce que cette craie contient une grande porportion de matière organique azotée; et sur ce qu'elle s'est déposée dans une mer qui nourrissait une faune nombreuse d'animaux invertébrés, au milieu desquels nageaient des poissons et de grands sauriens marins.

L'existence des grands sauriens est démontrée par les nombreux squelettes du Musée de Bruxelles, si bien rassemblés et étudiés par M. Dollo. Celle des poissons peut être soupçonnée parce qu'il fallait de la nourriture à ces grands carnassiers, cependant on doit s'étonner que leurs restes soient aussi rares.

Le phosphate de chaux se produisait-il et cristallisait-il au fur et à mesure que les corps organisés se détruisaient? On devrait alors trouver des lits, si minces qu'ils soient, particulièrement charbonneux et phosphatés. Ou bien faut-il admettre que ce premier phosphate a disparu. Que les eaux souterraines qui ont circulé dans la craie brune après son dépôt, l'auraient dissous, transporté et distribué d'une manière uniforme dans tout le dépôt où il aurait de nouveau cristallisé.

Si telle est l'origine du phosphate de chaux, pourquoi n'en trouve-t-on pas dans tous les terrains riches en fossiles? comment comprendre que certaines parties de la craie soient plus spécialement favorisées?

La seconde hypothèse est plus simple ; elle fait venir le phosphate de chaux dissous dans des eaux de sources minérales. Ces eaux auraient été minéralisées par des émanations venues de l'intérieur de la terre. Une telle hypothèse n'a rien d'impossible, puisque le phosphate de chaux se rencontre dans les granites et dans beaucoup de roches éruptives. On ne peut lui reprocher que sa simplicité même. Comme toutes les explications qui sont basées sur l'intervention de la pyrosphère, elle ne peut pas être contrôlée par l'expérience et ne laisse place à aucune recherche sur les circonstances immédiates du phénomène.

On ne doit accepter ces hypothèses que lorsqu'aucune autre n'est satisfaisante et lorsque néanmoins on croit nécessaire d'en présenter une. Ce n'est pas le cas ici. Dans un cours d'enseignement supérieur, je n'hésite pas à avouer mon ignorance. N'est-ce pas un aveu de chaque instant ? Si nous n'avions plus de secrets à chercher, autant fermer nos laboratoires.

Mais dans l'enseignement secondaire, il faut être dogmatique ; dans la conversation avec le monde, il faut expliquer tout, ne serait-ce que pour n'avoir pas à entendre des raisonnements à perte de vue et sans aucune base sérieuse. Alors dans l'incertitude, la meilleure hypothèse est celle qui est la plus courte à exposer, la plus absolue. Acceptez donc, si l'occasion se présente, l'hypothèse des sources minérales pour expliquer la présence du phosphate de chaux dans le sol. Mais au moins, à force de répéter, n'allez pas y croire comme à une vérité démontrée. Puis le temps que vous aurez gagné par là, je vous demande de l'employer à chercher et à observer. Peut-être n'a-t-on pas suffisamment observé les gîtes de phosphate au point de vue de leur origine.

Un fait m'a frappé, c'est que toutes les couches de phosphate, dont nous avons parlé, se sont déposées à proximité du rivage et dans des mers peu profondes.

Nous avons vu qu'à Lezennes le tun est recouvert par la craie blanche. Or, à la base de cette craie, on trouve des nodules de tun roulés, couverts d'huîtres, de spondyles, de serpules. Il est évident qu'il y avait là, au commencement du dépôt de la craie blanche, une mer peu profonde. Les nodules déjà formés étaient repris, roulés par les vagues, et amenés près du rivage. Mais une cote ne s'élève point, ne s'abaisse pas tout d'un coup. Donc à l'époque qui a précédé la craie blanche, c'est-à-dire à l'époque où se formait le tun, le rivage était peu profond.

Dans l'Ardennais, dans le Boulonnais, dans l'Artois, le sable ou la marne glauconifère à nodules de phosphate de chaux reposent soit sur le terrain jurassique, soit sur les terrains primaires. Ce sont donc les

premiers dépôts qui se sont faits lorsque la mer crétacée a envahi des régions précédemment émergées ; ce sont donc des dépôts de mer peu profonde.

M. Barrois l'a démontré d'une tout autre manière pour l'Argonne. Il a reconnu que les couches de sable vert à coquins ont subi des ravissements considérables. Les coquins sont disséminés d'une manière presque uniforme dans le sable ; mais à certains niveaux, ils sont accumulés en un banc continu. Ces rubans de coquins sont dus à ce que le sable inférieur a été affouillé ; les grains menus ont été enlevés, tandis que les parties les plus lourdes sont restées sur place. C'est bien le caractère d'un phénomène littoral. Comme il était contemporain de la formation des nodules de phosphate, il indique dans quelle condition ceux-ci ont pris naissance.

La craie grise à *Belemnites quadratus* de la Somme ne s'est pas étendue uniformément sur la Picardie et l'Artois, comme le pensent quelques géologues. À la fin du dépôt de la craie blanche à *Micraster*, la mer qui couvrait le nord de la France et le sud de l'Angleterre se resserra dans les parties les plus profondes. Une dépression, correspondant à peu près à la vallée inférieure de la Somme, unissait le golfe qui couvrait encore l'Île-de-France et une partie de la Champagne avec celui qui s'étendait dans le Hampshire. En 1881, avant que les phosphates de la Somme fussent découverts, j'ai donné dans l'*Esquisse géologique du nord de la France* la carte de ce bras de mer. Tous les dépôts actuellement connus de phosphates de la Somme sont situés sur son littoral.

Enfin, on a vu qu'à Cibly, il existe, au-dessus comme au-dessous de la craie brune, des poudingues ou amas de cailloux roulés de phosphate, qui proviennent de la partie supérieure de la craie blanche. Actuellement ces couches de craie blanche à phosphate de chaux n'affleurent plus nulle part ; mais il est certain qu'elles constituaient, à l'époque de la craie brune, des rochers littoraux battus par les vagues qui en roulaient les débris.

C'est donc un fait général dans le Nord, le phosphate de chaux s'est déposé dans les mers peu profondes. Était-il fourni par des restes d'animaux qui venaient atterrir, comme dans l'hypothèse de Cornet, ou provenait-il de l'évaporation d'eaux phosphatées amenées par des sources ? Devinez, si vous le pouvez ; et choisissez, si vous l'osez (1).

(1) Reproduit avec l'autorisation de l'auteur et de la Société Géologique du Nord, d'après les *Annales* de la Société. Tome XVI, 1888-1889, pp. 27-47.

# PHOSPHATES DE CHAUX

## LES NOUVEAUX GISEMENTS DE LA HESBAYE (1)

Dans des mémoires de la plus haute importance qu'il publia dans les *Annales de la Société géologique de Belgique*, en 1884 et en 1885, M. Max Lohest, ingénieur et assistant de géologie à l'Université de Liège, attira pour la première fois l'attention sur la présence en Hesbaye de gisements de phosphate de chaux. Il étudia la question au point de vue purement scientifique et c'est la publication de ces mémoires qui provoqua ce mouvement industriel extraordinaire que chacun de nous peut constater, en se promenant à quelques kilomètres de Liège sur le plateau hesbayen, entre Rocour, Vottem et Liers. Commencée il y a à peine plus d'un an, et quoique bien rudimentaire encore, cette exploitation est déjà faite en ce moment par une dizaine de particuliers ou de sociétés belges et étrangères, sur une surface de plusieurs centaines d'hectares. Rien de plus curieux que de voir cette énorme étendue de terrain, couverte de céréales il y a quelques mois, et présentant aujourd'hui l'aspect d'un vaste campement : de nombreuses huttes de bois, distantes de 25 à 30 mètres, correspondant chacune à un puits d'extraction, et des centaines de trous d'essai disséminés partout. C'est une véritable fièvre industrielle qui n'en est encore qu'à ses débuts et qui ne manquera pas de prendre de plus grandes proportions dans un délai très rapproché ; car tous les jours de nouveaux champs sont explorés et de nouvelles sociétés d'exploitation constituées. C'est l'âge d'or pour les propriétaires de la Hesbaye, auxquels on fait journellement les propositions les plus inespérées. Certains d'entre eux ont, paraît-il, loué leurs terrains pour une période de six à huit ans, à raison de seize à vingt mille francs l'hectare. Je

(1) Comme suite aux instructives Leçons de M. le Prof. *Gosselet* sur le Phosphate de chaux, nous croyons intéressant de mettre sous les yeux des lecteurs du Bulletin quelques *extraits* d'un article publié dans le supplément au n° des 22 et 23 février 1890 du *Journal de Liège*, et relatif aux nouveaux gisements de phosphates récemment découverts et exploités en Hesbaye. Bien que non signé, cet article donne une bonne idée de la question qu'il traite et il émane assurément d'un spécialiste bien au courant des découvertes et des travaux auxquels ont donné lieu les dépôts phosphatés de la Hesbaye.

dis *loué*; car, après cette période, qui suffit pour terminer l'exploitation de la couche de phosphate, les terrains seront rendus aux propriétaires dans leur état primitif.

Tout ce mouvement industriel important doit donc encore, comme on le voit, son origine à des études de science pure. Nous aimons à rappeler pareil fait, si souvent constaté.

D'importants gisements de phosphate de chaux s'étaient révélés, depuis quelque temps déjà, dans le terrain crétacé du Hainaut, pour nous en tenir à la Belgique. La similitude des formations géologiques du Hainaut avec celles de notre province amena dès lors les géologues à supposer, dans la province de Liège, l'existence possible de dépôts analogues à ceux de Ciplly (Hainaut). La question fut soulevée par les membres de la Société malacologique de Belgique, réunis à Maestricht en 1882, et par les membres de la Société géologique de Belgique, réunis à Visé l'année suivante. A partir de cette époque, des recherches furent entreprises en plusieurs points des provinces de Liège et de Limbourg.

M. Lohest fit des fouilles dans les environs de Visé et de Maestricht; mais la teneur en phosphate des échantillons recueillis était trop minime (2 à 7 p. c.).

Au commencement de 1884, M. Verwins ayant analysé les eaux alimentaires de Liège y découvrit une faible quantité de phosphate de chaux. Or, ces eaux, comme on le sait, proviennent de galeries creusées dans la craie blanche de la Hesbaye.

A la même époque, M. Lohest se joignit à MM. Francken et Pasque, pour entreprendre avec eux une série de recherches nouvelles à Alleur. Ces travaux, qui firent constater la présence d'amas phosphatés à Ans, à Alleurs et à Liers, furent communiqués à la Société géologique le 18 mai 1884.

Dans la séance du 20 juillet 1884, M. le professeur Dewalque, notre savant concitoyen, indiqua une extension considérable des dépôts phosphatés d'Alleur, reconnus par lui dans la zone comprise entre la vallée du Geer et celle de la Mehaigne.

En septembre 1884, M. Francken a également observé la présence de phosphate de chaux au-dessus du terrain crétacé du pays de Herve, et, en octobre de la même année, M. Petermann a annoncé l'existence d'un phosphate terreux aux environs de Tongres.

Ces divers résultats prouvaient évidemment une chose importante : la possibilité de rencontrer des dépôts de phosphate partout où l'on trouve le terrain crétacé du Limbourg.

C'est ce qui engagea M. Lohest à poursuivre plus loin ses investigations, en étudiant de près le sol de la Hesbaye.

..

En Hesbaye, on rencontre, après sept à seize mètres de limon et de sable, une couche de sept mètres environ de silex. Les silex de cette assise forment une masse de grande résistance, dans laquelle on peut chamberer hardiment, sans crainte d'éboulement. Les interstices sont remplis par un sable argileux, contenant jusqu'à 24 p. c. de phosphate de chaux. Vers la partie inférieure de cette couche, les silex diminuent graduellement de grosseur, en même temps qu'ils deviennent plus rares et cimentés, en quelque sorte, par une masse plus importante d'une terre argileuse, de couleur peu foncée, souvent d'un gris jaunâtre, quelquefois verte, assez plastique, et blanchissant par la dessiccation. Vue au microscope, cette terre se montre formée d'une pâte d'argile plastique, dans laquelle sont disséminés des grains de phosphate de chaux. De plus, on y trouve souvent une très grande quantité de masses plus volumineuses (nodules) de phosphate de chaux, qui constituent environ 30 à 50 p. c. de la couche. Cette partie des amas phosphatés est d'une épaisseur très variable, atteignant 50 à 60 centimètres en certains points et se réduisant dans d'autres points à quelques centimètres seulement.

C'est cette couche, qui repose sur la marne, que l'on exploite. Comme on le voit, le phosphate de chaux remplit des poches irrégulières, creusées dans la marne et recouvertes par une couche de silex, de plusieurs mètres d'épaisseur.

..

Ces débris et ces restes d'animaux disparus depuis des milliers de siècles contribuent aujourd'hui au développement d'êtres nouveaux. La poussière d'organismes, qui a fini par constituer la marne et le phosphate de chaux en Hesbaye, est, en effet, comme nous l'avons dit plus haut, d'une utilité considérable pour l'amendement des terres.

Mais la proportion de phosphate, disséminée dans les craies du

Limbourg, a été trouvée trop faible pour qu'on songe à l'extraire. Enrichir ces craies dans le but d'augmenter leur teneur en phosphate de chaux serait une opération ruineuse, dans l'état actuel de nos moyens industriels. Mais ce travail que nul n'oserait tenter, la nature l'a produit lentement. Les eaux pluviales, en circulant sur le sous-sol du pays, après son émergence du fond des mers crétacées, où il s'était déposé, ont fini par dissoudre la craie, grâce à l'action de l'acide carbonique qu'elles renfermaient : comme résidus, elles ont laissé les silex et les phosphates, moins solubles que la craie.

C'est ainsi que la couche de silex et de phosphate de chaux de la Hesbaye, qui est épaisse de 7 à 8 mètres, représente certainement une couche disparue de 50 mètres de craie, dans laquelle silex et phosphate étaient disséminés, et qu'ont lentement dissoute les eaux pluviales pendant une période de temps que l'on peut estimer par le calcul à plus de 850,000 ans. Cette action, d'ailleurs, se continue encore actuellement.

\*

\*\*

L'exploitation de ces dépôts en Hesbaye est assez simple. On fore des puits nombreux, distants de 25 à 30 mètres et profonds de 20 à 25 mètres, jusqu'à ce que l'on rencontre la partie inférieure de l'assise de silex; puis on creuse des galeries, que l'on étançonne de pièces de bois au fur et à mesure que l'on avance. Le phosphate est ramené à la surface à l'aide d'un treuil.

En Hesbaye, ces amas n'ont guère que cinquante centimètres d'épaisseur. Grâce au mode d'exploitation que l'on emploie, on pourra combler les galeries creusées et le sol sera ensuite rendu à la culture.

Pendant le travail d'exploitation, une certaine quantité de marne, sous-jacente à la couche de phosphate, est enlevée : on la déverse à la surface du sol avoisinant, qu'elle sert à amender pour l'avenir. Cette marne appartient au propriétaire du terrain.

\*

\*\*

Sous la forme où on le recueille dans les exploitations qui viennent de s'ériger dans nos environs, le phosphate de chaux ne peut guère être absorbé et utilisé par les plantes : il constitue du *phosphate tricalcique*.

Pour en faire comprendre les motifs, qu'il me soit permis de faire

une courte digression sur la façon dont s'accomplissent, chez les végétaux, les diverses fonctions, dont l'ensemble constitue leur *nutrition*.

Les plantes puisent, dans le milieu où elles vivent, les matériaux nécessaires à leur développement et à la formation de leurs organes (1).

Elles empruntent à l'air son oxygène, qui pénètre dans la profondeur de leurs tissus, y modifie les principes existants ou en produit de nouveaux, transforme en acide carbonique le carbone mis en liberté par ces réactions intimes, et amène son expulsion dans l'atmosphère (*respiration*).

Les plantes tirent du sol les matériaux *en dissolution dans l'eau*, qui imprègnent leurs racines (*absorption*). Ces matériaux dissous sont absorbés par les radicules, ramifications de la racine et constituent la *sève*; de là ils s'élèvent dans les feuilles, pour y être élaborés, et se rendre ensuite aux points où ils doivent être employés ou mis en réserve.

Ces derniers phénomènes ont pour résultat la *circulation* de la sève.

Comme les matériaux absorbés sont dissous dans une quantité d'eau supérieure à celle qui peut être retenue dans la plante, l'excès de cette eau est rejeté par les feuilles, sous forme de vapeur (*transpiration*). Enfin, les principes absorbés se combinent aux éléments préexistants, dont ils déterminent la multiplication ou l'accroissement (*assimilation*).

..

Comme on le voit, la nutrition végétale comprend plusieurs actes successifs ou simultanés, dont le principal est l'absorption des éléments du sol par les racines.

Ces éléments du sol sont ou bien de nature organique ou bien de nature inorganique. Organiques, ils sont fournis par les substances végétales ou animales qui se détruisent dans le sol, sous l'influence de l'air et des microbes qu'il renferme, sous l'influence de l'eau, de la température, et qui produisent des composés ammoniacaux, de l'humus, de l'acide carbonique, etc. Ces composés provenant des matières organiques du sol, sont absorbés directement par la plante ou subissent des modifications diverses et facilitent la dissolution des matériaux terreux, de nature inorganique : nous y reviendrons tout à l'heure.

De même, pour être absorbées par les plantes, les substances inorga-

(1) D'après CAUVET. Cours élémentaire de Botanique, Paris, 1879.

ganiques doivent être solubles dans l'eau. Or, le phosphate tricalcique est insoluble.

Pour le rendre soluble, on le réduit en poudre fine et on le mélange à une certaine quantité d'acide : cette manipulation chimique, qui se réalise dans des usines spéciales, dont plusieurs existent dans le Hainaut, transforme la phosphate tricalcique en *phosphate monocalcique* ou *superphosphate*, soluble dans l'eau et, par conséquent, assimilable par la plante.

\*  
\*\*

Est-ce à dire cependant que l'on ne pourrait se servir directement comme engrais du minerai tel qu'on l'extrait, après l'avoir réduit en poudre fine ?

L'expérience a démontré que les sels inorganiques insolubles dans l'eau, et parmi eux le phosphate tricalcique, se dissolvent dans l'eau à la faveur de l'acide carbonique, formé surtout par la décomposition de l'humus dans le sol. Mais cette dissolution se fait avec lenteur et ainsi s'explique la nécessité de laisser au sol le temps de reconstituer ses principes solubles, soit par le repos, soit par une succession bien combinée de cultures, qui empruntent à la terre des matériaux différents.

D'un autre côté, l'expérience a aussi prouvé que, grâce à l'*acidité* du tissu formant les extrémités des radicelles des plantes, ces organes peuvent absorber, après les avoir rendus solubles, certains sels minéraux et notamment le phosphate tricalcique. Il se produit donc en miniature, aux points de contact des radicelles, avec cette substance minérale, la même transformation chimique que nous produisons dans nos usines en le traitant par un acide : le phosphate tricalcique insoluble se transforme en phosphate monocalcique soluble, qui est ensuite absorbé par les radicelles. Mais on comprend que ce travail physiologique supplémentaire imposé à la plante doive nuire à son développement et qu'il y a un énorme avantage pour elle à trouver directement sa nourriture toute préparée, c'est-à-dire à trouver dans le sol du phosphate soluble.

M. Raulin, dans une communication qu'il a adressée à l'Académie des sciences de Paris en août 1889, a fait connaître les résultats des recherches entreprises par lui sur cette question, à la station agronomique du Rhône. Il dit que, dans la pratique agricole, on peut employer le phosphate naturel tricalcique *concurrément* avec le phosphate industriel ou monocalcique, à la condition d'appliquer le premier à haute dose (1), variable avec les espèces végétales et la

(1) Cinq ou six fois la dose habituelle.

nature du terrain, pendant les premières années, jusqu'à ce qu'il ait suffisamment augmenté la richesse naturelle du sol en phosphate pour que la dose normale maintienne les récoltes à un niveau élevé.

..

Cette étude, nécessairement trop écourtée, montre quelle valeur considérable représente pour notre pays le phosphate de Hesbaye. Le minerai vaut actuellement 15 à 25 francs la tonne, suivant sa richesse, et l'on peut, en moyenne, estimer le rendement de chaque hectare à environ 100,000 francs. La plus grande difficulté rencontrée jusqu'à ce jour réside dans l'irrégularité considérable des gisements et dans la variation de leur teneur en phosphate.

