

CAHIERS FRANÇOIS VIÈTE

Série III – N° 5

2018

Histoire et épistémologie des sciences de la Terre

sous la direction de
Pierre Savaton

Centre François Viète
Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
Université de Nantes - Université de Bretagne Occidentale

Cahiers François Viète

La revue du *Centre François Viète*
Épistémologie, Histoire des Sciences et des Techniques
EA 1161, Université de Nantes - Université de Bretagne Occidentale
ISSN 1297-9112

cahiers-francois-viete@univ-nantes.fr
www.cfv.univ-nantes.fr

Depuis 1999, les *Cahiers François Viète* publient des articles originaux, en français ou en anglais, d'épistémologie et d'histoire des sciences et des techniques. Les *Cahiers François Viète* se sont dotés d'un comité de lecture international depuis 2016.

Rédaction

Rédactrice en chef – Jenny Boucard

Secrétaire de rédaction – Sylvie Guionnet

Comité de rédaction – Delphine Acolat, Hugues Chabot, Colette Le Lay, Cristiana Oghina-Pavie, François Pepin, Olivier Perru, David Plouviez, Pierre Savaton, Valérie Schafer, Josep Simon, Alexis Vrignon

Comité scientifique

Yaovi Akakpo, David Baker, Grégory Chambon, Ronei Clecio Mocellin, Jean-Claude Dupont, Luiz Henrique Dutra, Hervé Ferrière, James D. Fleming, Alexandre Guilbaud, Catherine Goldstein, Pierre Lamard, Frédéric Le Blay, Baptiste Mèlès, Philippe Nabonnand, Karen Parshall, Viviane Quirke, Pedro Raposo, Anne Rasmussen, Rogério Monteiro de Siqueira, Sabine Rommevaux-Tani, Aurélien Ruellet, Martina Schiavon, Pierre Teissier, Brigitte Van Tiggelen



ISBN 978- 2-86939-248-6

SOMMAIRE

*Introduction – L'histoire et l'épistémologie des sciences de la Terre :
un champ de recherche à cultiver – Pierre Savaton*

- GUILLAUME COMPARATO..... 11
*De la pierre à la presse : pratiques du voyage, de l'analyse et de
l'écriture chez Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819)*

- FRANÇOISE DREYER 33
*L'émergence de la notion de limite dans la géologie du XIX^e
siècle : d'une vision catastrophiste à un cadre transformiste*

- MARIE ITOÏZ 55
*Observer le monde minéral : analyse de la construction de
pratiques autour de l'identification des roches et des minéraux
au milieu du XIX^e siècle*

- DELPHINE ACOLAT 73
*Le Vésuve et la photographie au XIX^e siècle, quel apport à
l'histoire des sciences de la Terre ?*

- MATHIAS ROGER131
*Des sciences de la Terre au service de l'atome ? Le rôle de Jean-
Pierre Rothé, entrepreneur scientifique (1945-1976)*

L'émergence de la notion de limite dans la géologie du XIX^e siècle : d'une vision catastrophiste à un cadre transformiste

Françoise Dreyer*

Résumé

Au début du XIX^e siècle, une discontinuité paléontologique majeure est établie entre terrains crétacés et tertiaires, évoquant une catastrophe. À cette époque, s'opposent deux conceptions de l'histoire de la vie sur Terre : l'une catastrophiste et l'autre uniformitarienne supposant des changements progressifs de faunes. La découverte de terrains intermédiaires pose tout d'abord la seule question de leur appartenance à l'une ou l'autre formation puis se dégage l'idée d'une limite à placer entre elles, idée à l'origine de vifs débats en absence de critères bien définis et acceptés par tous. En 1878, Edward Cope propose le critère extinction d'espèces pour définir une limite.

Mots-clés : notion de limite, paléontologie stratigraphique, faunes intermédiaires, extinction, limite Crétacé-Tertiaire, Danien, catastrophisme, uniformitarisme, XIX^e siècle, histoire de la géologie.

Abstract

At the beginning of the 19th century, a major paleontological discontinuity evocative of a catastrophic event, was identified between Cretaceous and Tertiary formations. The discontinuity was discussed along the then two main conceptions of the history of life on Earth, catastrophic changes opposed to progressive modifications of fauna. The discovery of intermediary formations raised the question of their association to either one formation. The idea of a limit between the two emerged later, resulting in hot debates in the absence well-defined criteria until in 1878, Edward Cope proposed the extinction of species to define a limit.

Keywords: notion of limit, stratigraphic paleontology, transition faunas, extinction, K/T limit, Danian, catastrophism, uniformitarianism, 19th century, history of geology.

* Centre François Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et des techniques (EA 1161), Université de Nantes.

L'ÉTUDE de la position attribuée aux terrains daniens au cours du XIX^e siècle, crétacée pour les uns, tertiaire pour les autres (actuellement premier étage du Tertiaire), conduit tout naturellement à s'interroger sur la notion de limite en stratigraphie. Si maintenant les grandes limites stratigraphiques, notamment celles des ères géologiques, sont définies par l'évidence d'une extinction de masse, il n'en a pas été toujours ainsi. Nous montrons ici que la question se posait au début du XIX^e siècle en termes d'appartenance à un terrain, à une formation. L'idée de limite n'apparaît qu'autour des années 1840 sans critère bien défini. Ce n'est qu'au premier Congrès international de géologie en 1878 que le critère « d'extinction des types » (Cope, 1880, p. 151) sera proposé.

Une question d'appartenance à une formation

La première moitié du XIX^e siècle est surtout marquée par une intense activité de description. Les géologues décrivent les roches, classent les dépôts et les regroupent en étages et formations. Les roches sont nommées selon leurs caractères lithologiques dominants comme la craie et le calcaire grossier. Leur contenu paléontologique est établi autant que faire se peut. Comme les fossiles sont généralement les mêmes dans une couche donnée mais changent d'une couche à l'autre, ils permettent de reconnaître cette couche (Cuvier & Brongniart, 1808). Travaillant aux « quatre coins » du continent et du monde, les géologues tentent de comparer les terrains et de faire des corrélations à grande distance. La continuité des couches n'étant pas réalisée, seules la lithologie et la paléontologie peuvent servir et Alexandre Brongniart (1770-1847) montre en 1821, exemple à l'appui, qu'il est possible de corrélérer deux terrains fort éloignés à partir de la paléontologie, là où la géologie et la minéralogie ne le permettent pas. Cependant, dans les années 1820-1830, la validité de l'utilisation de la paléontologie en géologie est vivement discutée. Les objections fréquentes mettent en cause le mauvais usage de la paléontologie lié à l'insuffisance et à l'incertitude des données.

C'est à ce moment que sont découverts de nouveaux terrains entre craie et argile plastique (base des terrains tertiaires tels que décrits à l'époque), découverte qui pose la question de leur appartenance à la formation de la craie ou aux terrains tertiaires. S'opposent alors deux conceptions de l'histoire de la vie liées à la répartition des fossiles.

- Une discontinuité marquée

Prenons comme point de départ de cette étude l'année 1822, année de la publication par Georges Cuvier (1769-1832) et Alexandre Brongniart de leur *Description géologique des environs de Paris*, description très détaillée et approfondie des terrains autant du point de vue lithologique que paléontologique. Cet ouvrage est accompagné d'une carte de la *Géognosie des terrains de Paris* montrant une nette discontinuité entre « terrains de sédiments moyens » et « terrains de sédiments supérieurs ou tertiaires » (figure 1).

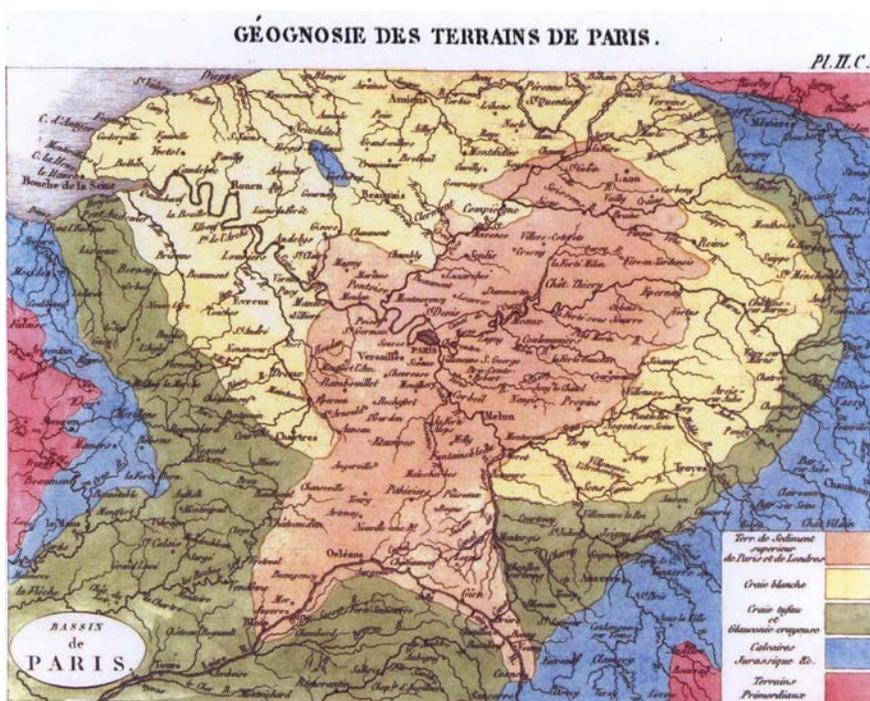


Figure 1 - Carte géognostique du bassin de Paris (Cuvier & Brongniart, 1822)
(Source : Bibliothèque de la Société géologique de France, photo personnelle)

Cette discontinuité est de trois ordres :

- stratigraphique : la craie, dernier terme des terrains de sédiments moyens (qui ne sont pas encore appelés crétacés ni secondaires), forme un bassin, « un golfe sur lequel se sont déposés » les terrains tertiaires commençant avec l'argile plastique et le calcaire grossier. La surface de la craie présente

des traces de dénudation et est érodée. L'argile plastique et le calcaire grossier reposent en discordance plus ou moins marquée sur la craie ;

- lithologique : craie versus argile et calcaire ;
- paléontologique : la craie se caractérise par la présence de nombreux bivalves — mais aucun univalve (Cuvier & Brongniart, 1811) sauf un *Trichus* (Cuvier & Brongniart, 1822) — et de céphalopodes dont des bélemnites, fossiles caractéristiques de la craie. Le calcaire grossier contient de nombreux univalves dont des cérithes, et parmi les céphalopodes ne subsistent que des nautilus. Surtout, aucun fossile de la craie n'est présent dans le calcaire grossier et inversement. Ainsi, deux faunes totalement distinctes, exclusives, se succèdent dans les environs de Paris, observation alimentant l'idée d'une « catastrophe », ce que Cuvier et Brongniart appellent « une grande révolution ».

À ce stade, la question de limite ne se pose pas. Les deux formations sont si différentes qu'un nouveau terrain décrit ne peut qu'appartenir à la craie ou au terrain tertiaire. La question, en 1822, est donc celle de l'appartenance à une formation à l'exclusion de toute autre hypothèse.

L'usage scientifique que l'on peut faire de cette discontinuité et d'éventuels terrains observés entre une craie « franche » et un calcaire grossier non moins franc, se place dans le contexte de deux visions différentes de l'histoire de la Terre, deux visions qui, lorsque poussées à l'extrême, sont essentiellement inconciliables dans le contexte de l'époque, avant 1850, pour simplifier. Il s'agit là davantage de tensions, de mouvements de pensée que de catégories exclusives bien définies.

- *Discontinuité et catastrophisme*

L'observation de la discontinuité entre la craie et les terrains tertiaires dans les environs de Paris, de la disparition brutale et totale de la faune et de son remplacement par une nouvelle faune, conduit Cuvier à évoquer une « grande révolution de la surface du globe », une catastrophe, un cataclysme dont il n'explique pas les causes, prenant soin de séparer paléontologie et théologie. Soucieux d'une science empirique, bien qu'homme religieux, il évite toute évocation biblique dans ses écrits (Rudwick, 1997, 2005). Tous n'ont pas la même retenue et l'idée du Déluge ou d'un dessein de création pour les nouvelles espèces circule aussi bien en Angleterre (James Parkinson (1755-1824), William Buckland (1784-1856) par exemple) qu'en France (Rainger, 2009).

En France, Gérard-Paul Deshayes (1795-1875) compte cinq catastrophes avec « extinction de toutes les races et leur remplacement subit par d'autres spécifiquement différentes », une à la fin de chaque grande période de l'histoire de la Terre, la dernière étant celle de la fin du Crétacé. « Par con-

séquent, il y a eu dans l'espace et dans le temps cinq créations successives » dit-il sans pour autant préciser davantage ce qu'il entend par « création » (Deshayes, 1838). Quant à Alcide d'Orbigny (1802-1857), suivant son pré-supposé philosophique d'« une création à chaque nouvel étage », il dénombre vingt-sept catastrophes d'origine géologique, une à la fin de chacun des étages qu'il a décrits, et chacune suivie d'une création. Le terme de « création » est assez ambigu, jamais défini si ce n'est par l'apparition soudaine et simultanée sur tous les points du globe d'un ensemble d'espèces nouvelles dans le registre paléontologique. La création des espèces, elle-même, quoique certaine, demeure un « mystère surhumain » incompréhensible. Il suggère une « force créatrice qui a eu cette toute-puissance si extraordinaire » (Orbigny, 1852, p. 251).

Chaque catastrophe est donc accompagnée de l'extinction totale des espèces et la création d'une faune entièrement nouvelle. Ceci impose des discontinuités absolues des terrains et des faunes. Si aucune espèce ne passe d'une formation à l'autre, les faunes sont totalement distinctes. Le corollaire est l'impossibilité de l'existence d'une faune mixte, intermédiaire. Un terrain contenant une espèce créacée appartient donc nécessairement au Crétacé.

Il en va tout autrement pour les partisans de la continuité et de l'uniformité.

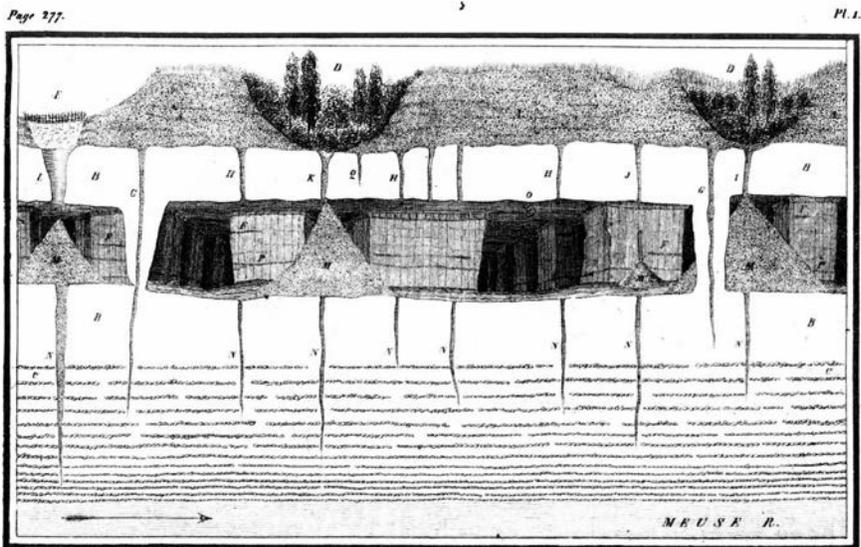
- *Continuité et uniformitarisme*

Charles Lyell (1797-1875), théoricien de l'uniformitarisme, développe dans ses *Principles of Geology* en 1830-32 l'idée déjà émise par James Hutton (1726-1797) en 1785 (Hooykas, 1963/1970, p. 48) que les causes actuellement en action, « *now in operation* », permettent d'expliquer les changements passés de la surface de la Terre. Cet actualisme méthodologique est soutenu par Lyell et de nombreux géologues dont Constant Prévost (1787-1856) et Adolphe d'Archiac (1802-1868) en France et Adam Sedgwick (1785-1873) et Roderick Murchison (1792-1871) en Angleterre. Lyell le pousse à son extrême en postulant que ces causes ont toujours eu la même intensité et la même vitesse (Rudwick, 1985, p. 75). Cette théorie uniformitarienne qui ne fait cependant pas l'unanimité, suppose donc continuité et uniformité des phénomènes géologiques, continuité et uniformité que Lyell étend au « domaine de la vie » (cité dans Hooykas, 1963/1970, p. 195 ; Rudwick, 2008, chap. 24). Elle sous-tend un passage progressif d'un terrain à l'autre et des changements progressifs des faunes au cours des temps géologiques¹. Par

¹ D'abord séduit en 1826 par la théorie de la transformation des espèces de Lamarck, Lyell la récuse dans le volume 2 de ses *Principles* en 1832, à cause de ses implications quant à l'origine de l'Homme. Pour Lyell, les espèces éteintes sont remplacées par de

conséquent, si l'on observe une discontinuité entre les terrains crétacés et les terrains tertiaires, c'est que des terrains et des faunes intermédiaires sont encore inconnus (Lyell, 1830). Il doit, dans ce cas, exister quelque part sur le globe un endroit où l'on observe le passage insensible de la craie aux terrains tertiaires.

Un terrain connu depuis des années va dans ce sens, le calcaire de Maastricht constituant la falaise de la Montagne Saint-Pierre de Maastricht et reposant sur la craie (figure 2).



Coupe perpendiculaire d'un point du plateau de S.^t Pierre.

Figure 2 - Coupe perpendiculaire d'un point du plateau de Saint-Pierre de Maastricht (Bory de Saint-Vincent, Colonel, 1821) (Source : Bibliothèque de la Société géologique de France, photo personnelle)

Ce calcaire a servi à extraire des pierres de construction et leur exploitation a laissé de grandes « cryptes » selon Jean-Baptiste Bory de Saint-Vincent (1778-1846). Celui-ci décrit ce calcaire comme un calcaire grossier au niveau des cryptes et de plus en plus fin vers le bas. Puis il passe insensiblement à un

nouvelles espèces, de même genre et de même niveau d'organisation, sans progression. L'« introduction », la création de ces nouvelles espèces se produit en tout temps et en tout lieu (Corsi, 1978).

calcaire crayeux, à une craie calcaire puis enfin à la craie blanche au niveau de la Meuse. De la même façon, la faune change progressivement (Bory de Saint-Vincent, 1821, p. 182). Cependant la présence de bélemnites, fossiles caractéristiques de la craie selon Cuvier et Brongniart, leur a permis de penser dès 1811 que ce « calcaire de la montagne de Maëstricht [...] appartient à la formation de la craie »² (Cuvier & Brongniart, 1811, p. 12), appartenant au Crétacé qui ne fait guère de doute.

Pourtant, malgré l'existence de ce calcaire, demeurent, comme le reconnaît Lyell, des « ruptures remarquables dans les séries de formations superposées » et un hiatus entre les terrains secondaires et les terrains tertiaires. « L'élucidation de ce point singulier est d'autant plus importante que les géologues d'une certaine école font appel à des phénomènes de ce genre à l'appui de leur doctrine des grandes catastrophes, hors du cours ordinaire de la nature, et des révolutions soudaines du globe. » (Lyell, 1833, p. 26)³. Ainsi, Lyell a-t-il considérablement développé les théories de l'actualisme et de l'uniformitarisme afin de contrer le catastrophisme trop souvent teinté de présumé religieux.

La découverte de terrains entre la craie et l'argile plastique va ranimer ce débat : le calcaire de Faxe découvert en 1825 par Georg Forchhammer (1794-1865) à Stevns Klint au Danemark et le calcaire pisolithique en France à Meudon, calcaire décrit par Adolphe d'Archiac et Charles d'Orbigny (1806-1876) en 1836. Ces deux calcaires seront corrélés et réunis par Édouard Desor (1811-1882) en 1846 dans un étage qu'il nommera l'étage danien.

- *Le Danien relance le débat*

Lors de la première description de la falaise de Stevns Klint en 1825, Forchhammer note dans le calcaire grossier jaune au-dessus de la petite couche d'argile à poissons qui le sépare de la craie, la présence de nombreux univalves dont des cérithes lui permettant de rapprocher ce calcaire à Cérithes du calcaire grossier de Paris et de l'attribuer aux terrains tertiaires (en gris, figure 3).

² Il est à noter que Cuvier et Brongniart, comme Bory de Saint-Vincent, parlent d'un « calcaire ». Ce terme va rapidement disparaître au profit de celui de « craie » plus propre à rattacher ce terrain à la formation de la craie c'est-à-dire au Crétacé. Dès le milieu des années 1830, il est question de « craie supérieure de Maastricht ».

³ Traduction personnelle : « The elucidation of this curious point is the more important, because geologists of a certain school appeal to phenomena of this kind in support of their doctrine of great catastrophes, out of the ordinary course of nature, and sudden revolutions of the globe. »

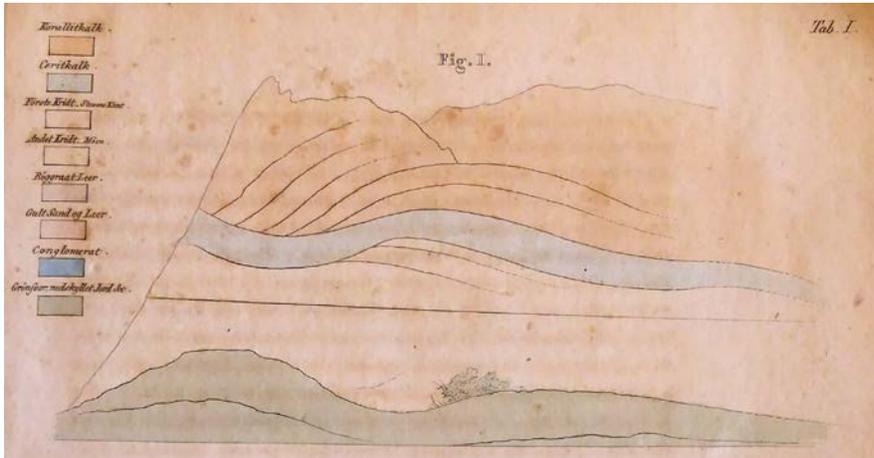


Figure 3 - De nouveaux terrains intermédiaires : la falaise de Stevns Klint (Forchhammer, 1826) (Source : Statens Naturhistoriske Museum, Copenhague, photo personnelle)

La fine couche d'argile, la lithologie et les fossiles très différents soulignent une discontinuité marquée qui tend à corroborer le catastrophisme. Cependant la présence, parmi les fossiles, de 20 % d'espèces crétacées contre 80 % d'espèces inconnues mais de genres plutôt tertiaires, et surtout la découverte de *Belemnites mucronatus* et de *Baculites faujasii* dans ce calcaire incitent Lyell venu sur le terrain en 1834, à considérer ce calcaire à Cérithes comme crétacé (Lyell, 1837-1840). Il le nomme calcaire de Faxø par corrélation avec un calcaire semblable que l'on trouve dans les carrières de Faxø à 35 kilomètres de Stevns. Pour Lyell, uniformitarien, la faune du calcaire de Faxø si différente de celle de la craie aurait pu être une de ces faunes intermédiaires qu'il suppose exister mais il affirme qu'il s'agit d'un récif corallien au milieu de la mer crétacée, préférant ainsi une explication biogéographique. Il lui est donc impossible, à cette époque, de penser sa propre théorie sur le terrain (Dreyer, 2017, p. 201).

À la différence du calcaire de Faxø, le calcaire pisolithique de Meudon, entre craie et argile plastique (figure 4), contient des fossiles en mauvais état et souvent sous forme d'empreinte, mais aucune espèce crétacée.

D'abord attribués à des espèces tertiaires par Deshayes lui-même, ces fossiles, retrouvés en bon état dans d'autres sites, s'avèrent appartenir à des espèces nouvelles non encore décrites, donc ni crétacées, ni tertiaires (au sens de l'époque, c'est-à-dire du calcaire grossier) mais de genres plutôt tertiaires. Dès lors, à quel terrain appartient le calcaire pisolithique ? La discontinuité stratigraphique, lithologique et paléontologique est telle que Deshayes, Ar-

chac et Charles d'Orbigny l'attribuent au terrain tertiaire. Par contre, Léonce Élie de Beaumont (1798-1874) et Armand Dufrénoy (1792-1857) sur des bases purement géologiques puis Édouard Hébert (1812-1890) en y associant les fossiles affirment que les terrains tertiaires commencent avec le soulèvement des Pyrénées marqué par le dépôt de l'argile plastique (Dreyer, 2017, p. 163-166). Situé sous l'argile plastique, le calcaire pisolithique appartient dès lors à la craie.

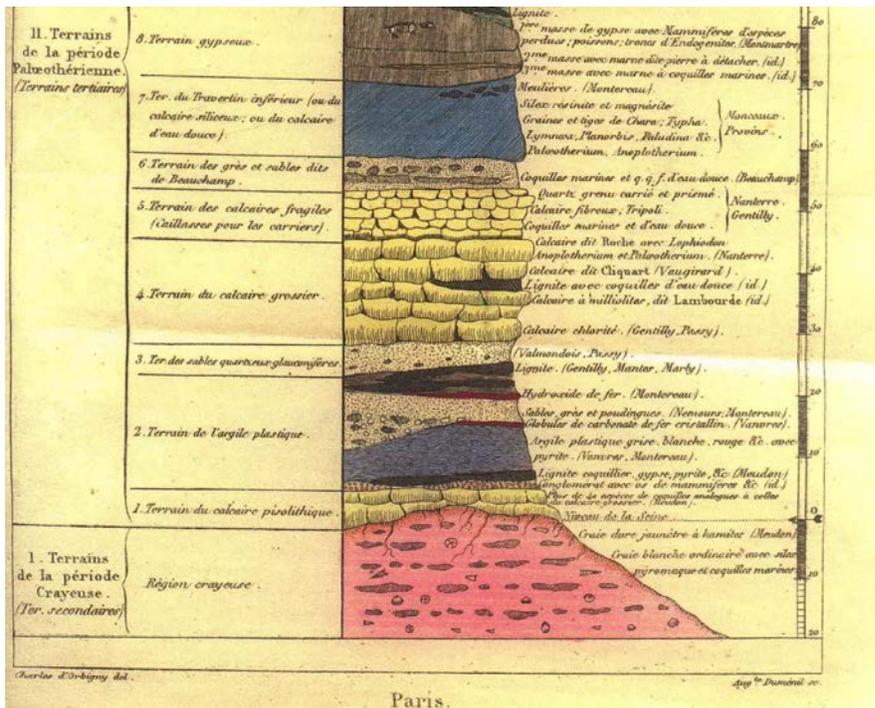


Figure 4 - De nouveaux terrains intermédiaires : extrait de la coupe théorique des terrains du bassin de Paris, dressée par Charles d'Orbigny en 1838 à l'appui d'un article sur les terrains parisiens publié dans le Dictionnaire pittoresque d'Histoire Naturelle, Volume 7, p. 126-141 (Source : collection de la SGF, photo personnelle)

On le voit ici, il n'est question que d'appartenance à l'une ou l'autre des formations. Les critères utilisés sont si disparates qu'il est impossible de trancher mais l'absence de continuité et la différence entre les terrains et les faunes sont telles que l'idée de limite s'impose à Deshayes.

Une limite entre grands systèmes

Ainsi, dans ces observations qui sont à l'origine d'un débat qui s'est poursuivi jusqu'à maintenant, il n'est question que de l'appartenance du Darnien à la formation crétacée ou tertiaire. En outre le critère paléontologique, en supposant que l'on puisse utiliser cette notion, ne permet pas d'arbitrer. Il n'en reste pas moins que la différence entre les faunes de la craie et du calcaire (pisolithique et de Faxé) est telle qu'il faudra bien l'interpréter en d'autres termes qu'une appartenance et lui attribuer une valeur intrinsèque. C'est poser, fut-ce de manière implicite, que cette discontinuité ne s'inscrit pas dans un pur cadre uniformitarien, mais souligne un événement temporel majeur.

- *La première occurrence : 1831*

Il ne s'agit pas encore de limite entre les terrains crétacés et tertiaires. Cette notion se dégagera progressivement. Deshayes évoque pour la première fois l'idée de limite lors d'une discussion théorique sur ce que l'on doit entendre par le terme « formation » :

Il faudra en conséquence que la définition la plus simple d'une formation soit celle-ci : *Un espace de temps représenté par un certain nombre des couches de la terre, déposées sous l'influence des mêmes phénomènes.*⁴ [...] on ne peut limiter une formation, sans avoir apprécié préalablement [...] les phénomènes et leur valeur respective. (Deshayes, 1832, p. 89)

Deshayes pose ainsi le problème de trouver les limites d'une formation, de préciser dans quelles conditions on pourra dire qu'une formation commence et qu'elle finit. Comme les caractères lithologiques d'une couche sont très variables alors que ceux des « êtres organisés » qu'elle contient le sont infiniment moins, Deshayes conclut :

[...] que, si l'on veut trouver un moyen, une mesure pour déterminer les limites d'une formation, on doit les chercher dans ce qui est le moins variable, on doit les prendre aussi dans ce qui présente quelque chose à l'esprit. [...] Dès lors une formation est une période zoologique. [...] Il faut donc con-

⁴ Il est à noter ici la notion de temps tout à fait explicite contrairement aux habitudes de l'époque. Il est rare en effet, dans cette première moitié du XIX^e siècle, de trouver en France l'expression du temps. Les tournures employées sont davantage liées aux roches : par exemple une roche appartient « à la craie » ou « à la formation de la craie ». Même le terme « crétacé » est utilisé comme adjectif associé au terme terrain et non dans le sens d'une période de temps.

naître les corps organisés pour décider les limites des formations. (Deshayes, 1832, p. 90)

L'histoire de la Terre est alors scandée par l'histoire des êtres organisés et les limites des couches, des formations sont déterminées par les changements de faunes. Cette notion de limite est ainsi sous-tendue par celle de catastrophe et de renouvellement total des espèces. Deshayes est à ce propos très explicite dans son raisonnement. En effet, il affirme :

Quand on pourra dire : Un tel ensemble d'êtres organisés a commencé à telle couche et a fini à telle autre couche, et à cet ensemble en a succédé un autre qui ne lui ressemble pas, on aura fixé définitivement la longueur d'une période de vie ou d'une formation ; et il n'en faut pas douter, dans l'ensemble des couches de la terre il y a plusieurs de ces périodes. (Deshayes, 1832, p. 90)

Deshayes compte effectivement cinq grandes catastrophes dans l'histoire de la Terre correspondant aux cinq plus grandes discontinuités paléontologiques mises en évidence jusque-là.

À ce panégyrique de la zoologie et de la paléontologie à l'usage des géologues, Dufrénoy (1832, p. 92) oppose « qu'en géologie, le nom de formation est donné à une série de couches déposées dans les mêmes circonstances ; comme, par exemple, entre deux soulèvements. » Aucune notion de temps ni de zoologie n'est avancée par Dufrénoy ; seuls des marqueurs géologiques sont proposés pour déterminer une formation : les soulèvements de montagnes, théorie chère à son collègue de la carte géologique Élie de Beaumont. Dufrénoy pense que géologie et paléontologie donneront le même résultat dans la mesure où les événements géologiques comme les « révolutions qui ont suivi les soulèvements » sont à l'origine des changements de faunes. Pour lui donc « l'étude des superpositions lui paraît la base actuelle de la séparation des terrains [...] ».

Il n'est pas question pour Dufrénoy de parler de limite. Il préfère le terme « séparation », revenant aux expressions géographiques et topographiques les plus communément utilisées : « ligne de contact », « ligne de séparation », « ligne de jonction », « ligne de démarcation », ou aux périphrases comme « le passage de la craie aux terrains tertiaires », etc.

- *Une limite sans critère bien défini*

En juin 1836, Deshayes utilisera à nouveau le terme de limite lors de la discussion sur la place à donner au calcaire pisolithique, plaçant la limite entre terrains crétacés et terrains tertiaires à la base du calcaire pisolithique (Deshayes, 1836, p. 292). Nous pouvons considérer que c'est à partir de cette

discussion que le problème de la distinction entre craie et terrains tertiaires se pose, en France, en termes de limite même si le terme n'est pas encore employé de façon systématique. La différence majeure vient de ce que les géologues décrivent avant tout les couches et leur localisation. Ce n'est qu'à partir du moment où ils commencent à penser la succession des couches en périodes de l'histoire de la Terre et de la vie, qu'ils emploient le terme de « limite ». La conception spatiale des couches est remplacée progressivement par une conception temporelle. Il en résulte que la discontinuité observée traduit une rupture, une catastrophe dans l'histoire de la vie à la surface de la Terre marquant une limite entre deux périodes de cette histoire alors que pour les uniformitariens, aucun évènement marquant ne ponctue l'histoire de la vie et aucune limite ne s'impose. C'est toutefois cette théorie qu'Élie de Beaumont pourtant catastrophiste, utilise en 1847 pour poser la question de l'existence même de limite et proposer un critère à utiliser. À partir d'un schéma très explicite (figure 5), il suppose l'existence de lacunes entre la craie et le calcaire pisolithique et entre celui-ci et l'argile plastique (Éocène).

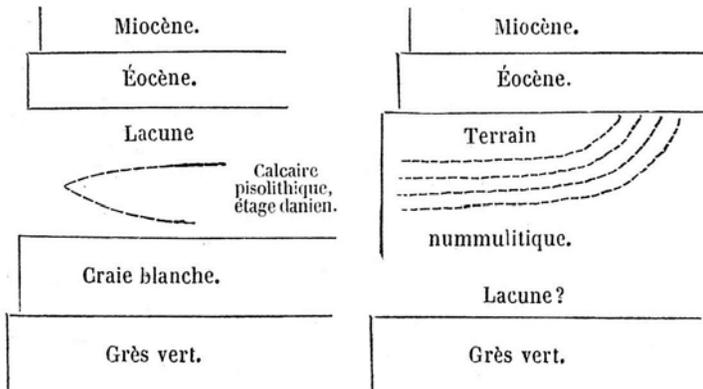


Figure 5 - Relations de gisement entre les terrains crétacés et supra-crétacés, dans le nord de la France, à gauche, et dans le bassin de la Méditerranée, à droite (Élie de Beaumont, 1847) (Source : jubilotheque de l'Université Pierre et Marie Curie, <http://jubilotheque.upmc.fr/>)

Il pense que si la série s'avérait continue, plus aucune limite ne serait nécessaire et si l'on tient à distinguer terrains tertiaires et terrains crétacés, alors il faudrait prendre comme limite la révolution qui a « détruit et remanié les couches du calcaire pisolithique [...] et] la craie [...]. Cette révolution a coïncidé avec le soulèvement des Pyrénées » (Élie de Beaumont, 1847, p. 569). Soulignons ici l'ambiguïté d'Élie de Beaumont qui adopte la doctrine

uniformitarienne pour affirmer qu'il n'y a pas de limite et propose dans le même temps la révolution liée au soulèvement des Pyrénées, évènement pour le moins catastrophique dans la description qu'il en donne, pour donner une limite entre terrains crétacés et tertiaires.

En définitive, quel critère utiliser pour établir la limite entre les terrains crétacés et les terrains tertiaires : un critère géologique comme le pense Élie de Beaumont, ou un critère paléontologique comme le pensent Archiac, Deshayes, Charles et Alcide d'Orbigny ? Selon le critère choisi, la position de la limite change et il leur est impossible de trouver un consensus faute de critère bien établi et accepté pour déterminer une limite stratigraphique

- *À la recherche de critère(s)*

Le critère stratigraphique avec ses relations de superposition, demeure essentiel quand il est accessible mais il sera démontré au cours des décennies suivantes qu'il peut ne pas exister, alors même qu'il y a une limite entre deux périodes géologiques.

Les caractères lithologiques étant extrêmement variables d'un point à l'autre d'une couche, le critère lithologique disparaît peu à peu au profit du critère paléontologique.

Le critère paléontologique devient prédominant et la définition de la formation par Deshayes en 1831 trouve toute sa valeur. Cependant ce critère est utilisé très différemment selon les géologues et il leur est bien difficile de s'y retrouver dans ce désordre.

La présence d'une seule espèce fossile suffit à certains pour faire des corrélations ou attribuer un âge relatif. C'est, par exemple, sur la seule espèce *Cidaris forchhammeri* que Desor établit, en 1846, la corrélation entre le calcaire de Faxe et le calcaire pisolithique en un étage qu'il appelle étage danien, corrélation que réfute violemment Archiac (1851, p. 243). Le calcaire de Faxe contenant bélemnites et baculites caractéristiques de la craie, cette corrélation est à l'origine du ralliement des catastrophistes à ceux qui attribuent le calcaire pisolithique au Crétacé.

Un ensemble d'espèces fossiles (présentes ou absentes) jugées caractéristiques est le plus souvent nécessaire, cependant tous n'utilisent pas les mêmes espèces ou les mêmes groupes pour établir leurs subdivisions qui peuvent, de ce fait, ne pas coïncider. Ainsi, pour Alcide d'Orbigny, toutes les espèces présentes dans un étage le caractérisent puisqu'elles apparaissent au début de l'étage et disparaissent à la fin. Pour les grandes subdivisions, il utilise les genres qui passent d'un étage à un autre. Par une analyse de leur abondance, il interprète la chute du nombre de genres qui précède l'étage danien par une dégénérescence de la faune crétacée qui culmine au Danien. La période tertiaire commence alors avec l'apparition de nouveaux genres,

après le Danien. Il va donc plus loin que tous les autres et utilise explicitement le critère « apparition » pour établir la limite entre les périodes crétacée et tertiaire (Orbigny, 1852a, b).

Dans le même temps, le hiatus entre craie et terrains tertiaires est tel que Lyell rassemble l'ensemble des couches entre la craie de Maastricht (à laquelle il rattache le calcaire de Faxé) et l'Éocène, du calcaire pisolithique inclus aux sables de Thanet⁵, « dans un nouveau système qu'il propose de placer entre la période crétacée et la période tertiaire » (Hébert, 1852, p. 862) mais sans le rattacher ni à l'un ni à l'autre de ces deux systèmes.

Jusqu'aux années 1870, demeure ainsi la difficulté de trouver des critères solides pour établir les limites. Le problème du choix des critères est clairement posé au premier Congrès international de géologie qui se tient à Paris du 29 août au 4 septembre 1878.

Une première définition de la limite

Le premier Congrès international de géologie à Paris en 1878 marque un tournant dans l'approche de la notion de limite.

Ce congrès se tient à un moment clé des sciences naturelles du XIX^e siècle. La publication par Darwin de *L'Origine des espèces* en 1859 et le débat Pasteur-Pouchet à l'Académie des Sciences, mettant fin à l'idée de la génération spontanée, imposent celle de la transformation des espèces par modifications successives ou théorie de la descendance avec modification. C'est aussi une période où se produit l'élargissement des connaissances géologiques au monde entier. Il devient dès lors nécessaire de s'accorder sur les grands principes, la nomenclature et les représentations.

Le programme du congrès est éloquent. Sur les cinq grands thèmes abordés, deux concernent la notion de limite.

Le premier aborde l'étude de limites entre les couches sédimentaires les plus anciennes — les limites des terrains cambrien et silurien, des terrains carbonifères et le permien et enfin la limite entre le trias et le lias. Il semble donc qu'au moment du premier congrès international la limite entre terrains crétacés et tertiaires ne pose pas de problème ; elle est probablement admise. À la suite de la présentation de Peter Lesley (1819-1903) sur les limites du terrain carbonifère et du terrain permien en Amérique, Hébert observe :

⁵ Ainsi, Lyell, comme Archiac, ne conserve pas la corrélation entre le calcaire de Faxé — contenant bélemnites et baculites donc, pour lui, crétacé — et le calcaire pisolithique qui n'en contient pas et serait par conséquent plus récent.

Ce changement si considérable dans la vie des animaux et des végétaux n'a été accompagné d'aucune modification notable dans la nature et la disposition des sédiments. [...] Ainsi, quelles que soient la concordance des couches et la continuité apparente de la sédimentation, la paléontologie est toujours là pour indiquer les limites des époques géologiques. (Hébert, 1880, p. 135-136)

En conséquence, alors que la sédimentation est continue et que la stratigraphie n'en donne aucun indice, la paléontologie indique clairement une limite entre deux terrains. Le critère paléontologique est donc le seul indicateur fiable. Mais comment l'utiliser ?

- *Les extinctions, seul critère possible*

Lors de la séance du 2 septembre, Edward D. Cope (1840-1897), paléontologiste du *Geological Survey* des États-Unis, remarque :

Nous sommes à présent habitués à établir nos définitions sur toutes les particularités de faunes que nous pouvons saisir, par exemple : la période d'apparition, la durée et la disparition de certains types, en nous appuyant sur les ordres, les familles, les genres pour les grandes divisions, et sur les espèces dans une localité donnée, pour les subdivisions. (Cope, 1880, p. 150)

Jusqu'ici les limites entre les terrains sont appuyées sur des faits paléontologiques, certes, mais il n'y a pas de consensus sur la manière de les utiliser. Pour obtenir un système stable, il est nécessaire pour Cope de préciser enfin « la nature de l'évidence sur laquelle nous pourrions fonder une classification des faunes et des dépôts qui les contiennent. » Puis il discute la valeur relative des changements de faunes caractérisés par les apparitions et disparitions d'espèces.

Mais, [...] il y a un fait patent, reconnu à la fois par les partisans et par les adversaires de la doctrine de dérivation. Il est notoire que le monde, à chaque âge de son histoire, a vu s'éteindre d'importants types d'êtres vivants. (Cope, 1880, p. 150)

Quelle que soit l'idée que l'on se fasse de la manière dont disparaissent et apparaissent les espèces, l'histoire de la vie montre des discontinuités, des extinctions importantes d'espèces.

Par conséquent, si l'on considère « le principe de descendance », des modifications successives permettent l'apparition d'une espèce. Il est donc impossible de « déterminer exactement le temps auquel on peut attribuer l'apparition de tel ou tel type », rendant par là même le critère « apparition »

d'Alcide d'Orbigny caduc. Plus caractéristique est le moment de la disparition des espèces. « Pour ces raisons, je dois regarder le dernier criterium comme le véritable dans la distinction des subdivisions du temps géologique ». Ainsi donc, la disparition des espèces peut seule être suffisamment précise. Cependant, il existe deux causes à la disparition d'une espèce, l'extinction et la modification.

Le cas de disparition par modification est identique à celui d'apparition par modification, et ne peut être employé autrement dans la classification. C'est donc aux périodes d'extinction des types que nous devons avoir égard. (Cope, 1880, p. 151)

Ainsi, est proposé pour la première fois un critère précis et fiable pour déterminer les limites entre les terrains : une période d'extinction des espèces.

Cope utilise alors ce critère dans sa communication afin de corréliser les « niveaux de vertébrés » entre l'Amérique du Nord et l'Europe. Cependant, l'utilisation de ce critère sera-t-elle suffisante ?

- *Une extinction de masse à la limite du Crétacé et du Tertiaire*

Albert de Grossouvre (1849-1932) utilise magistralement ce critère en 1897 pour placer la limite du Crétacé et du Tertiaire à la base du Danien juste après l'extinction d'un grand nombre de groupes d'êtres vivants.

Placée où je viens de l'indiquer, cette coupure correspond à une date importante dans l'histoire du développement de la vie animale à la surface du globe (1). À ce moment précis s'éteignent toute une série d'êtres qui avaient joué un rôle considérable dans la faune des terrains secondaires. Les Ammonites, dont les dépouilles remplissent certaines couches crétacées, disparaissent subitement, sans que rien, dans les événements qui avaient précédé cet instant, soit de nature à faire présager leur fin prochaine. Avec elles s'éteignent tous les Céphalopodes à cloisons persillées, Scaphites, Baculites, Hamites et aussi les Bélemnites qui avaient jonché de leurs rostrés tant de lits jurassiques. Les Rudistes, Hippurites, Sphérolites, Radiolites, dont les coquilles avaient édifié des couches puissantes, s'éclipsent au même moment. Bien d'autres groupes sont aussi atteints : Inocérames, etc.

Il y a donc eu là pour certains groupes d'êtres un arrêt brusque et en quelque sorte instantané qui n'est pas sans causer une vive surprise à l'observateur habitué à constater d'ordinaire l'enchaînement et la continuité des faunes. On peut dire, sans exagération, qu'on est en présence d'une des dates les plus remarquables de l'histoire de la terre. (Grossouvre, 1897, p. 72 et suiv.)

Pour Grossouvre, il s'agit d'une extinction de masse à la fin du Crétacé, un moment très particulier de l'histoire de la Terre, brutal, somme toute catastrophique, détonnant quand jusque-là les faunes s'enchaînent en continu. Mais il ne s'agit pas d'une extinction totale comme il le fait remarquer dans une note de bas de page ajoutée lors de l'impression du Mémoire.

- (1) Il est bien évident d'ailleurs qu'il n'existe pas en ce point un hiatus complet et un renouvellement intégral des faunes. On sait, en effet, qu'un certain nombre d'espèces passent du Crétacé dans le Tertiaire, mais leur présence ne suffit pas pour autoriser à dire que la zone à *N. danicus* se rattache plus naturellement au premier qu'au second, car les espèces en question, douées d'une grande longévité, n'ont aucune valeur au point de vue stratigraphique : ce sont ce que l'on appelle des espèces indifférentes : telles sont par exemple *Pecten quadricostatus* qui est apparu à l'époque turonienne et se retrouve dans le calcaire pisolithique ; *Ostrea lateralis* qui a commencé à se montrer dans le Néocomien et se retrouve dans le Tertiaire incontesté, etc.

Au contraire, les données paléontologiques basées sur la disparition de groupes entiers de fossiles importants conduisent nécessairement à placer la limite au point proposé et elle se justifie d'autant mieux qu'elle coïncide avec l'apparition des Nummulites (Voir in Seunes, p. 109). (Note ajoutée pendant l'impression). (Grossouvre, 1897, p. 72)

Certains fossiles peuvent passer du Crétacé au Tertiaire et ont une longue durée de vie ce qui leur enlève toute valeur stratigraphique. On voit poindre ici la notion de fossile stratigraphique, fossile de durée de vie suffisamment courte pour être caractéristique d'une période donnée. Parmi ces fossiles sans signification stratigraphique, il cite *N. danicus* et *Pecten quadricostatus* deux fossiles utilisés justement par Hébert pour rattacher le calcaire pisolithique et l'étage danien au Crétacé.

L'affaire est convaincante mais à la fin de la lecture de ce mémoire, lors de la discussion, Henri Douvillé (1846-1937) met en doute la validité de ses choix concernant la zone litigieuse à *N. danicus* et *Micraster* du fait même que cette zone, ce terrain « ne présente pas encore de Nummulites ». Sur la base de cette observation et préférant le critère « apparition », dans la continuité d'Alcide d'Orbigny, Douvillé (1897, p. 81) estime qu'« il serait préférable de continuer à ranger cette zone dans le Crétacé ». Grossouvre répond à cet argument dans sa note sur épreuves. Mais, Douvillé est aussitôt appuyé par Ernest Munier-Chalmas (1843-1903) :

Les limites tracées entre les terrains tertiaires et crétacés par son savant confrère, ne sont pas imposées par des nécessités d'ordre stratigraphique et [...] elles ont le désavantage, au moins en apparence, étant donné nos connais-

sances actuelles, d'être peu ou pas en harmonie avec les données paléontologiques. (Munier-Chalmas, 1897, p. 81)

À une extinction de masse, critère proposé par Grossouvre, Douvillé et Munier-Chalmas opposent deux autres critères dont on a déjà démontré le peu de valeur, l'absence de Nummulites et l'absence d'une limite stratigraphique. Le critère proposé par Cope au cours du premier Congrès international de géologie est donc encore loin d'être communément admis en cette fin de XIX^e siècle. Munier-Chalmas impose la grande transgression thanétienne comme marqueur du début du Tertiaire.

Du catastrophisme à l'extinction de masse

Ainsi, au début du XIX^e siècle, la description et la classification des terrains, la discontinuité entre la craie et l'argile plastique, ont conduit Cuvier et Brongniart à distinguer les terrains de la craie des terrains tertiaires. À ce moment, tout nouveau terrain découvert dans le Bassin de Paris appartient à l'une ou l'autre de ces formations.

L'évidence que les faunes changent d'une couche à l'autre permet de passer d'une conception essentiellement spatiale des différentes couches à une conception temporelle de la succession des couches qui racontent ainsi l'histoire de la vie à la surface de la Terre. La discontinuité marquée entre les formations crétacée et tertiaire est interprétée très différemment selon les auteurs. Les uniformitariens comme Lyell pensent que, les faunes ayant changé très progressivement, il existe et que l'on trouvera des terrains intermédiaires. Le calcaire de Maastricht en continuité avec la craie en est un bon exemple. Cependant les terrains daniens ne présentent pas une telle continuité et comme le calcaire pisolithique ne contient aucune espèce crétacée ni aucune espèce tertiaire, ils renforcent une idée de catastrophe entre le dépôt de la craie et celui des terrains tertiaires. Les catastrophistes comme Deshayes et Alcide d'Orbigny sont confortés dans leur position : c'est bien une catastrophe qui crée une limite entre terrains crétacés et terrains tertiaires.

L'idée de limite entre les formations s'est imposée vers 1840 en France. Mais en l'absence de consensus sur les critères à utiliser (stratigraphiques, lithologiques ou paléontologiques) pour en établir la position, celle-ci reste indécise, avant ou après le Danien selon les auteurs. Cependant au cours du XIX^e siècle, le critère paléontologique s'impose alors que de nombreux débats au sujet de la position des diverses limites fleurissent en France, en Angleterre comme aux États-Unis. Ces débats résultent de l'utilisation de critères paléontologiques différents. Le critère d'une limite est-il la disparition ou l'apparition d'espèces nouvelles ? C'est l'une des préoccupations majeures

du premier Congrès international de géologie qui se tient à Paris en 1878. Cope rappelle que, selon le principe de descendance, les espèces apparaissent par modifications successives. Leur disparition peut se faire par modification ou par extinction. Mais, leur apparition — comme leur disparition par modification — ne peut pas être établie aussi sûrement que leur disparition par extinction. Par conséquent, selon Cope, seules les extinctions d'espèces et de groupes permettent d'établir clairement les limites des formations.

C'est ainsi que procède Grossouvre en 1897 pour placer la limite du Crétacé et du Tertiaire à la base du Danien, là où se produit l'extinction (un arrêt brusque et en quelque sorte instantané) d'un grand nombre de groupes (Ammonites, Bélemnites, etc.). L'étage danien est *de facto* tertiaire et suit l'extinction massive de la faune crétacée. Le catastrophisme du début du XIX^e siècle, empreint de présupposé religieux, qui avait laissé la place à un transformisme supposant des changements progressifs de faunes, refait surface à l'appui des faits mais sans être nommé et, cette fois-ci, débarrassé de toute connotation religieuse ou philosophique (Dreyer, 2017). Mais les réticences de la communauté scientifique sont grandes et l'influence de Grossouvre ne sera pas suffisante pour imposer le critère d'une extinction de masse et changer le statut du Danien. Celui-ci restera crétacé pour quelques décennies encore.

Références

- ARCHIAC Adolphe d' (1836), « Présence d'un banc de calcaire grossier, placé entre l'étage de l'argile plastique et la formation crayeuse dans la colline de Meudon, contre la montée des Moulineaux », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 7, p. 272-276.
- ARCHIAC Adolphe d' (1851), *Histoire des Progrès de la Géologie de 1834 à 1850, Tome 4. Formation crétacée*, 1^{re} partie, Paris, Au Lieu des Séances de la Société.
- ARCHIAC Adolphe d' (1866), *Géologie et Paléontologie*, Paris, Savy.
- BORY DE SAINT-VINCENT (Colonel) (1821), *Voyage souterrain, ou description du plateau de Saint-Pierre de Maestricht et de ses vastes cryptes*, Paris, Ponthieu.
- BRONGNIART Alexandre (1821), « Sur les caractères zoologiques des formations, avec l'application de ces caractères à la détermination de quelques terrains de la craie », *Annales des Mines*, vol. 6, p. 537-572.
- COPE Edward (1880), « Sur les relations des niveaux de vertébrés éteints dans l'Amérique du Nord et en Europe », *Congrès international de géologie : comptes rendus sténographiques du Comité central des Congrès et Conférences*, Paris, Imprimerie nationale, p. 144-163.

- CORSI Pietro (1978), « The Importance of French Transformist Ideas for the Second Volume of Lyell's Principles of Geology », *The British Journal for the History of Science*, vol. 11, p. 221-244, doi : 10.1017/S0007087400043788
- CUVIER Georges & BRONGNIART Alexandre (1808), « Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris », *Annales du Muséum d'histoire naturelle*, t. 11, p. 293-326.
- CUVIER Georges & BRONGNIART Alexandre (1811), *Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris, avec une carte géognostique, et des coupes de terrain*, Paris, Baudoin.
- CUVIER Georges & BRONGNIART Alexandre (1822), *Description géologique des environs de Paris, Nouv. éd., dans laquelle on a inséré la description d'un grand nombre de lieux de l'Allemagne, de la Suisse, de l'Italie etc. qui présentent des terrains analogues de ceux du Bassin de Paris, par M. Alex. Brongniart*, Paris, G. Dufour et E. d'Ocagne.
- DESHAYES Gérard-Paul (1832), « Observations sur un mémoire pour apprécier les avantages de la paléontologie appliquée à la géologie et à la géogénie de M. Boué », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 2, p. 88-91.
- DESHAYES Gérard-Paul (1836), « Réponse aux observations de M. Élie de Beaumont à la communication de M. Ch. d'ORBIGNY : note sur le Terrain nouvellement découvert à Meudon », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 7, p. 292-293.
- DESHAYES Gérard-Paul (1838), *Notes sur des publications faites par M. G.-P. Deshayes, (4août 1838)*, Paris, Bourgogne et Martinet.
- DESOR Édouard (1847), « Sur le terrain danien, nouvel étage de la craie », *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 2, t. 4, p. 179-182.
- DOUVILLÉ Henri (1897), « Observations », *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 3, t. 25, p. 80-81.
- DREYER Françoise (2017), *La controverse sur l'étage danien dans la fixation de la limite entre terrains crétacés et tertiaires : émergence de la notion de limite dans la géologie du XIX^e siècle*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- DUFRENOY Armand (1832), « Observations à la réponse de M. Deshayes au mémoire de M. Boué sur les avantages de la paléontologie... », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 2, p. 92.
- ÉLIE DE BEAUMONT Léonce (1847), « Note sur la manière de classer la partie de la série des terrains stratifiés qui s'étend du grès vert au calcaire grossier », *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 2, t. 4, p. 562-569.
- FORCHHAMMER Georg (1826), « Om de geognostiske Forhold i en Deel af Sjælland og Naboøerne » [« Sur les relations géognostiques dans une partie de la Sjælland et des îles environnantes »], *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Naturvidenskabelige og Mathematiske Afhandlinger*,

- [*Mémoires de l'Académie royale danoise des Sciences section sciences naturelles et mathématiques*], Partie II, p. 245-280.
- GAUDANT Jean (1982), « Actualisme, antiprogressionnisme, catastrophisme et créationnisme dans l'œuvre d'Alcide d'Orbigny (1802-1857) », *Travaux du Comité français d'histoire de la géologie*, sér. 1, n° 46, p. 66-75.
- GROSSOUVRE Albert de (1897), « Sur la limite du Crétacé et du Tertiaire », *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 3, t. 25, p. 57-80.
- HÉBERT Edmond (1852), « Note sur la limite qui sépare le terrain crétacé du terrain tertiaire », *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, t. 35, p. 862-865.
- HÉBERT Edmond (1880), « Remerciements à M. le professeur Lesley », *Congrès international de géologie : comptes rendus sténographiques du Comité central des Congrès et Conférences*, Paris, Imprimerie nationale, p. 135-136.
- HOOYKAAS Reijer (1963), *The Principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology. Natural Law and Divine Miracle*, Leiden, E. J. Brill (2^e édition). Traduction française par René Pavans : *Continuité et discontinuité en géologie et biologie*, Paris, Seuil, 1970.
- LYELL Charles (1830), *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, Volume 1, Londres, J. Murray.
- LYELL Charles (1832), *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, Volume 2, Londres, J. Murray.
- LYELL Charles (1833), *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation*, Volume 3, Londres, J. Murray.
- LYELL Charles (1837-1840), « On the Cretaceous and Tertiary Strata of the Danish Islands of Seeland and Möen », *Transactions of the Geological Society of London*, serie 2, vol. 5, p. 243-257.
- MUNIER-CHALMAS Ernest (1897), « Observations », *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 3, t. 25, p. 81.
- ORBIGNY Alcide d' (1852a), *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques*, Tome 2, Fascicule 1, Paris, Victor Masson.
- ORBIGNY Alcide d' (1852b), *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques*, Tableaux, Paris, Victor Masson.
- ORBIGNY Charles d' (1836), « Note sur le Terrain nouvellement découvert à Meudon », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 7, p. 280-293.
- PRÉVOST Constant (1830), « Considérations sur la valeur que les géologues modernes donnent à diverses expressions fréquemment employées par eux », *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 1, p. 19-26.

- RAINER Ronald (2009), « Paleontology », dans Peter J. BOWLER et John V. PICKSTONE (éds.), *Cambridge History of Sciences*, Volume 6, New York, Cambridge University Press, p. 185-204.
- RUDWICK Martin J. S. (1985), *The Great Devonian Controversy: The Shaping of Scientific Knowledge among Gentlemanly Specialists*, Chicago, University of Chicago Press.
- RUDWICK Martin J. S. (1997), *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes*, Chicago, University of Chicago Press.
- RUDWICK Martin J. S. (2005), *Bursting the limits of time: the reconstruction of geohistory in the age of revolution*, Chicago/Londres, University of Chicago Press.
- RUDWICK Martin J. S. (2008), *Worlds before Adam: the reconstruction of geohistory in the age of reform*, Chicago/Londres, University of Chicago Press.