



HAL
open science

Voir et dire le Danien : un exemple de changement de cadre de pensée en géologie

Françoise Dreyer

► **To cite this version:**

Françoise Dreyer. Voir et dire le Danien : un exemple de changement de cadre de pensée en géologie. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2018, 3ème série (tome 32), pp.45-61. hal-04149474

HAL Id: hal-04149474

<https://hal.science/hal-04149474>

Submitted on 3 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Voir et dire le Danien : un exemple de changement de cadre de pensée en géologie

Françoise DREYER

Centre François Viète (EA 1161), université de Nantes
Francoise.Dreyer@univ-nantes.fr

Résumé. Cet article examine le lien étroit ayant existé tout au long du XIX^e siècle entre les observations faites sur la limite Crétacé-Tertiaire et leur contextes théoriques, et tout particulièrement sur le sens à donner à l'étage danien, au Danemark jusqu'en 1835, puis en France. Le crédit que l'on peut accorder aux fossiles est un questionnement central dans cette démarche. On montre comment on passe des inventaires locaux à l'organisation d'une discipline interne à la géologie, la paléontologie stratigraphique, validée après 1840. L'évolution et l'apport de cette dernière à la définition de ce moment particulier qu'est la limite Crétacé-Tertiaire, correspond à l'intégration de la place des fossiles dans l'histoire de la vie au lieu de la seule histoire de la Terre, et ne prend vraiment sens qu'en s'associant au transformisme puis aux théories de l'évolution. Ce changement contribue ainsi à la sécularisation de la géologie en remplaçant le couple catastrophes/créations encore actif chez Alcide d'Orbigny, par le couple catastrophes naturelles/sélection, conforme à l'esprit de la biologie darwinienne.

Mots-clés : Danien – fossiles – stratigraphie paléontologique – limite Crétacé-Tertiaire – Johan-Georg Forchhammer.

Abstract. The present reviews the interpretations and a contextualization of data concerning the K/T boundary, acquired all along the 19th century, first in Denmark until 1835, then afterward in France. Special emphasis is placed on the actual meaning of the Danian stage. The credit to be granted to fossils constitutes a central questioning of our approach. We show how local repositories of fossils have contributed to the organization of a novel field, named paleontological stratigraphy, within the more general framework of geology. Paleontological stratigraphy is validated after 1840. Its evolution as well as its contribution to the definition of that singular moment of the K/T boundary corresponds to the integration of the place of fossils in the History of life instead of the History of Earth. Paleontological stratigraphy takes its full meaning after becoming associated with transformism and, later, with evolutionary theories. It contributed to the secularization of geology by replacing the couple catastrophism/creations, still active in Alcide d'Orbigny's work, by the couple natural disasters /natural selection in the spirit of Darwinian biology.

Keywords : Danian – fossils – paleontological stratigraphy – K/T boundary – Johan Georg Forchhammer.

Le regard porté sur un paysage et l'interprétation géologique qui en est faite varient d'un observateur à l'autre et d'une époque à l'autre. Ces changements sont l'écho de l'évolution des idées en géologie. C'est ainsi que la falaise de Stevns (Stevns Klint) en Seeland au Danemark (Fig. 1) a fait l'objet d'observations et

d'interprétations divergentes depuis le milieu du XVIII^e siècle, et ce jusqu'aux années 2000. On peut distinguer des périodes très différentes dans la « lecture » de Stevns Klint et, au-delà, dans la question de la limite entre terrains crétacés et tertiaires. La première période, de 1750 à 1835, illustre parfaitement le glissement des critères

mis en jeu en stratigraphie et le changement de cadre de pensée qui s'effectue au cours de la première moitié du XIX^e siècle lors de l'introduction de la paléontologie en stratigraphie. Autour des années 1840, la paléontologie stratigraphique s'impose comme la discipline la mieux à même de répondre à des corrélations dans le temps et l'espace. Puis, de la fin du XIX^e jusqu'au début du XXI^e siècle, la querelle des limites montre la difficulté de déterminer ce qu'est

une discontinuité stratigraphique au moyen de la seule paléontologie faute d'un consensus suffisamment robuste sur les critères à utiliser. En ce sens, la falaise de Stevns a constitué un véritable objet épistémique (Rheinberger, 1997) dont l'intérêt ne s'est épuisé qu'après la fixation de la limite Crétacé-Tertiaire par une approche indépendante, devenant alors un simple lieu d'excursion géologique.



Fig. 1. Falaise de Stevns ou Stevns Klint – Danemark (© Françoise Dreyer). À la base, la craie avec un lit de silex horizontal. Surplombant la craie, un calcaire corallien avec des lits de silex incurvés et se recoupant (interprétés par Lyell comme une stratification oblique). Entre les deux, on peut observer un niveau de lentilles ou cuvettes d'un autre calcaire souligné par une fine couche d'argile noire

1750-1835 : la paléontologie, recours nécessaire mais incertain

Les limites du critère lithologique

Bien avant le XVIII^e siècle, la disposition très particulière des lits de silex dans la falaise de Stevns et la présence de très nombreux fossiles dans la craie et le calcaire qui la surplombe ont fait la renommée de cette falaise. Singulière d'aspect, la falaise est présente dans l'imaginaire danois, mais ce paysage n'est décrit en termes scientifiques qu'en 1759 par Søren Abildgaard (1718-1791), dans un ouvrage de 50 pages accompagnées de deux planches de fossiles et

surtout d'une très belle gravure (Fig. 2). Le paysage présente deux couches bien distinctes : la « *craie fine* » à la base avec ses lits de silex horizontaux, surplombée par un « *calcaire grossier* » aux lits de silex « *entremêlés [et] formant des vagues* ». Il donne les noms génériques de quelques fossiles (Echinites, Anomites, pomme de mer, etc.), note leur affinité tropicale et insiste sur leur relation avec le silex indépendamment de leur position dans la falaise. Il s'interroge cependant sur la façon dont ces animaux marins « *tropicaux* » peuvent être actuellement à quelques dizaines de mètres au-dessus du niveau de la mer et évoque un feu souterrain, une explosion provoquant le soulèvement des fonds

marins plutôt qu'une inondation. Il s'agit ici du regard d'un géographe doté d'une formation de chimiste, amateur d'histoire naturelle et collectionneur, d'un chimiste intéressé par la formation

des silex et qui s'interroge sur les théories de la Terre. Ce n'est pourtant pas celui d'un géologue et s'inscrit dans l'« air du temps » du monde savant danois de l'époque.

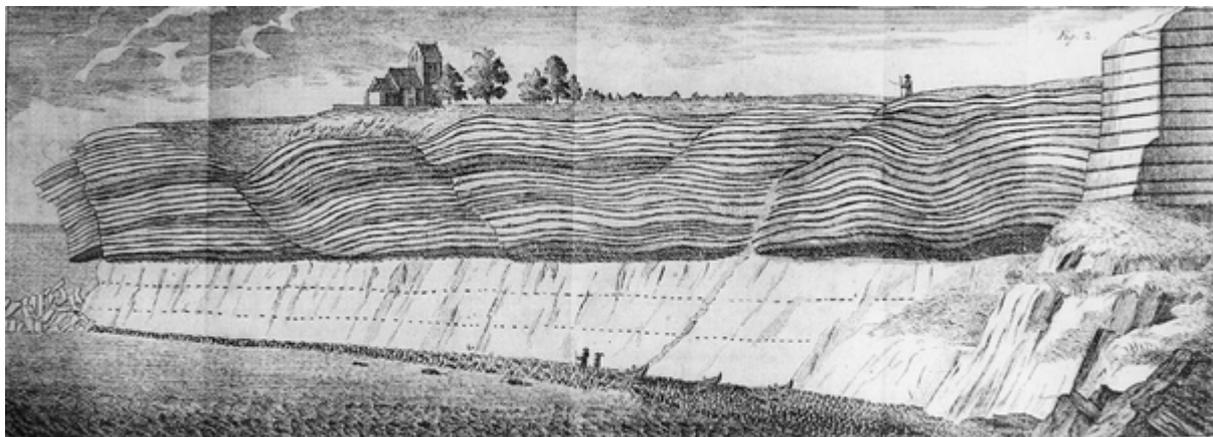


Fig. 2. Gravure de Søren Abildgaard (1764, traduction allemande de 1759 ; BNF). Abildgaard distingue deux couches, la craie fine et un calcaire grossier en surplomb, caractérisées par leurs lits de silex. L'auteur représente sur la gauche de la gravure un éboulement semblable à celui qui s'est produit le 17 mars 1928, emportant le chœur de l'église de Højerup (visible sur la gravure). Un tel éboulement est visible sur la droite de la Fig. 1

Un demi-siècle plus tard, en 1810, Henrik (ou Heinrich) Steffens (1773-1845) décrit entre la craie et le calcaire surplombant, une fine « couche de marne noirâtre composée de fines lamelles » dont c'est la première indication (Garboe, 1959, p. 202). Le regard se fait ici plus aigu, plus précis. C'est celui d'un *Naturphilosoph*, véritable minéralogiste et géologue formé à la Bergakademie de Freiberg, célèbre école dirigée par Abraham Gottlob Werner (1749-1817), qui basait sa géologie sur la lithologie. Steffens est donc très attaché à la description minéralogique des différentes couches et à leur ordre de superposition. Ayant beaucoup étudié les argiles et leur chimie, il ne manque pas d'observer la fine couche d'argile noire si caractéristique à Stevns Klint, mais qui n'avait pas retenu l'attention d'Abildgaard. Les fossiles, même si certains sont cités, ne font pas l'objet d'une étude précise et exhaustive. Jusque-là, les différentes couches sont repérées avant tout par leur lithologie.

L'introduction de la paléontologie dans la lecture de la falaise

Quinze ans plus tard, en 1825, Johan Georg Forchhammer (1794-1865) introduit la paléontologie

dans un mémoire sur des observations réalisées à Stevns Klint en 1823, mais reprises en 1824 après que l'interprétation a été controversée par ses pairs.

En 1823, Forchhammer réalise ses premières observations dans un contexte où les fossiles prennent une signification temporelle. William Smith (1768-1839), Georges Cuvier (1769-1832) et Alexandre Brongniart (1770-1847) avaient montré que les fossiles changent d'une couche à l'autre et qu'ils permettent ainsi de les caractériser et de les dater les unes par rapport aux autres. En 1821, Brongniart avait fait une corrélation à grande distance à partir des fossiles, exclusivement, et considérait que, en cas de désaccord, le critère paléontologique prévalait sur le critère lithologique (Grandchamp, 1999, p. 882).

De son côté, Forchhammer, convaincu par les travaux de Cuvier et Brongniart (1822) sur lesquels il s'appuie pour faire la lecture de la falaise de Stevns, avait compris qu'il n'était plus possible de faire de la géologie sans l'étude des fossiles.

Cette étude menée à Stevns Klint lui permet de distinguer, entre la craie et le calcaire corallien, juste au-dessus de la fine couche d'argile, un autre calcaire contenant de nombreux univalves dont des *Cerithium*, fossiles que l'on ne trouve ni dans la craie ni dans le calcaire situé au-dessus. Par analogie avec le modèle du bassin de Paris décrit par Cuvier et Brongniart, qui n'avaient trouvé aucun univalve dans la craie, sauf un *Trochus*, Forchhammer assimile ce calcaire à cérithes au calcaire grossier et la fine couche d'argile à l'argile plastique, et conclut logiquement que ce calcaire à cérithes est tertiaire. Sur sa coupe de Stevns Klint, Forchham-

mer représente le calcaire à cérithes et l'argile en une couche régulière ondulante (Fig. 3) alors que, dans son texte, il précise que le calcaire à cérithes se rapproche tantôt du calcaire surplombant, tantôt de la craie. Cette couche de roche indurée n'est donc pas homogène. Les outils conceptuels permettant de comprendre l'absence de l'argile et du calcaire à cérithes par endroits n'existent pas encore. Imprégné des théories neptuniennes de l'époque, qui postulent le dépôt de couches successives et parallèles, il dessine des dépôts réguliers en une couche homogène, interprétation qui contredit les observations exposées dans son texte.

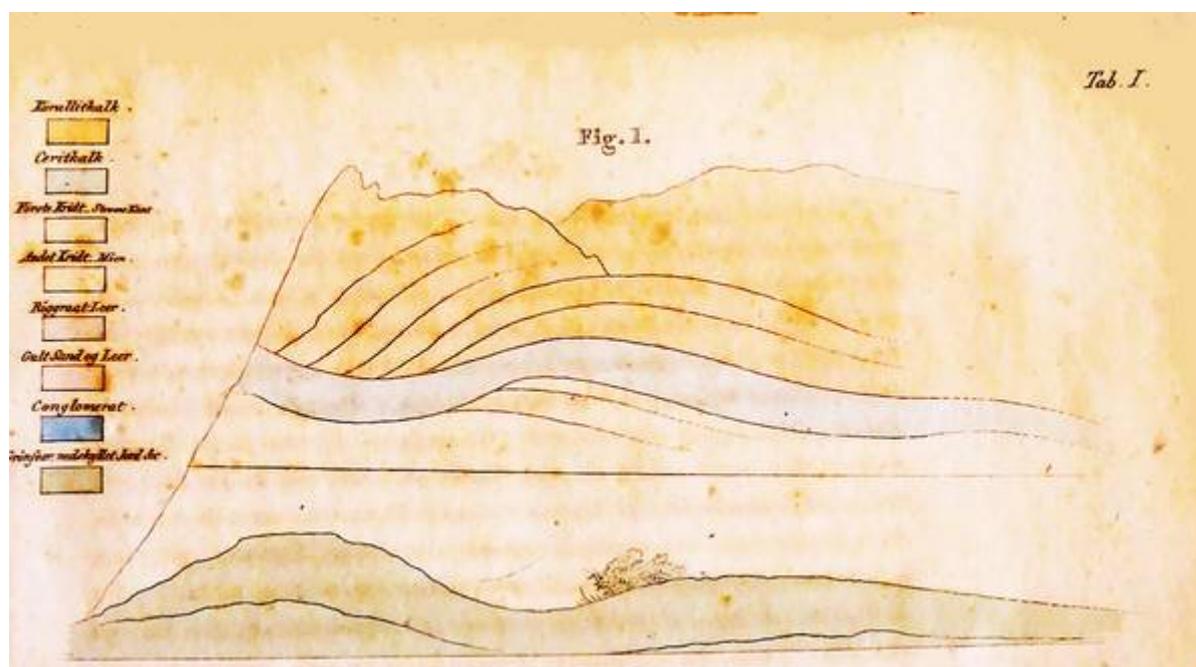


Fig. 3. Représentation de la falaise de Stevns par Forchhammer (1825) (Archives du *Statens Naturhistoriske Museum* ; cliché Françoise Dreyer). Forchhammer représente les lentilles de calcaire à cérithes soulignées par la couche d'argile et visibles sur la Fig. 1, par une bande gris clair régulière et ondulante, en contradiction avec son texte et avec ce que l'on peut observer aujourd'hui. On peut raisonnablement penser que la falaise n'a pas trop changé depuis 1825 malgré les éboulements

Fragilité du critère paléontologique

La transposition du modèle du bassin de Paris n'est cependant pas si simple : Forchhammer est embarrassé par la présence de certains fossiles « plutôt crétacés » dans le calcaire corallien situé au-dessus, parmi lesquels *Belemnites mucronatus*, ce qui va soulever de nombreuses

objections, parmi lesquelles celles de Johann Friedrich Hausmann (1782-1859), professeur de géologie à Göttingen, sont probablement les plus constructives. Car le critère « cérithes » est loin d'être absolu. Ainsi, dans sa lettre du 5 juillet 1826, Hausmann souligne que la présence de cérithes n'est pas synonyme de tertiaire (Fig. 4).

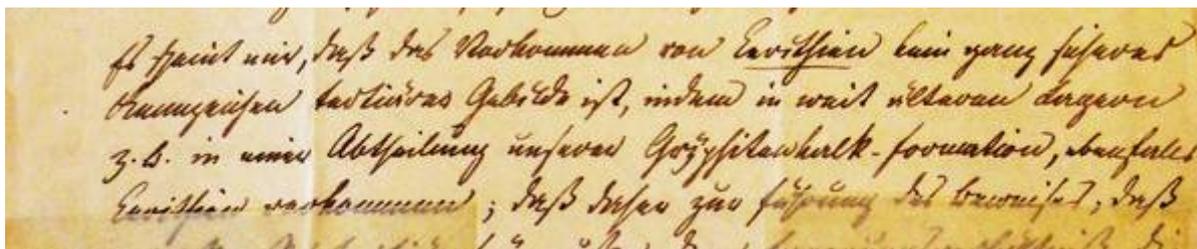


Fig. 4. Extrait de la lettre de Hausmann à Forchhammer du 5 juillet 1826. (Archives du Statens Naturhistoriske Museum ; cliché Françoise Dreyer). « Es scheint mir, daß das Vorkommen von Cerithien kein ganz sicheres Kennzeichen tertiärer Gebilde ist, indem in weit älteren Lagern z.B. in einer Abtheilung unserer Gryphitenkalkformation, ebenfalls Cerithien vorkommen; [...] » (Transcription de la lettre manuscrite par Mme Inger Marie Refskou Poulsen). « Il me semble que la présence de cérithes n'est pas une caractéristique très certaine des formations tertiaires, du fait que des cérithes se présentent aussi dans des couches beaucoup plus anciennes par exemple dans une division de notre formation de calcaire à gryphites ; [...] » (Traduction Françoise Dreyer)

Constant Prévost (1787-1856) avait trouvé des cérithes en 1821 dans un terrain inférieur à la craie dans une falaise de Normandie, et M. de la Jonkaire dans les dernières assises du calcaire oolithique dans les Ardennes en 1822 (Dreyer, 2017, p. 73). L'affirmation de Cuvier et Brongniart est donc déjà inexacte au moment de la publication de la *Description géologique des environs de Paris* en 1822. Ainsi, le critère paléontologique manque de fiabilité. Tous s'accordent à considérer le registre de fossiles de la paléontologie stratigraphique naissante comme encore trop fragmentaire.

Hausmann oppose aussi à Forchhammer son énumération de fossiles qu'il juge insuffisante. « Vous nommez plusieurs fossiles, par exemple *Belemnites mucronatus* – qui sont si particulièrement caractéristiques de la craie et qui par conséquent doivent être considérés seulement comme des étrangers accidentels ; par contre vous ne nommez pas précisément des pétrifications certaines par exemple *Pectunculus pulvinatus*, qui sont d'excellents marqueurs pour les couches tertiaires. Il me paraît donc qu'il est nécessaire de prouver que la plupart des fossiles conviennent avec ceux qui seraient reconnus comme appartenant au calcaire grossier ou à d'autres formations tertiaires. » Dans ce calcaire à cérithes dont la faune est d'apparence tertiaire, Forchhammer n'a en effet nommé aucune espèce du calcaire grossier. Charles Lyell (1797-1875) ne lui dit rien d'autre en 1829 : « Nous sommes convaincus que vous allez poursuivre vos recherches et particulièrement en collectant et en déterminant les noms d'espèce des coquilles et zoophytes dans ces quelques groupes

de roches que vous avez décrits. » (Fig. 5). Lyell pointe du doigt le problème rencontré par Forchhammer : quel **noms** d'espèce attribuer à des coquilles qui n'ont encore jamais été décrites ? Sont-elles, de ce fait, tertiaires ou crétacées ?

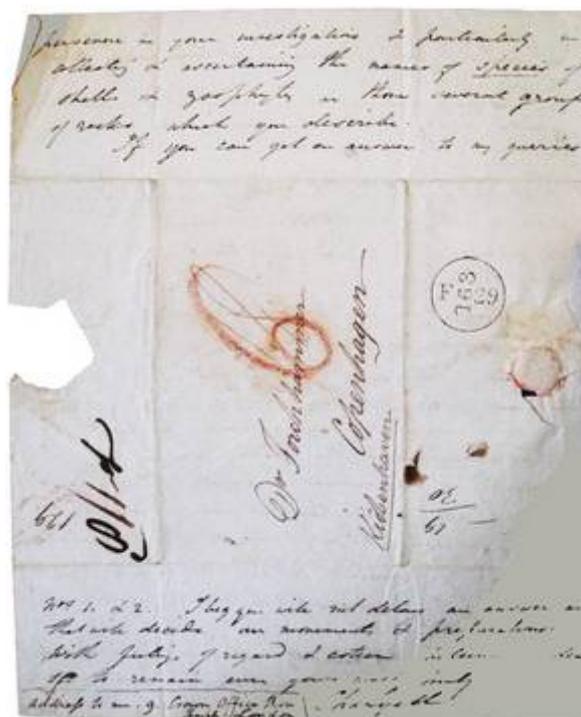


Fig. 5. Extrait d'une lettre adressée le 21 octobre 1828 par Lyell à Forchhammer pour lui demander des renseignements sur l'Islande où il compte se rendre. (Archives du Statens Naturhistoriske Museum ; cliché et traduction Françoise Dreyer). « [We trust you will] persevere in your investigations & particularly in collecting and ascertaining the names of species of shells & zoophytes in those several groups of rocks which you describe. » Lyell souligne ici l'importance qu'il accorde à la détermination du nom d'espèce et qu'il n'est pas possible de se contenter du nom de genre d'un fossile

Où Lyell, pape de la stratigraphie, montre ses contradictions

La difficulté, dans les années 1830, d'attribuer un terrain à une formation à partir des observations paléontologiques est illustrée par les incohérences de Lyell face aux formations étudiées par Forchhammer. Lors d'un voyage géologique dans les pays scandinaves en 1834, Lyell s'arrête à Copenhague où il rencontre Forchhammer, qu'il convainc de l'accompagner à Stevns Klint, site, comme on l'a vu, auquel il s'est intéressé au travers du travail de Forchhammer.

L'année précédente, Lyell a publié le troisième volume des *Principles of Geology* (et la réédition des 2 premiers). Il a développé une théorie uniformitariste assez stricte qu'il applique au vivant : les changements qui surviennent sont progressifs et les forces en jeu de même intensité. Il reconnaît cependant dans ses *Principles* l'existence d'un hiatus entre faune des couches crétacées et celle des formations tertiaires, mais reste convaincu qu'il existe quelque part des terrains intermédiaires avec des faunes intermédiaires. Les découvrir justifierait sa position.

Lyell porte sur la falaise de Stevns essentiellement le même regard que Forchhammer : représentation analogue, même corrélation du calcaire à Cérithes de Stevns Klint avec le calcaire des carrières de Faxø à 30 km à l'ouest de Stevns. Il regroupe ces deux calcaires sous le nom de « calcaire de Faxø ». Cependant, il passe peu de temps sur le terrain, à peine une demi-journée entre Stevns Klint et Faxø, mais il en passe beaucoup à étudier, dans les collections du prince Christian Frederik de Danemark (1786-1848), les fossiles de ce calcaire qui sont caractéristiques d'un récif corallien (Lyell, 2010, p. 411). Depuis 1825, année de la publication du mémoire de Forchhammer, de nouvelles données paléontologiques sur le calcaire de Faxø se sont accumulées : 20% des espèces trouvées sont crétacées, les 80% restant sont des espèces inconnues jusque-là, c'est-à-dire non tertiaires quoique de genres tertiaires. Cette faune n'est donc pas vraiment crétacée, elle n'est pas non plus tertiaire, mais elle a une allure tertiaire.

Le calcaire de Faxø représente donc un cas idéal de terrain intermédiaire dont Lyell suppose

l'existence et qu'il recherche tant. De manière surprenante, ce dernier n'évoque pas cette hypothèse et donne une explication paléogéographique : le calcaire de Faxø est un récif corallien dans la mer crétacée, celle de la craie de Maastricht¹. Lyell est-il dans l'incapacité de penser sa propre théorie lorsqu'il se trouve sur le terrain (qu'il n'a d'ailleurs que trop rapidement regardé) ? Dans les faits, il semble plutôt qu'il soit arrivé sur le terrain avec une idée bien arrêtée de ce qu'il pensait voir² et oublie dans son interprétation la couche d'argile noire et le fait que la surface de la craie est irrégulière et ne correspond pas à la stratification. Jusqu'à quel point a-t-il fait du « *cooking of data* » selon l'expression de Charles Babbage (1791-1871) (Babbage, 1830, p. 175), « cuisinage » de données comme des omissions qui permettent de faire cadrer les faits avec sa théorie, son interprétation ?

À sa décharge, deux fossiles ont pu sembler déterminants. Le premier est une bélemnite, que Forchhammer cite en 1825 mais plus en 1835 : entre-temps, Forchhammer est retourné plusieurs fois sur le terrain et n'a jamais retrouvé de bélemnite, ni dans le calcaire de Faxø ni dans le calcaire surplombant. Henrik Beck (1799-1863), « le » paléontologue danois, ne la cite pas non plus en 1835 dans sa liste de fossiles du calcaire de Faxø. Ce fossile avait donc été probablement mal échantillonné. Pourquoi Lyell le cite-t-il alors qu'aucun paléontologue danois ne le cite plus ? Peut-être parce que cette bélemnite constitue un argument supplémentaire et de poids en faveur de l'attribution de ce terrain au Crétacé ?

Le deuxième fossile déterminant est *Baculites faujasii*, non citée en 1825 par Forchhammer mais qu'il a trouvée depuis dans le calcaire à cérithes (Fig. 6).

¹ Pourtant, Beck, conservateur de la collection de zoologie (et paléontologie) du Prince Christian Frederik de Danemark, et que Lyell juge « *très bon conchyliologiste* », détermine que les fossiles de Faxø diffèrent considérablement de ceux de Maastricht. Il écarte clairement la corrélation entre le calcaire de Faxø et la craie de Maastricht, mais rapproche le calcaire de Faxø des « *couches trouvées à Künruth [Kunrade] près de Liège* » (ils ont quatre fossiles en commun).

² Avant son voyage à Copenhague, Deshayes lui avait dit que les fossiles de Scanie (Faxø) étaient ceux de Maastricht et Ciplý.

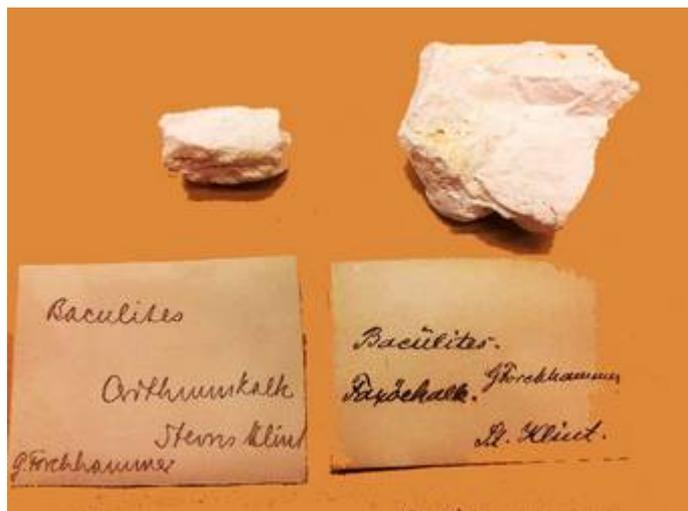


Fig. 6. Baculites trouvées par Forchhammer à Stevns Klint. (Collection du Géologisk Museum, *Statens Naturhistoriske Museum*. Photo mise à disposition par © Sten Lennart Jakobsen). La mention « *Cerithiumkalk* », à gauche, montre que la baculite a été récoltée dans le calcaire à Cérithes avant la venue de Lyell, en 1834. C'est Lyell qui nomme ce calcaire « *Faxökalk* ». La baculite de droite a donc été trouvée après la venue de Lyell

Ces deux fossiles sont considérés comme caractéristiques du Crétacé et ne peuvent donc, selon les catastrophistes, se trouver dans des terrains tertiaires. En revanche, ils pourraient se trouver dans des terrains intermédiaires. Sur la base de ces deux fossiles, dont l'un est plus que douteux, Lyell attribue le calcaire de Faxe à la formation crétacée. Ainsi, en se fondant sur un critère catastrophiste, Lyell, l'uniformitariste, invalide sa propre théorie des terrains intermédiaires. Cet exemple montre la fragilité des critères utilisés à cette époque.

Changement progressif du cadre de pensée géologique

On aurait pu penser que, après les publications de Cuvier et Brongniart déjà évoquées, la pertinence de la paléontologie était définitivement admise. Mais c'était sans compter les réticences de nombreux géologues, comme le souligne Lyell dans sa lettre à Forchhammer de 1829 : « *j'ai été particulièrement heureux de voir que nous avons un collègue de travail en géologie si loin dans le Nord de l'Europe et qui peut correctement apprécier non seulement les lois de la superposition, et les moyens apportés par la composition minérale pour l'identification des formations, mais (et ceci est bien plus important, et généralement beaucoup moins attendu) qui peut aussi comparer les restes organiques.* » Lyell souligne ici que la géologie avec ses lois de superposition et la lithologie ne suffisent plus pour identifier les formations, et que la paléontologie s'avère essentielle. Depuis le milieu du XVIII^e siècle, les critères de classification des terrains ont changé, la

paléontologie s'ajoutant progressivement à la lithologie sans pour autant la remplacer. D'ailleurs, la parenthèse de Lyell (*ceci est bien plus important, et généralement beaucoup moins attendu*) montre que beaucoup de géologues n'utilisent pas encore la paléontologie stratigraphique et que cette dernière n'est toujours pas parfaitement admise.

Les réticences qui persistent sont de deux ordres.

Elles sont tout d'abord d'ordre factuel. Comme nous l'avons vu, ce critère paléontologique est peu fiable : déterminations souvent trop incertaines, synonymie, difficulté à définir l'espèce, mauvais échantillonnage, etc. toutes objections déjà soulevées par Brongniart lui-même en 1821, par Ami Boué (1794-1881) en 1831 dans son *Essai pour apprécier les avantages de la paléontologie*. Enfin, la connaissance de la répartition des espèces fossiles dans le temps comme dans l'espace est encore trop parcellaire et conduit à des généralisations hasardeuses, comme dans le cas des cérithes. La paléontologie est encore balbutiante.

Ensuite, les réticences d'ordre philosophique, les plus importantes à mon sens, sont les moins évoquées clairement : reconnaître le critère paléontologique signifie transformer l'étude des couches en l'étude des êtres organisés fossiles situés dans les couches. La superposition des couches impliquait des dépôts successifs et avait permis de penser le temps long de l'histoire de la Terre. La succession des faunes dans les

couches associée à leur étude celle de l'histoire de la vie sur Terre. Par conséquent, la paléontologie stratigraphique s'inscrit dans la philosophie de l'origine de la vie et de l'origine des espèces et de leurs transformations : la géologie entre dans la querelle du transformisme.

Si diverses théories s'opposent, la théorie dominante en ce début de XIX^e siècle, quoique déjà très controversée, est le catastrophisme, que l'on peut tenir pour une transposition scientifique du récit biblique. Ce n'est pas purement un référencement religieux : le catastrophisme peut s'appuyer sur l'existence avérée de changements complets de faune comme celui qu'ont mis en évidence Cuvier et Brongniart entre terrains crétacés et terrains tertiaires dans le bassin de Paris. L'histoire de la Terre serait, selon eux, marquée par de grandes révolutions, de grandes catastrophes ayant provoqué la disparition totale de la faune, remplacée par une faune entièrement nouvelle. Une création *de novo* doit intervenir à chaque formation. Ce que recouvre le terme de « création » est rarement explicité, mais le terme est couramment utilisé. Enfin, le catastrophisme implique que les espèces ne passent pas d'une formation à l'autre et que les fossiles sont caractéristiques des formations qui les contiennent. En 1831, Gérard-Paul Deshayes (1795-1875), catastrophiste, définit une formation comme « *Un espace de temps représenté par un certain nombre des couches de la terre, déposées sous l'influence des mêmes phénomènes.* » Les couches qui étaient jusque-là décrites dans leur topographie et leur répartition dans l'espace, deviennent un espace de temps.

Comme il est connu, dit-il, que la lithologie est très variable d'un point à l'autre d'une couche, « [...] *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, [...] les êtres organisés. [...] Dès lors une formation est une période zoologique. [...] Il faut donc connaître les corps organisés pour décider les limites des formations.* » (Deshayes, 1832, p. 90)

Autrement dit, une formation est limitée à la base, par l'apparition de sa faune caractéristique, puis, à son sommet, par sa disparition, disparition liée à une catastrophe. De cette façon, émerge

l'idée de limite, mais dans le sens de ce qui borne l'existence d'une faune dans le temps.

Jusque-là, les termes les plus fréquemment utilisés étaient ceux de ligne de séparation, ligne de démarcation, etc., termes plutôt liés à la topographie des couches. Le terme de « limite », limite « d'une période de vie », ne sera que peu utilisé jusqu'à la fin des années 1840 en France et il ne le sera réellement que lorsque les couches seront clairement « pensées » comme des périodes de temps. Le nom de ces périodes de temps ne peut donc plus être celui des couches choisies selon la lithologie. L'usage de noms d'étage fondés sur un lieu géographique indépendamment des caractères lithologiques des roches se systématisent alors.

Ainsi, en dépit des réticences et des insuffisances reconnues de la démarche paléontologique, cette dernière est en train d'acquiescer un statut. La notion de limite s'appuyant sur la disparition d'une faune, par conséquent fondée sur des critères paléontologiques, est, à son origine, directement liée au catastrophisme. Elle ne peut acquiescer un statut différent qu'au prix du remplacement de la théorie des catastrophes par un autre système théorique expliquant les changements de faune, supposant par exemple l'existence de terrains intermédiaires où l'on observerait des faunes de transition. Lyell échoue à reconnaître une telle faune intermédiaire à Stevns Klint. Le déblocage de la situation ne peut alors survenir que par le biais de nouveaux concepts ou théories, de nouveaux terrains d'étude, voire de nouvelles personnalités

1835-1850, la paléontologie stratigraphique s'impose

À ce stade, la valeur épistémologique de Stevns Klint s'est affaiblie. Les solutions vont venir d'autres terrains de recherche en géologie. Cela se passe en particulier en France où une autre solution au problème est apportée lorsque la même problématique qu'au Danemark, mais abordée de façon tout à fait indépendante, se développe à propos d'un calcaire trouvé à Meudon que Léonce Élie de Beaumont (1798-1874) affirme en juin 1835 appartenir à la craie de Maastricht. Comme à Faxe, ce calcaire est situé à l'interface entre terrains crétacés et tertiaires.

Mais la différence est alors qu'il ne s'agit plus de la sorte de duel intellectuel ayant opposé Forchhammer à Lyell dans un contexte de connaissances paléontologique insuffisantes et de notions du temps encore floues. Cette nouvelle étude bénéficie du fait que l'inventaire paléontologique et sa théorisation ont considérablement progressé ; les théories transformistes sont en passe d'investir la géologie ; les acteurs sont nombreux, organisés en institutions ou sociétés savantes puissantes (Muséum national d'histoire naturelle, École des mines, Société géologique de France, Sociétés savantes locales etc.) en relations constantes les uns avec les autres. La dynamique en quelque sorte duelle (Forchhammer contre Lyell) à l'œuvre au Danemark est

remplacée par celle d'une sorte de forum en France.

Entre les faits des paléontologues et les théories des géologues

Ce calcaire trouvé en 1835 par Élie de Beaumont à Meudon fait l'objet d'une étude détaillée par Adolphe d'Archiac (1802-1868) et Charles d'Orbigny (1806-1876) qui présentent le résultat de leurs travaux devant la Société géologique de France, le 6 juin 1836 pour le premier, et à la séance suivante (20 juin 1836) pour le second. Ch. d'Orbigny accompagne sa description d'une coupe (Fig. 7).

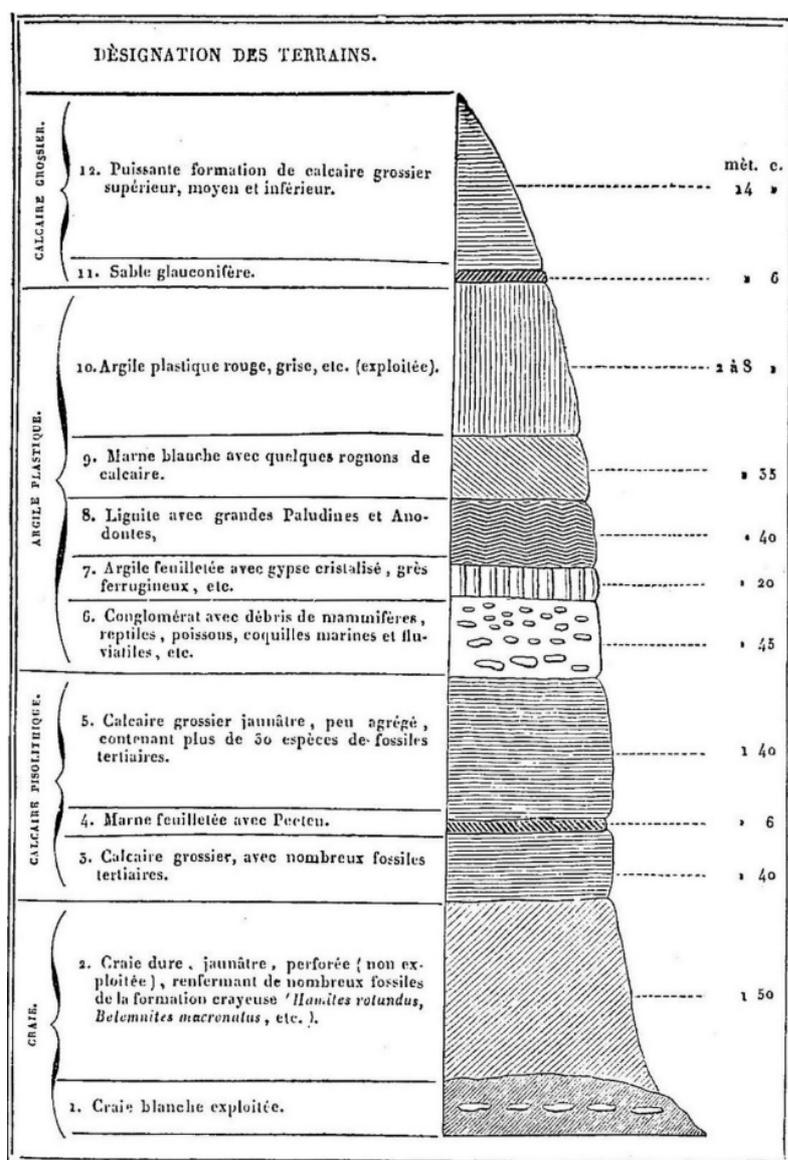


Fig. 7. Coupe des couches du bas de la colline de Meudon. (Orbigny Ch. d', 1836). Le calcaire pisolithique, nouveau calcaire entre la craie et l'argile plastique

Ce calcaire riche en fossiles est à gros grains, ce pourquoi Ch. d'Orbigny le nomme calcaire pisolithique. Sa position stratigraphique, entre la craie d'une part et l'argile plastique et le calcaire grossier d'autre part, est très claire : il s'agit d'un terrain intermédiaire. La surface de la craie indurée et perforée montre toutes les traces d'une dénudation. Les fossiles déterminés par Ch. d'Orbigny et d'Archiac sont tertiaires, détermination confirmée par Deshayes. Ils l'attribuent donc au Tertiaire. Pourtant, Élie de Beaumont rejette cette conclusion.

Élie de Beaumont et Armand Dufrénoy (1792-1857) rejettent l'argument paléontologique en soutenant que ses règles sont établies sur des faits géologiques et que, le registre fossile étant trop parcellaire, de nouveaux faits pourraient le modifier. En outre, les fossiles du calcaire pisolithique ne sont que des empreintes qu'ils jugent en trop mauvais état pour permettre la détermination des espèces. Élie de Beaumont impose sa théorie de la datation par les soulèvements : le Tertiaire commence avec le soulèvement des Pyrénées et le dépôt de l'argile plastique. Tout ce qui est au-dessous est nécessairement crétacé. Le calcaire pisolithique est donc crétacé. Élie de Beaumont attribue la transition entre la craie et le calcaire pisolithique à une baisse du niveau marin à la fin de la période crétacée. Le calcaire pisolithique se serait déposé dans des eaux très basses. À l'instar de Lyell à Faxe, Élie de Beaumont fournit une explication paléogéographique du dépôt du calcaire pisolithique. Mais alors que Lyell faisait en outre appel à un argument paléontologique, Élie de Beaumont, fidèle à sa théorie de la chronologie des soulèvements, choisit des arguments géodynamiques, à savoir le soulèvement des Pyrénées et le dépôt de l'argile plastique³.

Les deux écoles sont farouchement opposées. Le calcaire pisolithique est crétacé pour les géologues et tertiaire pour les paléontologues.

La création de l'étage danien

L'opposition paléontologues/géologues perdure jusqu'en 1846, lorsqu'Édouard Desor (1811-1882) corrèle calcaire pisolithique et calcaire de

Faxe en les plaçant dans un étage, l'étage danien, « *un étage particulier de la craie, le plus jeune de tous ainsi que l'avait proposé M. Élie de Beaumont.* »

La corrélation avec le calcaire de Faxe attribué au Crétacé par Lyell et contenant baculites et bélemnites (?) va dans le sens d'Élie de Beaumont. Deshayes, catastrophiste, et beaucoup d'autres géologues se rangent à cette opinion. Mais la corrélation est refusée par d'Archiac qui estime le calcaire pisolithique plus récent que le calcaire de Faxe. Il persiste lorsqu'Edmond Hébert (1812-1890) trouve, en 1847, dans la vallée de la Mauldre, à Falaise en Seine-et-Oise (actuellement, les Yvelines), du calcaire pisolithique aux fossiles parfaitement conservés. Tout comme à Faxe, aucun fossile n'est tertiaire (dans le sens « *du calcaire grossier* ») mais ils ne sont pas non plus crétacés, hormis des polypiers de la craie de Maastricht. Cela suffit à Hébert pour en faire un calcaire crétacé, de l'âge de la craie de Maastricht.

Cet exemple du calcaire pisolithique traduit la difficulté encore grande d'utiliser les fossiles de façon cohérente et la réticence des géologues (« purs ») à utiliser la paléontologie. Ceci suppose de passer de l'histoire des dépôts successifs à l'histoire de la vie, de passer de la lithologie dont on sait déjà qu'elle ne permet pas de faire des corrélations à distance (changement de lithologie dans l'espace, même lithologie de roches d'âges différents, etc.), à la paléontologie. En 1836, tous ne sont pas prêts à accepter le changement de cadre de pensée impliqué par la stratigraphie paléontologique. Cependant s'opère un changement progressif dans la façon de penser la succession des couches, de décrire les terrains (effort paléontologique indéniable), ainsi que dans le vocabulaire (d'abord spatial puis temporel, émergence de la notion de limite).

Le tournant des années 1840

Dans son ouvrage publié en 1985, Martin Rudwick considère que la paléontologie stratigraphique est acceptée en 1840 en Grande-Bretagne quand elle permet de mettre un terme à la controverse opposant Sedgwick et Murchison à propos du Dévonien (Rudwick, 1985, p. 240).

³ Tous les éléments de cette controverse sont réunis avec leurs références dans ma thèse (Dreyer, 2017).

En France, on peut affirmer qu'elle est admise en 1845 lorsque Dufrénoy lui-même, en accord avec Élie de Beaumont, introduit à l'École des mines, en annexe au cours de géologie, des « conférences » de paléontologie données par Claude-Emile Bayle (1818-1895). Reconnues officiellement en 1848, ces conférences deviennent en 1849 un cours de *Paléontologie pratique*. Pour le conseil de l'École, il s'agit de donner aux élèves la connaissance pratique des principales espèces servant à caractériser les terrains (Aguillon, 1889). Ainsi est reconnu l'intérêt fondamental de la paléontologie pour la géologie et son rôle essentiel pour caractériser et corréler les formations.

L'essor de la paléontologie a changé la donne et modifié la perception de l'histoire de la vie. En outre, la découverte d'espèces tertiaires dans la formation crétacée montre que les espèces peuvent passer d'une formation à l'autre, ce qui remet en cause la théorie du catastrophisme. La paléontologie n'est pas seule à ruiner le catastrophisme. Dans les années 1830-1840, Jean de Charpentier, puis Louis Agassiz démontrent que les blocs erratiques sont laissés par les glaciers lors de leur retrait. Contrairement aux idées reçues, ils ne sont pas liés à quelque déluge, ce qui met à distance le récit biblique. Ces découvertes paléontologiques et géologiques, et leurs interprétations, participent à ce que l'on peut appeler la sécularisation de la géologie. Enfin, le refus des créations répétées supposées par le catastrophisme, conduit à imposer le transformisme c'est-à-dire l'idée que les espèces dérivent, descendent les unes des autres par modifications successives. Cette théorie apparue dès la fin du XVIII^e siècle, circule et se transforme, monte en puissance tout au long du XIX^e siècle.

Dès lors, la paléontologie s'impose comme un critère essentiel pour faire des corrélations à distance et donner un âge relatif aux diverses formations. Cependant, aucun accord n'a été trouvé sur les critères à utiliser pour corréler ou déterminer les limites entre terrains.

Quels fossiles sont caractéristiques d'un étage ?

Certains utilisent la présence d'une seule espèce fossile comme caractère discriminant.

C'est le cas d'Édouard Desor lorsqu'il crée l'étage danien en 1846 par corrélation du calcaire de Faxe et du calcaire pisolithique sur la base d'un seul fossile, le *Cidaris Forchhammeri* dont « *les granules qui entourent les tubercules sont fort gros et irrégulièrement allongés au lieu d'être ronds, particularité qui ne se retrouve dans aucune espèce de ce genre* ». Et aucun géologue, aucun paléontologue présent à la Société géologique de France ce jour-là n'a soulevé d'objection. Ce *Cidaris* semble suffisamment particulier pour que l'on puisse penser qu'il caractérise le Danien.

Quand cela est possible, les géologues utilisent plusieurs espèces fossiles pour caractériser un étage et mettent en avant les fossiles communs à deux terrains, comme le fait Beck pour le calcaire de Faxe et celui de Künruth. Les débats font souvent rage lors de comparaisons entre terrains ou pour l'attribution d'un terrain à un étage, les uns mettant en avant la présence de telle ou telle espèce, d'autres remarquant l'absence d'une autre espèce (oubliant le fait que de ne pas en avoir trouvé ne signifie pas l'inexistence de ce fossile dans le terrain). Chacun focalise son attention sur certains fossiles et le consensus est souvent difficile à trouver faute d'un registre fossile suffisant.

Alors, quels critères paléontologiques choisir ?

Ici encore, la notion de limite pour paléontologues se construit progressivement.

1850 à nos jours : la querelle des limites

Concernant les limites d'un étage, le choix se porte sur l'apparition ou la disparition d'une ou plusieurs espèces fossiles, choix déjà illustré par Cuvier et Brongniart.

Les critères choisis sont extrêmement variables et dépendent des auteurs, des lieux et des époques étudiées. En conséquence, Adolphe d'Archiac considère finalement dans les années 1860 que ce ne sont que des choix de convention pour classer les terrains, « *des choix arbitraires* » dira Joachim Barrande (1799-1883). Cependant, certains auteurs font des choix très argumentés.

**Le choix d'Alcide d'Orbigny :
l'apparition d'espèces**

Alcide d'Orbigny (1802-1857) réalise dans les années 1840 un véritable travail statistique sur la distribution des espèces et des genres fossiles dans les différents étages, travail qu'il rassemble en 1852 dans son *Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique*. Un tableau donne le nombre d'espèces dans les différents étages au cours des âges géologiques (Fig. 8).

ÂGES GÉOLOGIQUES.		NOMBRE DES ESPÈCES	
TERRAINS.	ÉTAGES.	PAR ÉTAGES.	PAR TERRAINS.
TERTIAIRES.	27. Subapennin.....	606	6,042
	22. Falunien. } sup. ou Falunien.	2,754	
	} infér. ou Tongrien.	428	
	25. Parisien.....	1,576	
	24. Suessonien.....	678	
CRÉTACÉS.	33. Danien.....	66	4,291
	22. Sénonien.....	1,579	
	21. Turonien.....	380	
	20. Cénomanién.....	849	
	19. Albien.....	410	
	18. Aptien.....	156	
JURASSIQUES	17. Néocomien.....	851	3,846
	16. Portlandien.....	60	
	15. Kimméridgien.....	199	
	14. Corallien.....	655	
	13. Oxfordien.....	139	
	12. Callovien.....	281	
	11. Bathonien.....	546	
TRIASIQUES.	10. Bajocien.....	603	927
	9. Toarcien.....	288	
	8. Liasien.....	301	
	7. Sinémurien.....	174	
PALÉOZOIQUES	6. Salférien.....	792	3,180
	5. Conchylien.....	135	
	4. Permien.....	91	
	3. Carboniférien.....	1,047	
	2. Devonien.....	1,198	
	1. Silurien. } supérieur.....	418	
	} inférieur.....	426	
Totaux.....		18,286	18,286

Fig. 8. Évolution du nombre d'espèces au cours des âges géologiques depuis le commencement du monde animé jusqu'à présent. (In ORBIGNY A. d', 1852a, p. 250).

La chute drastique du nombre d'espèces au Danien est interprétée par d'Orbigny comme la dégénérescence de la faune crétacée. C'est la fin d'une époque. Puis l'augmentation rapide du nombre d'espèces traduit l'apparition de nombreuses espèces qui marque le début d'une nouvelle époque. Le critère choisi par d'Orbigny pour marquer la limite Crétacé-Tertiaire est donc celui de l'apparition d'un grand nombre d'espèce. Le Danien est *de facto* crétacé

**Un autre choix raisonné :
l'extinction d'espèces**

Vingt ans plus tard, en 1878, au premier Congrès international de géologie à Paris, Edward Cope (1840-1897) fait un autre choix tout aussi raisonné, celui des extinctions. Cope s'appuie sur le principe de descendance accepté par presque tous à ce moment-là. D'après ce principe, une espèce apparaît à partir d'une autre espèce par modifications successives et souvent imperceptibles, et il est impossible de déterminer le moment de son apparition. « [En] conséquence de ce principe de descendance, [il est impossible] de déterminer exactement le temps auquel on peut attribuer l'apparition de tel ou tel type. [...] 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. 150-151). Pour Cope, seules les extinctions sont suffisamment brèves et visibles dans les couches pour marquer une limite.

Ainsi, au temps long de la dégénérescence proposé par Alcide d'Orbigny, il substitue une autre temporalité, le temps court d'une extinction.

En 1897, Albert de Grossouvre (1849-1932) démontre par corrélation entre terrains crétacés et tertiaires du Sud de la France que la limite entre le Crétacé et le Tertiaire se trouve, en milieu marin, juste après l'extinction de toutes les « *Ammonites* [...]. Avec elles s'éteignent tous les *Céphalopodes à cloisons persillées*, *Scaphites*, *Baculites*, *Hamites* et aussi les *Bélemnites* [...]. Les *Rudistes*, *Hippurites*, [...] d'autres [comme] *Inocérames*, etc. », c'est-à-dire après une extinction de masse, et ce juste avant le Danien. Pour de Grossouvre, selon le critère « extinction », le Danien est tertiaire.

Il conclut : « 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. 71-73). Il insiste bien sur le caractère

ouvre et Léon Pervinquier (1873-1913) à propos de la place du Danien, controversé qui épouse la querelle entre Jesper P.J. Ravn (1861-1951) et Anders Hennig (1864-1918) au Danemark. L'origine de celle-ci tient essentiellement à la place à donner au calcaire à cérithes de la falaise de Stevns Klint : sénonienne ou danienne ? La réponse à la question est fondamentale car elle décide de la présence ou de l'absence des baculites dans le Danien. En effet, des baculites et

des scaphites ont été trouvés dans ce calcaire à cérithes. Ravn représente, comme Forchhammer, la couche de calcaire à cérithes comme uniforme (fig. 10). Hennig et Pervinquier placent la limite entre le Sénonien et le Danien sous le calcaire à cérithes. Comme celui-ci contient baculites et scaphites, le Danien est crétacé. Par contre, Ravn et de Grossouvre placent la limite entre le calcaire à cérithes et le calcaire corallien. Le Danien est alors tertiaire.

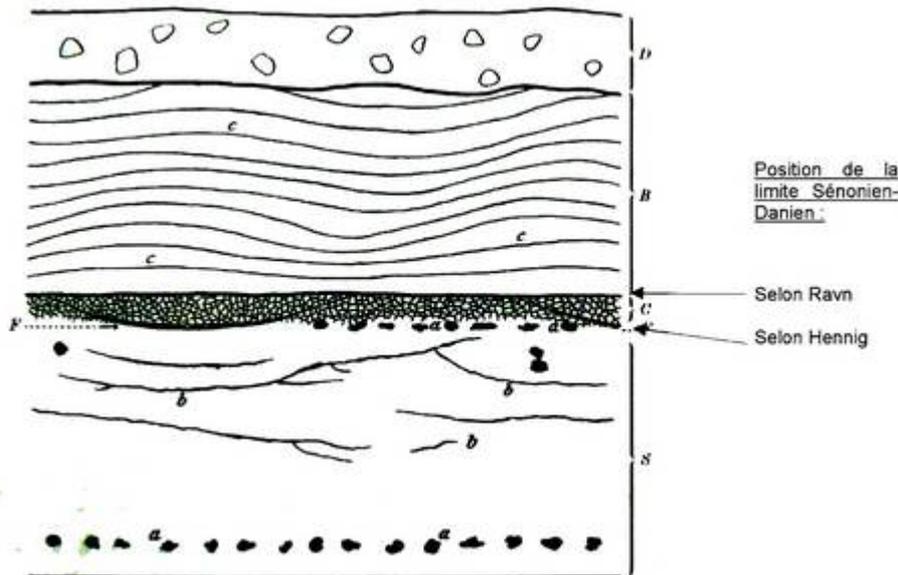


Fig. 10. Coupe schématique de Stevns Klint par Ravn (1903, p. 388), modifiée.

S : craie blanche ; a : lit de nodules de silex ; b : silex dans des fissures ; F : argile à poisson ; C : Calcaire à cérithes ; B : Calcaire à bryozoaires ; c : silex en lit cohérent ; D : Diluvium (Quaternaire). Entre les deux limites un banc de roches très indurées, horizon de durcissement, non décrit par Ravn

Le débat sera clos au début des années 1920, lorsqu'Alfred Rozenkrantz (1898-1974) fait une autre lecture de la falaise (Fig. 11). Cette couche de « calcaire à cérithes » (selon Ravn) est un horizon de durcissement de deux types de roches (comme l'avait décrit mais non conceptualisé Forchhammer). Dans les cuvettes soulignées par l'argile noire, le calcaire est riche en fossiles comme les cérithes mais ne contient ni baculites ni scaphites alors qu'entre les cuvettes la roche est de la craie indurée contenant des fossiles crétacés dont des baculites. Forchhammer avait donc prélevé ses baculites dans la craie⁴ et non dans le calcaire à cérithes sensu

stricto, qui s'est déposé après l'extinction des céphalopodes. Hilmar Ødum (1900-1975) suggère, aux journées internationales de Copenhague en 1924, de placer le calcaire à cérithes et le Danien dans le Tertiaire.

Malgré cette nouvelle lecture de la falaise de Stevns, malgré les nombreuses observations faites au cours du XX^e siècle, notamment les études micropaléontologiques qui confirment cette extinction, le Danien restera crétacé jusqu'au *Symposium sur les événements de la limite Crétacé-Tertiaire* qui s'est tenu en 1979 à Copenhague, symposium où un consensus est enfin trouvé pour placer le Danien dans le Tertiaire.

⁴ Sten Lennart Jakobsen, administrateur des collections du *Geologisk Museum* de Copenhague, a étudié les baculites échantillonnées par Forchhammer et a montré que leur matrice est de la fin du Crétacé, Maastrichtien (*coccolith zone Arkhangelskiella cymbiformis*).

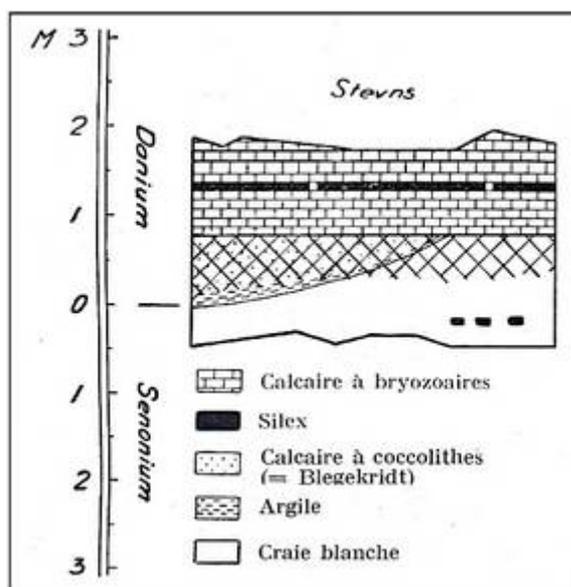


Fig. 11. La limite Sénonien – Danien à Stevns. (D'après Ødum, 1928, p. 61). Le calcaire à cérithes ou *Blegekridt* à Stevns emplit les bassins soulignés par l'argile (partie gauche du diagramme). Entre les bassins, la craie blanche. La partie hachée indique un horizon de durcissement

Mais la falaise de Stevns n'a pas dit son dernier mot. En effet, l'année suivante, Walter Alvarez publie son article indiquant un pic d'Iridium au niveau de la fine couche d'argile (El Kef, Stevns Klint, Gubbio), ouvrant une nouvelle controverse, celle sur les causes possibles de l'extinction de masse observée à la fin du Crétacé.

Enfin, en 2005, Machalski et Heinberg démontrent la présence de *Baculites* et *Hoploscaphtes* (contenant des dinocystes tertiaires) dans le calcaire à cérithes. Ils auraient ainsi survécu à la crise biologique de la fin du Crétacé, mais pour une très brève période, estimé à 0,2 Ma.

Alors, quel marqueur choisir pour fixer la limite Crétacé-Tertiaire, ou plus exactement Crétacé-Paléogène ?

En 1991, la Commission stratigraphique internationale a choisi un marqueur géochimique, l'anomalie en Iridium, associée à une extinction majeure (dinosaures, ammonites, foraminifères, etc.), et a placé le clou d'or de la limite Crétacé-Paléogène non pas à Stevns Klint où la série n'est pas continue mais à l'Oued Djerfane, à l'Ouest de El Kef en Tunisie (<http://www.stratigraphy.org/> GSSPs).

Les marqueurs des 71 clous d'or ratifiés en 2015 par la Commission stratigraphique internationale sont biologiques pour 61 d'entre eux (apparition ou disparition), des inversions magnétiques (6), géochimiques (3) et climatique (1). Autrement dit, ce sont des marqueurs de convention comme l'avaient suggéré Adolphe d'Archiac et Joachim Barrande.

Conclusion

Cet article a tenté de retracer les conditions dans lesquelles la paléontologie stratigraphique a acquis droit de cité pour devenir science dominante de l'histoire de la Terre dans la deuxième moitié du XIX^e siècle. Il utilise des travaux menés d'abord au Danemark puis en France sur ce que l'on appellera plus tard la limite Crétacé-Tertiaire. Ce mouvement de transformation n'a pas été linéaire. Il n'est pas seulement dû à une accumulation rapide de données paléontologiques, mais à une transformation radicale de la manière dont est pensée l'histoire de la Terre. La période pivot de cette transformation se situe dans les années 1840-1850, lorsqu'il devient clair que l'histoire de la Terre (avec les données qui s'accumulent de toutes les régions du monde) ne prend de sens qu'à condition de la mettre en parallèle avec celle de la vie sur Terre. De ce point de vue, on ne peut être que frappé par la ressemblance entre l'évolution de la géologie et celle des sciences du vivant, la zoologie en particulier. Les inventaires d'animaux se multiplient, la diversité s'affirme, les classements par analogie se font plus précis, mais l'ensemble ne devient cohérent que lorsque le transformisme, ensemble de propositions philosophiques molles, est remplacé (mais les choses ne se passent pas immédiatement) par la sélection naturelle du plus apte. Darwin peut intégrer ces inventaires en un modèle. En géologie, la théorie des catastrophes supposait, du fait du postulat de la disparition de toutes vies, des créations successives, d'ailleurs on retrouve cette explication encore chez Alcide d'Orbigny. À l'inverse, si la paléontologie stratigraphique reconnaît bien l'existence de catastrophes naturelles, celles-ci agissent comme agents sélecteurs de populations entières : transformisme et évolutionnisme donnent les clefs expliquant les faunes qui se développent après les drames. Ce qu'a fait la paléontologie stratigraphique, c'est simplement – et ce n'est pas rien - arracher la

description de phénomènes géologiques majeurs à une représentation qui se place dans les catégories métaphysiques pour la projeter dans une histoire interprétable de successions de disconti-

nuités. En sus du rôle essentiel qu'elle a eu dans la datation relative des étapes de l'histoire de la Terre, la stratigraphie paléontologique a participé à la sécularisation des théories géologiques.

Bibliographie

- ABILDGAARD, S. (1759). *Beskrivelse over Stevns Klint og dens naturlige Maerkvaerdigheder, oplyst og utført med mineralogiske og chymiske Betragtninger*. Copenhagen, 50 p., 3 pl.
- AGUILLON, L. (1889). Notice historique sur l'École des Mines de Paris. *Annales des mines*, mai-juin 1889.
<http://www.annales.org/archives/x/intro.html>
- ARCHIAC, A. 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. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), 7, p. 272-276.
- BABBAGE, Ch. (1830). *Reflections on the Decline of Science in England*. London, R. Clay Bread, 228 p.
- BIRKELUND, T. et BROMLEY, R.G. (Eds) (1979). *Cretaceous–Tertiary Boundary Events, symposium. I. The Maastrichtian and Danian of Denmark*. Copenhagen, University of Copenhagen, 210 p.
- BOUÉ, A. (1832). Essai pour apprécier les avantages de la paléontologie, appliquée à la géologie et à la géogénie. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), 2, p. 87-88.
- BRONGNIART, Alex. (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*, 6, p.537-572, 1 pl.
- COPE, E. (1880). Sur les relations des niveaux de vertébrés éteints dans l'Amérique du Nord et en Europe. In *Congrès International de Géologie : Comptes rendus sténographiques du Comité central des Congrès et Conférences*, Paris, 1878, Paris, Imprimerie nationale, p. 144-163.
- CUVIER, G. et BRONGNIART, Alex. (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, 428 p., 2 cartes, 16 pl.
- DESHAYES, G.-P. (1832). Observations sur un mémoire pour apprécier les avantages de la paléontologie appliquée à la géologie et à la géogénie de M. Boué. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), 2, p. 88-91.
- DESOR, É. (1847). Sur le terrain danien, nouvel étage de la craie. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), 4, p. 179-182.
- DREYER, F. (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 Doct. Univ. (Sci.), Université de Nantes, 451 p.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01810524>
- DREYER, F. (2018). L'émergence de la notion de limite en stratigraphie au XIX^e siècle. *Cahiers François Viète*, vol. III, n°5, p. 33-54.
<https://cfv.univ-nantes.fr/cahiers-francois-viete-serie-iii-n-5-2419724.kjsp>
- FORCHHAMMER, G. (1826). Om de geognostiske Forhold i en Deel af Sjælland og Naboeøerne, *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Naturvidenskabelige og Mathematiske Afhandlinger*, II. Deel, p. 245-280, 4 pl. (et aussi tiré-à-part, *Det kongelige danske Videnskabernes Selskabs Skrifter*, 36 p., 4 pl. colorées, 1825).
- GARBOE, A. (1959). *Geologiens Historie i Danmark, Fra Mythe til Videnskab*. Copenhagen, C. A. Reitzel, vol.1, 283 p.
- GRANDCHAMP, P. (1999). Stratigraphie. In LE-COURT D. (dir), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris, Presses universitaires de France, p. 881-883.
- GROSSOUVRE, A. de (1897). Sur la limite du Crétacé et du Tertiaire. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), 25, p. 57-80.

- LYELL, Ch. (1837-1840). On the Cretaceous and Tertiary Strata of the Danish Islands of Seeland and Møen. *Trans. Geol. Soc. London*, (2), **5**, p.243-257.
- LYELL, Ch. (1837-1838). Sur les terrains crétacés et tertiaires du Danemark. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), **9**, p. 292-293.
- LYELL, Ch., edited by LYELL, K. M. (2010), *Life, letters and journals of Sir Charles Lyell, Bart.* vol.1, Cambridge, Cambridge University Press, 489 p.
- MACHALSKI, M. et HEINBERG, C. (2005). Evidence for ammonite survival into the Danian (Paleogene) from the Cerithium Limestone at Stevns Klint, Denmark. *Bull. geol. Soc; Denmark*, **52**, p. 97-111.
- MUNIER-CHALMAS, E. (1897) Observations. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), **25**, p. 81.
- ØDUM, H. (1928). Système crétacé. In NORDMANN V. et MADSEN V. (sous dir.) (1928). Aperçu de la géologie du Danemark. *Danmarks geologiske Undersøgelse*, Række V, n°4, p. 47-71.
- ORBIGNY, A. d' (1852a). *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques.* vol. 2, Paris, Victor Masson, 847 p.
- ORBIGNY, A. d' (1852b). *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques*, Tableaux, Paris, Victor Masson, 17 p.
- ORBIGNY, Ch. d' (1836). Note sur le Terrain nouvellement découvert à Meudon. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (1), **7**, p. 280-293.
- RAVN, J. P.J. (1903) Molluskerne i Danmarks Kridtaflejringer. III. Stratigrafiske Undersøgelser. *Kgl. Dan. Vidensk. Selsk.*, 6 R., *nat.-math. Afd.*, 11, 6, 335-446.
- RHEINBERGER, H.-J. (1997). *Toward a history of epistemic things : Synthesizing proteins in the test tube.* Stanford, California : Stanford Univ. Press.
- RUDWICK, M.J.S. (1985). *The great Devonian controversy, the shaping of scientific knowledge among gentlemanly specialists.* Chicago and London, University of Chicago Press, 494 p.