



HAL
open science

La loi de Haug (1900) revisitée : un paradoxe qui s'évanouit au sujet des transgressions et des régressions marines

Georges Busson, Annie Cornée

► To cite this version:

Georges Busson, Annie Cornée. La loi de Haug (1900) revisitée : un paradoxe qui s'évanouit au sujet des transgressions et des régressions marines. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 1995, 3ème série (tome 9), pp.123-136. hal-00936179

HAL Id: hal-00936179

<https://hal.science/hal-00936179>

Submitted on 24 Jan 2014

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.

TRAVAUX
DU
COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE
- Troisième série -
T.IX (1995)

Georges BUSSON et Annie CORNEE
La loi de Haug (1900) revisitée : un paradoxe qui
s'évanouit au sujet des transgressions et des
régressions marines

COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE (COFRHIGEO) (séance du 10 janvier 1996) (Séance initialement convoquée le 29 novembre 1995).

Dans l'histoire de la géologie française, [Emile Haug](#) apparaît comme une personnalité hors du commun. Enseignant et chercheur - pour employer notre terminologie - de premier ordre, il a marqué la géologie pour des décennies, à la fois par ses aptitudes exceptionnelles à l'analyse et à la synthèse dont portent témoignage les volumes de son "traité", par l'ampleur de ses vues unificatrices, par la clarté avec laquelle il les exprimait, par son prestige de professeur à la Sorbonne. Quatre-vingts ans se sont écoulés depuis l'apogée de sa carrière et la publication de ce fameux et monumental traité, le dernier peut-être qui a eu l'ambition d'être plus ou moins exhaustif...

Or, il est remarquable que les thèmes qui ont retenu son attention avec le plus de continuité sont d'une actualité brûlante. Citons ainsi le contraste entre les aires "épi"-continentales et les "géosynclinaux", le concept de ces masses continentales - si proches des plaques de la tectonique du même nom - et leur mouvement, la subsidence - qu'il désignait sous le nom d'affaissement - les recherches inlassables sur les concepts de transgressions et de régressions, si totalement actuels, à une époque où l'eustatisme devient le *deus ex machina* de l'interprétation des faciès en tout lieu et en toute époque...

Le concept "d'affaissement" chez Haug correspond à la "subsidence" de [Pierre Pruvost](#) (1930), qui s'est imposé à tous les géologues et à bien des langues étrangères... P. Pruvost, toutefois, enrichit cette notion en montrant, sur les exemples précis fournis en particulier par l'exploitation minière, la contemporanéité entre le mouvement d'affaissement et les déformations tectoniques, à l'inverse de "phases tectoniques" discontinues et très brèves, entre de longues périodes de subsidence des bassins.

En 1900, Haug publiait, à la Société géologique de France, une note magistrale de près de 100 pages. Observons que si la longueur de cet article était d'au moins dix fois supérieure à la franchise de pages qu'offre actuellement notre Société géologique, elle est comme par hasard une des rares notes qui ait survécu plusieurs décennies, qui ait été abondamment lue, souvent citée et qui ait marqué les esprits. L'objectif essentiel de cet important article de Haug a été d'argumenter ce qui est resté comme la "loi de Haug sur les transgressions et régressions". Voyons cette loi.

Au terme d'une étude approfondie des connaissances universelles de son époque, Haug détermine que les principales transgressions marines se produisent simultanément dans les deux hémisphères, qu'elles se produisent simultanément dans les régions polaires et dans les régions équatoriales et enfin qu'elles ne sont pas universelles. Il est alors en mesure d'exprimer sa loi fameuse : "toutes les fois qu'un terme déterminé de la série sédimentaire se présentera en transgression sur les aires continentales, le même terme sera en régression dans les géosynclinaux. Et réciproquement : toutes les fois qu'un terme se présentera en transgression dans les géosynclinaux, il sera en régression sur les aires continentales". Notre auteur considère que les transgressions sur les aires continentales sont "compensées" par des régressions dans les géosynclinaux et vice versa. Et il en tire une conséquence fondamentale : "Il est manifeste que cette conclusion

est inconciliable avec toutes les hypothèses cosmiques ou telluriques qui supposent des mouvements propres de la masse océanique. En revanche, elle s'accorde très bien avec l'hypothèse d'oscillations de la terre ferme".

Haug, autant par honnêteté intellectuelle que pour renforcer la validité de sa loi et des corollaires qu'il en tire fait appel à d'autres auteurs. Ainsi, il citait [Hébert](#) (p. 683) qui avait déjà mis en lumière le contraste des séries du Nord de l'Europe et de celles du Midi ; de Grossouvre (1894), selon lequel lorsqu'il y a une phase positive dans une région, elle correspond à une phase négative dans une autre ; Frech (1897-1899), qui a mis en évidence l'opposition entre la grande transgression du Silurien supérieur dans les régions arctiques et le mouvement négatif que l'on constate dans certaines parties des Montagnes Rocheuses, etc..

A notre époque, la loi de Haug, comme l'oeuvre entière de ce géant, a sombré dans l'indifférence puis dans l'oubli total. Son nom même est inconnu de l'immense majorité de nos thésards ! C'est là une des innombrables illustrations de l'inculture profonde qui caractérise notre temps, où pourtant chacun n'a que le mot culture à la bouche...

Dans le passé, il est difficile de dire quel impact a eu cette loi de Haug dans les conceptions et les interprétations des géologues des décennies qui ont suivi sa publication. Il ne nous semble pas, cependant, qu'elle ait jamais été critiquée radicalement comme elle le mérite. Car notre époque, qui pousse le recours aux interprétations eustatiques jusqu'à l'obsession, confirme chaque jour la conception de [Edouard Suess](#) (1897, 1900) où les transgressions et les régressions eustatiques sont à la fois des phénomènes universels et qui prennent leur source dans les déplacements des masses océaniques et non point dans les oscillations - éventuellement contrastées - des différentes parties des continents. Les progrès de l'interprétation faciologique nous semblent permettre de préciser sur quelques exemples les biais par lesquels Haug est tombé dans une conception erronée et à légiférer de façon fallacieuse.

Voyons d'abord le Trias. *"Le groupe moyen du Trias nous fournit un nouvel exemple de la loi des transgressions et des régressions. A des mouvements positifs dans les aires continentales correspondent des mouvements négatifs dans les géosynclinaux. Le contraste entre les deux catégories de régions est particulièrement frappant pour l'étage supérieur du groupe, pour le Ladinien. Ce mouvement positif se traduit par un approfondissement de la mer dans toute la province germanique ; il s'accuse déjà très nettement lors du dépôt du Wellenkalk (étage virglorien) et atteint son maximum, après une courte phase négative (groupe de l'anhydrite) au moment où Ceratites nodosus devient l'espèce la plus caractéristique. En même temps, la mer s'étend sur quelques massifs qui, depuis le début de la période, étaient restés émergés[...] La transgression virglorienne ou ladinienne serait donc générale en dehors du géosynclinal alpin..."* Puis Haug de citer un certain nombre de points dans le domaine des "géosynclinaux" où la transgressivité du Trias supérieur témoignerait de l'absence - et donc, pour notre auteur, de la régression - du Trias moyen : Alpes orientales ; Hallstadt ; Himalaya central ; Alpes centrales (Engadine, région du Brenner) ; à Balia Maaden, à Taylorville en Californie ; le géosynclinal circum-pacifique. *"Cette transgression [du Trias supérieur] dans les géosynclinaux correspond à une régression évidente sur les aires épi-continentales. Sans parler du mouvement négatif [de la mer] attesté dans les lagunes du Keuper dans toute la province germanique, je rappellerai que dans la Dobrogea, qui n'est pas atteinte par les plissements alpins, le Trias supérieur est représenté en grande partie par des calcaires dolomitiques et par des psammites, et que, dans le Sait Range, le même groupe est constitué par des dolomites. Dans les deux cas, le mouvement négatif est donc manifeste".*

La transgressivité du Trias moyen sur ce que nous appelons maintenant les plates-formes épicontinentales ne fait pas le moindre doute. Les études postérieures à la publication de Haug n'ont fait que la confirmer, que ce soit en France (Courel, 1973), au Sahara (Busson, 1972) ou dans une multitude de points. Mais le caractère régressif de ce même Trias moyen dans les géosynclinaux - élément essentiel pour valider la loi susdite - est-il démontré par les cas cités par Haug ? Observons tout d'abord qu'une discordance du Trias supérieur sur du Trias inférieur a pu être mise en évidence en domaine de plate-forme bien caractérisé, par exemple au Sahara tunisien (Busson, 1967). Mais, à supposer que cette absence du Trias moyen n'ait pas été controuvée par de nouvelles études cartographiques ou par de nouvelles découvertes paléontologiques, y a-t-il là la preuve d'une régression marine au Trias moyen ? Nous n'y voyons que le témoignage de déformations locales comme on peut en trouver pratiquement à n'importe quel intervalle stratigraphique.

Qu'en est-il maintenant des arguments avancés pour le Trias supérieur ? Ou encore peut-on parler, comme le fait Haug, de "régression évidente sur les aires continentales" ou de "mouvements négatifs attestés par les lagunes du Keuper" ? En fait, au cours du Trias supérieur, la transgression sédimentaire d'étalement progressif a poursuivi les gains territoriaux déjà réalisés au cours du Trias moyen. Le fait que cet étalement a souvent été l'apanage de dépôts évaporitiques a été mal compris par Haug et par bien d'autres auteurs. Sur ces plates-formes si particulières du Paléozoïque et du Mésozoïque il est courant que le sel ne soit pas le dépôt ultime de

"mers mortes" s'asséchant sur place et abandonnant un culot central dans cette dessication totale ; mais qu'il représente au contraire le premier émissaire du domaine océanique, quelquefois déposé en transgression discordante sur un socle trop totalement arasé pour fournir quelque détritique que ce soit.

En vérité bien des domaines au Trias supérieur - et pas seulement le domaine germanique - manifestent l'existence et la puissance d'une grande transgression qui s'est simplement exprimée différemment en domaine marin subsident, d'une part, et en domaine de plate-forme épicontinentale, d'autre part. Ce contraste dans l'expression d'un phénomène unique dans des domaines structuraux différents n'a rien de surprenant. Il ne correspond nullement à une transgression marine dans un cas et à une régression marine dans l'autre.

Voyons maintenant le cas du Cénomaniens et du Turonien. *"La transgression cénomaniens n'est qu'une phase dans une longue série de mouvements positifs de la mer, série qui débute au Néocomien, se continue avec une légère oscillation dans le sens négatif au Barrémien, à l'Aptien et à l'Albien. Au Cénomaniens, la mer atteint son maximum d'étendue horizontale, mais sa profondeur reste encore faible comme l'attestent les dépôts exclusivement néritiques et très souvent gréseux qui recouvrent les régions nouvellement conquises par la mer. En revanche, au Turonien, la transgression cesse d'envahir de nouvelles surfaces mais les eaux gagnent en profondeur, de sorte que dans un certain nombre de régions où le Cénomaniens est encore néritique, le Turonien inférieur affecte un caractère bathyal. Au Sénonien inférieur (Emschériens), par contre, dans les mêmes régions, le retrait de la mer est manifeste. On peut donc dire que le mouvement positif de la mer, qui commençait à se dessiner au Crétacé inférieur, atteint son maximum non pas au Cénomaniens, mais au Turonien inférieur"*. Puis Haug évoque de nombreuses localités où s'observent les témoins de cette transgression du Cénomano-Turonien. *"En même temps que les aires continentales sont envahies par la mer, les régions qui subiront des plissements à l'époque tertiaire, c'est-à-dire les géosynclinaux, deviennent le théâtre de mouvements orogéniques plus ou moins intenses, qui ont pour effet de déterminer des exondations locales, de sorte que les terrains crétacés moyens pourront faire défaut sur des surfaces souvent assez étendues tandis que dans des régions immédiatement adjacentes qui auront conservé le caractère géosynclinal, la succession des dépôts crétacés pourra être continue de haut en bas de la série. C'est le Turonien qui, marquant le maximum de transgression sur les aires continentales, manquera le plus souvent dans les régions plissées"*. Haug entame alors une énumération de localités du domaine "géosynclinal" où manquent le Turonien, voire le Cénomaniens et même l'Albien : Alpes orientales, Alpes occidentales (Hautes Chaînes calcaires de la Savoie), Carpates, Apennins, Andalousie, Algérie, Tunisie, Caucase, Cordillère des Andes, Californie, Colombie, Venezuela, Pérou. Puis après un long examen des terrains sénoniens, Haug conclut : *"En résumé, il résulte du précédent exposé, 1°) que la transgression cénomaniens ou plus exactement néocomiens-turonien est localisée aux aires continentales, 2°) qu'elle est compensée par une régression graduelle des mêmes termes dans les géosynclinaux, régression due à des mouvements orogéniques assez généraux, 3°) que l'Emschériens est transgressif dans les géosynclinaux et régressif sur les aires continentales, 4°) enfin que l'Aturien est de nouveau transgressé sur les aires continentales et sur le bord des géosynclinaux"*.

Le cas mérite d'être examiné de près car il s'agit quasiment de la clé de voûte des conceptions de Haug sur les transgressions et régressions dans le domaine continental et les géosynclinaux.

Tout d'abord nous aurions tendance à récuser la valeur de telle absence locale du Turonien ou du Cénomaniens ou de la position discordante du Sénonien, dans les domaines extrêmement mobiles que Haug appelle géosynclinaux. Comme cela a été dit ci-dessus pour le Trias supérieur, dans ces domaines tectoniquement complexes, on peut mettre en évidence ici ou là la lacune de n'importe quel étage sur lequel on focalisera l'attention. Cette mise en question des conclusions de Haug peut être ici d'autant plus forte que le Cénomaniens supérieur-terminal et le Turonien sont caractérisés souvent - comme nous allons le voir ci-dessous - par une grande pauvreté de la faune, surtout des restes macroscopiques, qui formaient l'essentiel des éléments paléontologiques de datation dans les études du 19ème siècle. Dans une région tectoniquement complexe, un ensemble stratigraphique quelconque passera d'autant plus facilement inaperçu que ses faunes sont rares ; a fortiori quand son épaisseur est particulièrement minime (cf. ci-dessous).

En dehors de ces lacunes locales plus ou moins avérées, plus ou moins vérifiées, nous croyons qu'il y a une raison qui rend compte d'une apparence de lacune du Turonien et également du Cénomaniens supérieur-terminal dans les domaines subsidents, sur les plates-formes internes ou les marges océaniques. Et pour se l'expliquer il importe d'évoquer certaines particularités de cette époque et les interprétations qu'il est maintenant possible d'en donner.

Le Cénomaniens supérieur-terminal correspond à l'un des "événements océaniques anoxiques des temps crétacés" (Schlanger et Jenkyns, 1976). Un épisode de couches sombres laminées (black shales auctorum) d'âge Cénomaniens supérieur-terminal (pouvant déborder sur le Turonien inférieur) a été observé non seulement

dans de nombreux forages océaniques profonds de l'Atlantique, ainsi que dans quelques sites du Pacifique et de l'océan Indien, mais également dans un très grand nombre d'affleurements à terre, repérés sur les cinq continents aussi bien sur les plates-formes épicontinentales qu'en régions plissées. Toutes les études ultérieures ont confirmé les conclusions de Schlanger et Jenkyns : il s'agit d'un épisode planétaire.

Or cet épisode sédimentaire s'est traduit par plusieurs phénomènes d'importance déterminante. Tout d'abord, il correspond souvent à des taux de sédimentation très réduits. C'est-à-dire que le Cénomaniens supérieur et terminal - voire le Turonien inférieur - risquent de n'être représentés que par quelques mètres ou quelques dizaines de mètres de sédiments qui ont pu, surtout en phase exploratoire, passer inaperçus et, dès lors, être interprétés comme une lacune du niveau stratigraphique correspondant. En outre, dans des conditions de faible oxygénation, le benthos s'est trouvé amoindri ou supprimé alors qu'il foisonnait souvent dans les couches sous-jacentes ou dans les équivalents latéraux de ces dépôts à matière organique. Le necton - les ammonites en particulier - peut, dans certains cas, être raréfié ou les coquilles écrasées peuvent être d'utilisation mal aisée. Bref, toutes les conditions ont été réunies pour que les études exploratoires concluent à une lacune de cet intervalle stratigraphique, et tout particulièrement dans les régions tectoniquement compliquées.

Récemment, nous avons proposé une interprétation à cet événement anoxique et à sa grande généralisation à l'échelle du monde. Les auteurs s'accordent pour penser que la transgression des mers du Crétacé moyen a pris son origine dans une production de croûte océanique exceptionnelle ayant eu pour conséquence le débordement d'une partie des eaux océaniques sur le domaine épicontinental voisin. Cette production exceptionnelle de croûte océanique s'est accompagnée d'un dégazage de CO₂ également très au-dessus de la normale. Ces phénomènes de transgression marine, de production de croûte océanique et de dégazage de CO₂ ont atteint un point culminant extraordinaire lors du Cénomaniens supérieur-terminal.

Dans la mesure où l'époque crétacée était caractérisée par un océan Atlantique verrouillé au Nord et au Sud et une Téthys [le terme de Téthys, dû à Suess, s'est substitué à la "grande mer centrale" de Neumayr (cf. Haug, 1900)] d'allongement équatorial, ces vastes corps d'eaux ne devaient pas être brassés. Dans ces conditions, nous avons pensé qu'il était plausible que le CO₂ arrivant en quantités exceptionnelles au fond de ces océans ait créé dans ceux-ci un système d'eaux stratifiées. Ce système, comparable à une échelle infiniment plus grande à celui qui s'est établi dans les lacs camerounais de Nyo et de Monoun consisterait en la superposition d'un hypolimnion alourdi par une forte teneur en gaz carbonique et un épilimnion plus léger puisque le gaz carbonique s'échappait facilement dans l'atmosphère à partir du corps d'eau superficiel. Nous avons enfin supposé que lors de la grande transgression du Cénomaniens supérieur (ayant débuté dans la zone à Naviculaire) le débordement a été tel que l'hypolimnion lui-même a envahi une partie des aires épicontinentales les plus marginales, les plus internes, les plus subsidentes.

L'envahissement de ces aires par ce corps d'eau confiné, hypoxique, acide, rendrait compte, avec la simplicité d'une cause unique, de plusieurs faits d'observation particulièrement importants.

Tout d'abord, comme n'importe quelle interprétation méromictique de ces black shales du Cénomaniens supérieur-terminal, ce mécanisme rend compte de caractéristiques déjà évoquées ci-dessus : taux de sédimentation très réduits, faunes appauvries en particulier du côté du benthos, fossiles écrasés dans ces couches à matière organique très favorables à la compaction, etc. N'importe quel système d'eaux stratifiées peut avoir pour effet un amenuisement du benthos et de la méiofaune et la sélection des espèces planctoniques éliminant celles qui évoluent au delà d'une profondeur seuil. Mais un système d'eaux stratifiées à gaz carbonique peut ajouter les effets de la dissolution ainsi opérée par des eaux acides contribuant à rendre ces couches particulièrement peu fossilifères. En outre, l'effet d'un système méromictique imputable à de grandes quantités de CO₂ dans le corps d'eau profond peut avoir été plus drastique. Les explosions limniques observées dans les lacs Nyo et Monoun lors de dégazages brutaux d'une partie de leurs eaux donnent à réfléchir. Si nous transposons ces phénomènes à l'échelle d'océans et de mers marginales crétacées, ne sommes-nous pas là en présence d'un mécanisme qui pourrait expliquer à la fois les extinctions brutales fini-cénomaniennes et la pauvreté biologique souvent constatée dans l'étage Turonien ? Avant d'apporter quelques arguments sur ces deux points, soulignons qu'il y a là des faits risquant au premier chef d'avoir empêché de reconnaître l'étage Turonien et d'avoir dès lors imaginé une lacune dont pouvait être responsable une régression.

Voyons d'abord les extinctions qui sont consécutives au Cénomaniens terminal, c'est-à-dire à l'époque des couches sombres laminées très généralisées. Parmi une multitude de références qui pourraient être citées, Kauffman et Erwin (1995) ont placé cet épisode d'extinction de la limite Cénomaniens-Turonien parmi les huit épisodes majeurs de l'histoire phanérozoïque. A cette approche statistique très générale du phénomène, nous nous contenterons d'ajouter quelques informations plus particulières mais de portée qui nous paraît néanmoins importante.

Citons d'abord des observations portant sur les faunes du Crétacé d'Afrique du Nord. D'aucuns s'étonneront de voir citées ci-dessous des études paléontologiques à la fois anciennes et qui sont plus le fait de géologues que de paléontologistes. Ce choix tient au fait que la statistique que nous envisageons, portant sur toute une faune par ailleurs très nombreuse et sur tous les groupes, n'a d'intérêt que si elle est homogène, c'est-à-dire réalisée par un même chercheur à une même époque. Laffitte (1939) a noté, pour l'ensemble de l'Afrique du Nord, que la faune du Turonien était beaucoup plus rare que celle du Cénomanien et du Sénonien ; à tel point qu'elle n'a pas fourni de types aux premiers explorateurs, précise cet auteur. Dans les séries de l'Aurès, intéressantes à la fois par leurs fortes épaisseurs et leur richesse fréquente en fossiles, ce même auteur a démontré comment, aux calcaires très fossilifères du Cénomanien, succèdent des marnes calcaires pratiquement sans fossiles, au Turonien. Phénomène qui, remarque-t-il, ne semble pas pouvoir être mis en relation avec une modification de faciès. Statistiquement Laffitte a déterminé 106 espèces d'invertébrés au Cénomanien, 65 pour le Turonien et 242 pour le Sénonien-Danien. A l'instar de ce qui a été observé en Tunisie centrale, dans le Turonien, les huîtres par exemple sont rares - les huîtres plissées notamment y sont inconnues - alors que ces formes sont fréquentes dans le Cénomanien et dans le Sénonien où les espèces sont en outre parfois très proches les unes des autres. La faune du Turonien est non seulement moins abondante, moins diversifiée, mais en outre elle présente souvent un caractère original par rapport aux faunes antérieures. Laffitte étendait ainsi aux Aurès une observation déjà faite par Pervinquière (1903) en Tunisie centrale, qui, de ce fait, qualifiait de "cryptogènes" certains éléments de la faune turonienne.

Les mêmes faits apparaissent dans les Ouled Nail où - pour s'en tenir à une considération globale - Emberger (1960) a déterminé 108 taxons dans le Cénomanien, 43 dans le Turonien et 62 dans le Sénonien, la signification de ce dernier chiffre n'ayant pas la même portée que les deux autres puisque le Senonien des Ouled Nail n'est que partiellement marin.

Bilotte (1989) envisageant le domaine de la plate-forme orientale et centrale des Pyrénées et ses abords a noté que les grands foraminifères benthiques qui sont si abondants à l'Albien et au Cénomanien sont très rares au Turonien. Ils ne réapparaissent à profusion qu'au Senonien. Pour cet auteur, la disparition massive se situe à la fin du Cénomanien supérieur (non terminal). Au sujet des rudistes, il note que les peuplements de l'Albo-Cénomanien d'une part, du Turonien d'autre part, diffèrent fondamentalement, les Caprinidés sont remplacés par les Hippuritidés de façon relativement brutale et précisément à la limite Cénomanien-Turonien. Bilotte en conclut que les événements de la fin du Cénomanien sont donc d'importance capitale puisqu'ils interrompent des lignées évolutives qui datent du Crétacé inférieur, laissant la place à des lignées nouvelles.

Philip et al. (1993) étendent des observations similaires au cadre plus général de la Téthys. La limite Cénomanien-Turonien ou plus précisément la limite entre la zone à *Archeocretacea* et à *Helvetica*, contemporaine de la fin de l'événement anoxique 2, se marque par un changement majeur de l'écosystème benthique. La crise affecte principalement les foraminifères benthiques et les rudistes à test aragonitique (Philip et Crumière, 1991, in Philip et al., 1993). Cette crise du biota se traduit d'ailleurs par une conséquence géologique de première importance avec un déclin général et remarquable des plates-formes carbonatées.

En fait, l'écosystème benthique n'est pas le seul affecté. Bellier (1989) a noté, chez les foraminifères planctoniques, le jeu de relais de radiations évolutives, séparées par l'événement de la fin du Cénomanien. C'est ainsi que la radiation des Thalmanninelles et des Rotalipores disparaît dès la base de l'événement ; tandis que la seconde qui s'amorce aussitôt après se marque par un taux de novation taxonomique élevé. Bellier interprète ce taux d'innovation par les conditions particulières créées par la "hauteur moyenne très importante du niveau des mers", maximum jamais plus atteint dans l'histoire de la Terre. Il nous semble qu'un autre événement favorable à ces innovations nombreuses pourrait résider dans le fait que l'événement a vidé un très grand nombre de niches écologiques et les a laissées disponibles pour une nouvelle colonisation, s'accompagnant naturellement d'une reprise de la diversification. Ces avatars dramatiques qui ont affecté le milieu marin, et les séquelles qu'ils ont laissées peuvent suffire à expliquer la rareté des fossiles postérieurement à l'événement - c'est-à-dire au Turonien - ; ou plus exactement leur cantonnement fréquent à certains groupes difficiles à observer au XIX^{ème} siècle, tels que les restes plus ou moins diagénétisés de Coccolithophoridées ou de *Nannoconus*. Cette rareté des fossiles était interprétée par Haug comme le signe d'un approfondissement, c'est-à-dire d'une transgression marine.

Nous citerons et discuterons maintenant un cas qui, pour ne pas être dû à Haug, se situe dans le droit fil des conceptions de cet auteur. Il s'agit d'un exemple où, en interprétant les faciès de façon trop exclusivement bathymétrique, on arrive à des conclusions biaisées qui, du coup, semblent supporter des paradoxes tels que ceux exprimés par la loi de Haug. On sait en effet que Haug, fortement impressionné par les résultats des explorations du Challenger, a développé tout particulièrement l'interprétation bathymétrique des faciès, négligeant un peu, par là même, les autres facteurs qui impriment en fait leur marque sur la nature et la

répartition des dépôts. Le cas que nous allons examiner est celui de l'interprétation du Cenomanien des bassins de l'ensemble constantino-tunisien et, plus spécialement de l'Aurès (Laffitte, 1939).

Dans une grande partie des coupes très épaisses exposées dans le massif des Aurès, la succession est schématiquement la suivante : Le Cenomanien inférieur et moyen est surtout constitué d'argiles distales et de marnes pouvant être riches en ammonites (en particulier en ammonites lisses, *Phylloceras* et *Lytoceras*(Laffitte, comme Haug et la plupart des auteurs de cette époque, considérant que ces genres étaient sténothermes, en déduisait qu'ils ne pouvaient vivre que dans la zone bathyale)), et à benthos plus rare et consistant parfois en espèces considérées comme profondes (*Hemiaster ameliae*). Au-dessus, le Cenomanien supérieur s'avère plus calcaire, riche en ostréidés et autres bivalves, échinides, etc..

En présence d'une telle succession, les auteurs n'ont pas manqué de parler d'un Cenomanien inférieur et moyen profond, suivi d'un Cenomanien supérieur peu profond. L'un de nous a déjà signalé jadis (Busson, 1960, p. 148) le résultat paradoxal de cette interprétation, qui pourtant paraît s'imposer : en effet, alors que, mondialement, le Cenomanien supérieur est caractérisé par une élévation du niveau des océans, dans les régions qui viennent d'être évoquées, on aurait au contraire une diminution de profondeur très sensible pendant le dépôt des couches du Cenomanien supérieur.

Il est nécessaire de ne pas se cantonner à une tentative d'interprétation purement locale de telles séquences. La comparaison avec un domaine plus externe, plus continental, qui s'étale sur d'immenses zones de la plate-forme saharienne et de Berbérie centrale et occidentale, accusera le paradoxe de l'interprétation de la succession observée dans les Aurès et en même temps en fournira la clé. En effet, en direction du Sud et du Sud-Ouest, c'est-à-dire en direction plus continentale, la série entièrement marine du Cenomanien que nous venons d'évoquer s'amincit et se modifie profondément.

Tout d'abord, la série marneuse du Cenomanien inférieur et moyen que nous avons vu dans le bassin constantino-tunisien passe, sur la plate-forme saharienne, à une série encore argileuse mais à caractère de plus en plus lagunaire. C'est ainsi qu'au début, quelques bancs de dolomie ou de gypse s'intercalent dans une série toujours majoritairement argileuse mais encore marine, admettant d'ailleurs des passées calcaires néritiques très fossilifères. Puis, plus au Sud, la série s'enrichit en gypse, restant encore dominée par des argiles ou marnes vertes, qui s'intercalent de quelques passées encore franchement marines. Plus au Sud encore, les intercalations marines disparaissent tandis que les intercalations évaporitiques se complètent par un niveau de sel de quelques mètres d'épaisseur, dans une bande géographique prenant en écharpe (de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest) le Sahara tuniso-algérien (Busson, 1972, fig. XII.7). Et, plus au Sud encore, jusqu'à la limite d'érosion constituée par la cuesta cenomanienne du Tademaït et du Tinrhert, la série sous-jacente à la zone à *Naviculare* n'est plus représentée que par des argiles rouges dominantes et quelques couches d'argiles vertes et de gypse massif.

Dans tout le domaine saharien et de Berbérie centrale et occidentale (de la Tripolitaine à l'Atlantique), cf. Fig. XII.7 in Busson (1972), cette série cenomanienne argilo-lagunaire est coiffée sans transition par une série calcaire marine qui a pu être datée avec précision en beaucoup de points de la zone à *Naviculare* et qui s'étend jusqu'au Turonien inférieur. Dans des aires comme le Tinrhert, cette série calcaire directement superposée à un argilo-lagunaire à cachet aussi nettement continental, est remarquable par l'abondance de ses faunes benthiques et nectoniques et un cachet marin très ouvert.

La série argilo-lagunaire du Cénomanien inférieur et moyen de ce domaine saharien est à l'évidence l'équivalent latéral de la série marneuse à céphalopodes contemporaine des coupes du bassin constantino-tunisien. Les bancs de gypse qu'elle contient et qui ont pu ainsi prolonger la série toute marine du Nord, se sont déposés à très faible profondeur, voire à la limite de l'émersion. Un léger sillon à la surface de la plate-forme saharienne a permis même de piéger du sel. Grâce aux apports phylliteux permanents de ce Cénomanien inférieur et moyen, cette sédimentation s'est opérée constamment "à ras bord" et les fluctuations mineures du niveau marin ont suffi pour inonder de façon épidermique la plate-forme saharienne et atlasique et y laisser ces minces voiles de dépôts évaporitiques. Dès lors, on conçoit que les calcaires sus-jacents de la zone à *Naviculare* qui font suite à cette série argilo-lagunaire, nécessitent une élévation remarquable du niveau des océans. Cela est d'autant plus vrai que ces calcaires à *Naviculare* se sont étendus bien au-delà du bassin argilo-lagunaire comme en témoignent les affleurements où ces dépôts calcaires du Cénomanien supérieur sont directement superposés au Paléozoïque (par exemple dans les Irrarène, Claraq et Durif, 1958) ou sur l'Antécambrien (par exemple à Amguid, Kilian, 1930) ou à Mouri Idé (Dufaure et al., 1984).

A la lumière de ces faits, l'interprétation des faits observés dans les Aurès n'est pas seulement en contradiction avec les phénomènes eustatiques universels qui caractérisent la succession cenomanienne. Elle est

rigoureusement contradictoire avec les enseignements des couches contemporaines qui la prolongent sur le bouclier africain et où, indubitablement, un Cénomanien inférieur et moyen argileux est moins marin - et moins profond - que les calcaires de la zone à Naviculaire qui lui succèdent.

En fait, malgré son apparente évidence, l'interprétation bathymétrique donnée à la succession cénomanienne de l'Aurès est irrecevable.

Au Cénomanien inférieur et moyen, le bassin constantino-tunisien - comme tant d'autres régions - recevait encore des apports phylliteux d'importance considérable en provenance du craton africain, manifestation finale des formidables apports détritiques qui ont caractérisé tout le Crétacé inférieur ainsi que l'Aptien et l'Albien. Et ces apports phylliteux ont marqué la sédimentation et imposé un biota particulier où les faunes nectoniques et planctoniques ont une certaine abondance et des caractères qui pourraient être plus liés au milieu turbide qu'à la profondeur. Au contraire, au Cénomanien supérieur, quand la transgression marine et ses dépôts calcaires ont recouvert des superficies extrêmement étendues sur le craton africain (cf. ci-dessus), les apports phylliteux se sont trouvés réduits de façon drastique et il y eut développement d'un biota benthique constructeur diversifié, foisonnant, sans que pour autant la tranche d'eau ait été moins importante. Bref, dans ce bassin en général et dans l'Aurès en particulier, les dépôts du Cénomanien supérieur ne résultent pas d'une régression marine par rapport aux dépôts qui les précèdent. Ici encore, les contradictions apparentes s'évanouissent ; car elles n'étaient que le fruit d'interprétations erronées.

Conclusion

Les phénomènes naturels sont d'une infinie complexité. Il n'est donc pas étonnant que, lorsque l'esprit humain s'est laissé abuser par des observations et des interprétations erronées, il trouve des mécanismes pour en rendre compte et qui contribuent à rendre crédibles les interprétations les plus paradoxales. Haug n'y a pas échappé. Après que des études approfondies menées par cet auteur l'aient "conduit" à attribuer les transgressions et les régressions sur les aires continentales à des oscillations verticales de ces aires elles-mêmes - les mouvements épéirogéniques - de là il lui a fallu chercher des "*corrélations avec des mouvements dits orogéniques des géosynclinaux*". Or, pour lui, les oscillations de ces deux catégories de régions s'avéraient synchroniques et de signes différents! Il en conclut qu'il est plausible d'admettre non pas un rapport fortuit mais une relation de cause à effet entre ces mouvements. Nous n'insisterons pas sur les mécanismes qu'il a échafaudés pour rendre compte de ces mouvements antagonistes synchroniques et complémentaires. C'est du passé.

Le progrès des connaissances nous a fait basculer dans une histoire et des processus de transgressions et régressions plus proches des conceptions de [Edouard Suess](#), pourtant aussi anciennes et même plus anciennes encore que celles de Haug. Cet auteur était cependant au courant des conceptions de Suess qu'il évoque à plusieurs reprises dans son travail fondamental de 1900. Pour Suess, écrit-il, "*les mouvements négatifs du niveau de la mer seraient dus en partie aux affaissements locaux de la surface terrestre qui chaque fois ont appelé une partie des eaux marines dans les fosses ainsi constituées, en abaissant du même coup le niveau général des rivages. Les mouvements positifs seraient imputables à l'accumulation des sédiments sur le fond des mers, accumulation qui diminuerait localement la profondeur des océans, déterminant une élévation du niveau général*". Et dans une note infrapaginale : les mouvements de Suess "*ont pour origine la formation des fosses océaniques et l'accumulation des sédiments*". L'eustatisme de Suess est par essence universel, différence irréductible avec les conceptions de Haug. Certes, la science moderne n'a pas retenu l'accumulation des sédiments comme facteur principal de débordement de la masse océanique ; mais bien plutôt la production de croûte océanique en quantité anormale. Néanmoins, les conceptions de Suess préfiguraient de façon remarquable nos idées les plus modernes.

La loi de Haug sur les transgressions et les régressions est intéressante du point de vue épistémologique. Elle montre les dégâts que peut entraîner l'esprit de système, même aux dépens d'un homme aussi exceptionnellement cultivé et d'une expérience aussi étendue qu'E. Haug. Car l'esprit de système pousse irrésistiblement à trier les informations, à privilégier certaines interprétations au demeurant douteuses et à construire artificiellement un édifice de plus en plus solide, quoique dépourvu de toute véracité. Mais bien orgueilleux, celui qui prétendrait échapper toujours et partout à l'esprit de système...

BIBLIOGRAPHIE

- BELLIER J. P. 1989. Les événements de l'histoire des foraminifères planctoniques du Crétacé moyen (Aptien à Turonien). In COTILLON P. (éd.) : Les événements de la partie moyenne du Crétacé (Aptien à Turonien). Geobios, Lyon, mém. sp. 11, p. 295-301.
- BUSSON G. 1960. Sur la coupe du Crétacé supérieur et de l'Eocène inférieur du Tinrhert central (Sahara algérien). Trav. Inst Rech. San., Alger, 19, 1er-2è sem., p. 141-150.
- BUSSON G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : l'Extrême-Sud tunisien. Publ. Centre Rech. Zones Arides (CNRS), Paris, sér. Géol., 8, 194 p .
- BUSSON G. 1972. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Mém. Mus. nat Hist. nat, Paris, sér. C, XXVI, 441 p.
- CLARAQ P. et DURIF P. 1958. Découverte d'un affleurement jalonnant la transgression du Crétacé supérieur en direction d'Amguid (Sahara central). C. R. somm. Soc. géol. Fr., 1958, p. 307-308.
- COUREL L. 1973. Modalités de la transgression mésozoïque : Trias et Rhétien de la bordure nord et est du Massif central français. Mém. Soc. géol. France, Paris, nouvelle série, 52, Mém. 118, 152 p.
- DUFAURE P., FOURCADE E. et MASSA D. 1984. Réalité des communications marines trans-sahariennes entre la Téthys et l'Atlantique durant le Crétacé supérieur. C. R. Acad. Se. Paris, t. 298, sér. II, 15, p. 665-670.
- EMBERGER J. 1960. Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Oulad Naïl (Atlas saharien, Algérie). Publ. Serv. carte géol. Alger, 27, 399 p.
- KILIAN C. 1930. Du Crétacé du versant nord du Massif Central saharien. C. R. somm. Soc. géol. Fr, 1930, p. 125.
- KAUFFMAN E. G. et ERWIN D. H. 1995. Surviving mass extinctions. Geotimes, 40, 3, p. 14-17.
- LAFFITTE R. 1939 Etude géologique de l'Aurès. Bull. Serv. carte géol. Algérie, Alger, (2), 15, p. 1-451.
- PERVINQUIERE L. 1903. Etude géologique de la Tunisie centrale. Thèse Sciences, Paris, 360 p.
- PHILIP J., BABINOT J. F., TRONCHETTI G., FOURCADE E, RICOU L E, GUIRAUD R., BELLION Y., HERBIN J. P., COMBES P. J., CORNEE J. J. et DERCOURT J. 1993. Late Cenomanian (94 to 92 M a). In Atlas Tethys palaeoenvironmental maps éd. by Dercourt J., Ricou L.-E. et Vrielynck B., Gauthier-Villars, Paris, p. 153-178.
- PRUVOST P. 1930. Sédimentation et subsidence. Livre jubilaire Soc. géol. Fr., 2, p. 545-564.
- SCHLANGER S. O. et JENKYNS H. C. 1976. Cretaceous oceanic anoxia events : causes and conséquences. Géologie en Mijnbouw, 55, n° 3-4, p. 179-184.
- SUESS E. 1897,1900. La face de la Terre. Armand Colin, Paris, 2 tomes, 835 et 878 p.