

UNE HYPOTHÈSE SUR LA PALÉOGÉOGRAPHIE DE L'AFRIQUE AU COURS DU PALÉOZOÏQUE INFÉRIEUR (*)

par HENRI et GENEVIÈVE TERMIER (**)

RÉSUMÉ

Au Paléozoïque le bouclier africain s'est trouvé presque constamment hors des atteintes de la mer. D'un autre côté, on connaît des tillites éocambriennes indiquant l'existence d'une calotte polaire en Mauritanie, au Congo et en Afrique du Sud, puis de très importants indices glaciaires d'âge Ordovicien Supérieur de part et d'autre de la dorsale Reguibat et à la périphérie du Hoggar. On propose l'idée que plusieurs inlandsis se sont succédé sur l'Afrique depuis l'Éocambrien jusqu'au Dévonien, au cours d'environ 200 millions d'années. L'augmentation de poids due à l'accumulation de la glace a certainement entraîné une subsidence considérable et une remise en profondeur pourrait expliquer les âges relativement récents calculés pour les biotites dans une grande partie de l'Afrique.

I. LES FAITS

De nombreux géologues appartenant à des écoles très différentes ont travaillé en Afrique. Quand on rassemble les résultats de leurs enquêtes, on aboutit à des conclusions assez troublantes et dont plusieurs paraissent difficiles à expliquer.

A. — Depuis longtemps on a remarqué que sur la presque totalité de l'Afrique, il y a très peu de sédiments marins datant de l'ère primaire (1). Sauf en ce qui concerne le Maroc et l'Algérie, le Sahara ainsi que la région du Cap, la plus grande partie du continent africain paraît être demeurée un ensemble soustrait à l'action de la mer durant une période de plus de 200 millions d'années.

Pendant le laps de temps envisagé, les incursions marines sur ce continent ont été les suivantes :

- transgression d'âge édiacarien (Cambrien I) (2) qui a écorné l'ouest de l'Afrique du Sud (série de Kuibis) ;
- transgression du Cambrien inférieur (II) sur l'Afrique du nord-ouest (Sud marocain) (3) ;
- transgression du Cambrien moyen sur le Maroc (*op. cit.*, fig. 184, p. 189) ;
- transgression de l'Ordovicien sur le Maroc et le Sahara (*op. cit.*, fig. 275, p. 360) ;
- grande transgression du Silurien (XIV) sur le nord-ouest de l'Afrique, le Sahara et la Guinée (*op. cit.*, fig. 345, p. 485) ;

(*) Manuscrit reçu le 1^{er} juillet 1969.

(**) Henri Termier, Professeur honoraire à la Sorbonne ; Geneviève Termier, Maître de Recherche au C.N.R.S., Université de Paris, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie structurale, 9, quai Saint-Bernard, Paris V^e, France.

(1) H. et G. TERMIER, Atlas de Paléogéographie, cartes I à XVIII.

(2) H. et G. TERMIER, Les Temps Fossilifères. I. Paléozoïque inférieur. Tableau IX, page 30.

(3) Id., p. 106, fig. 91.

— au Siluronien (XVI), transgression sur le bassin du Cap (*op. cit.*, fig. 396, p. 564) ; tandis qu'une grande partie du nord de l'Afrique reste sous les eaux (*op. cit.*, fig. 422, p. 579).

Au total, on voit que durant le Paléozoïque inférieur, le bouclier Africain était presque constamment *hors de la mer*.

B. — Les découvertes récentes nous apprennent qu'il existe d'importantes *traces glaciaires* en Afrique, qui datent de l'Antécambrien. Le schéma donné par J. Sougy (fig. 3, 1969) est très éloquent : dans l'Adrar Maure et dans le Zemmour, sur le socle précambrien qui constitue la dorsale Réguibat, repose un « infracambrien » qui, au-dessus de la discordance majeure, montre une discordance péri-glaciaire (Fort Gouraud), puis un « Cambro-ordovicien » débutant par la tillite dite éocambrienne (Zimmermann, 1960). D'après J. Sougy et G. Pouit (1968), « cette tillite se suit jusqu'à la frontière algérienne, ceinturant ainsi toute la partie mauritanienne du bassin de Taoudeni ». Au-dessus viennent des sédiments épais de 500 à 1 000 m, par exemple à Atar. Près du fleuve Sénégal, dans la région de Kayes, le conglomérat argilo-calcaireux décrit par R. Furon (1932), puis par L. Baud (1933), est considéré actuellement comme une tillite d'âge infracambrien.

A l'Éocambrien, à un âge d'environ 700 millions d'années, un peu antérieur à celui de la transgression édiacarienne, les moraines fossiles sont très largement distribuées sur les terres émergées, mais leur densité de répartition est surtout forte en Afrique.

En plus de ce que nous venons de citer, on connaît plusieurs niveaux de tillites dans la République Démocratique du Congo, groupe du Katanga (Temps Fossilifères, Tableau VIII, p. 29 et 47) et en Afrique du Sud (Tillites de Nabas et de Numees, *id.*, p. 30 et 46, voir aussi Henno Martin, 1965, fig. 1).

Ces tillites que l'on peut attribuer à l'Éocambrien, indiquent l'existence d'une calotte polaire (*op. cit.*, fig. 25, p. 49, et fig. 20 à 23, p. 46 et 48). En effet, il est difficile de penser à des glaciers de montagnes car : 1) la topographie était très plane et elle l'est restée ; 2) ces formations se sont étendues sur des milliers de kilomètres ; 3) en certains points, elles sont assez épaisses.

Les géophysiciens ont déterminé la position du *pôle magnétique* à différents moments des âges géologiques. Vers — 600 millions d'années et vers — 500 millions d'années, il se plaçait au niveau des îles Canaries (Brock, 1967 ; J. C. Briden, 1968).

Il y a donc un accord assez précis entre les données sédimentologiques, climatiques et géophysiques, c'est-à-dire entre cette position du pôle magnétique et l'abondance des glaces éocambriennes indiquées par les dépôts de tillites.

Rappelons, pour mémoire, que l'on connaît une glaciation éocambrienne en Amérique du Sud (Almeida, 1964).

C. — A l'Ordovicien moyen et supérieur, se différencie une province américano-arctique, prolongée en Sibérie et dans l'est de l'Australie, qui offre tous les caractères d'une zone marine intertropicale. Très riche en calcaire, elle renferme de fort belles faunes d'organismes à test épais et des constructions de cnidaires à polypiers, de bryozoaires et d'algues, comme les récifs coralliens que l'on peut observer de nos jours.

Mais sur le Sahara, de nombreux indices montrent à la fin de cette période (à la limite de l'Ordovicien et du Silurien) l'installation d'une nouvelle calotte glaciaire. On retrouve en effet le modelé (Beuf, Montadert, Debyser, 1962 ; S. Beuf, B. Biju-Duval, J. Stevoux et G. Kulbicki, 1966) des chenaux (paléovallées) et des

dépôts fluvio-glaciaires. C'est un important indice que le pôle ne devait pas encore être bien loin de sa position cambrienne, c'est-à-dire qu'il était près de la côte mauritanienne, peut-être un peu déporté vers le sud.

Une discordance de ravinement observée et définie pour la première fois au Zemmour en 1955 paraît exister dans presque tout le nord-ouest de l'Afrique, à savoir :

- Sud marocain : Anti-Atlas (J. P. Destombes, 1968) ;
- Maroc ex-espagnol : région d'Aoucert (Bronner et Sougy, 1969) ;
- Bassin de Tindouf dont l'Ordovicien terminal est distingué sur la carte géologique au 1/2 000 000 de P. Gevin (2^e éd. 1962). Notons qu'il y a des blocs cannelés dans la tillite de la Gara Assaba ;
- Zemmour (série de Garat el Hamoueïd) (Sougy, 1969, fig. 3) ;
- Adrar Maure ;
- Taganet ;
- Hodh.

Ces indices glaciaires se trouvent à la périphérie du Hoggar : sud de l'Ahnet, sud et est du Mouydir, sud et est du bassin de Polignac, sud du Hoggar (au nord du bassin du Talak), bande importante située à l'est du Hoggar (ouest du bassin de Djado), enfin est du Tibesti et du Borkou jusqu'à l'Ennedi (voir la pl. I de l'article de Beuf, Biju-Duval, etc.). En outre, les études sédimentologiques effectuées par les géologues de l'Institut Français du Pétrole montrent que « la mer silurienne, ayant recouvert le Sahara après le dépôt des ensembles détritiques de l'unité IV, a les caractéristiques d'une mer post-glaciaire ». Son âge est Llandoveryen (Temps Fossilifères, p. 436).

Ainsi le glaciaire s'est étendu aussi bien au sud qu'au nord de la dorsale Reguibat et dans le Sahara central, depuis l'Ahnet jusqu'à l'Ennedi. On peut donc envisager avec J. Sougy et J. P. Lécorché une « glaciation de type calotte glaciaire sur tout le nord-ouest de l'Afrique à la fin de l'Ordovicien ». D'accord avec plusieurs des auteurs cités, on peut la dater de l'Ashgill (vers — 440 m.a.).

Entre l'Ordovicien supérieur et le Silurien, donc surtout pendant le Silurien, le pôle s'est déplacé vers le sud, ou plus exactement l'Afrique a glissé vers le nord. Cette translation est certainement en rapport avec le plissement de la chaîne calédonienne. On peut même penser qu'elle en est la cause, comme, pour de nombreux auteurs, le transfert de l'Afrique vers le nord au cours de l'ère tertiaire est probablement la cause du plissement des Alpes, et la migration du Dekkan vers l'Asie à l'Oligocène est probablement la cause du plissement de l'Himalaya.

D. — Au Silurien (vers — 400 millions d'années), il y a encore des traces glaciaires sur le bassin du Cap, de même que plus à l'ouest, autour des îles Falkland, et elles atteignent, au Brésil, le bassin de Parnaíba (J. J. Bigarella et autres, 1965). La fonte des inlandis africains et sud-américains va inaugurer une transgression glacio-eustatique entraînant la mise en eau de ces bassins.

On sait que des phénomènes glaciaires se sont manifestés à nouveau au Carbonifère jusqu'au Niger (vers — 270 m.a.).

E. — Dans un autre ordre d'idées, la géochronologie isotopique a mis en évidence une série de roches cristallines (granites et gneiss surtout) dont les âges absolus s'étalent principalement entre — 550 et — 450 millions d'années dans une

grande partie de l'Afrique. Or, l'âge réel de certaines de ces roches est beaucoup plus ancien : il s'agit en fait d'un rajeunissement que l'on a qualifié d'« épisode thermotectonique » (W. O. Kennedy, 1964). Tout se passe comme si des massifs granitiques avaient été remis en profondeur et avaient subi, en même temps qu'un degré géothermique relativement élevé, des influences (par exemple, des venues fumerolliennes) modifiant certains de leurs minéraux, en particulier leurs biotites.

Ce rajeunissement n'affecte pas les parties les plus anciennes de l'Afrique (par exemple, les boucliers birrimien, rhodésien, etc.) qui appartenaient à de vieilles plates-formes depuis longtemps consolidées, mais les chaînes plissées à la fin du Riphéen et au Cambrien I, à savoir les Mozambiquides, les Congolides, les Mayumbides.

[Nous savons d'autre part qu'il existe des plutons de granites tardi-orogéniques (connus sous le nom de granite des Taourirt) datés de -560 ± 40 millions d'années, chiffre correspondant, d'après les auteurs, non à un événement thermo-tectonique mais à la mise en place de ces roches (J. Boissonnas et autres, 1967-1969). Il faut donc souhaiter la multiplication des études de géochronologie par les méthodes isotopiques pour que l'on soit en mesure de séparer les âges réels de la cristallisation des roches et les âges modifiés par des phénomènes de réjuvenation.]

Au Dévonien inférieur, la position réciproque du pôle magnétique et de l'Afrique paraît s'être modifiée, en ce sens que, sans doute en corollaire des dernières phases de l'orogénèse calédonienne qui ont soudé les Appalaches à la chaîne calédonienne d'Europe (continent nord-atlantique ou des Vieux Grès Rouges), l'Afrique paraît avoir continué de dériver, en même temps que tout le continent de Gondwana, du sud vers le nord ⁽¹⁾. Le pôle magnétique a donc encore subi un déplacement relatif vers le sud. On en a le témoignage par la faune antarctique éodévonienne, qui est alors une faune froide comparable à celle qui vit actuellement dans l'est du Groenland (Mac Alester et Doumani, 1966). Dans le même temps, il faut noter l'apparition des récifs de coraux dans le sud marocain.

II. HYPOTHÈSE

Pour expliquer les faits précédents, nous proposons une hypothèse d'ensemble paléogéographique et climatique qui s'accorde avec plusieurs de nos conclusions antérieures.

Nous pensons que des inlandsis se sont répartis sur l'Afrique depuis l'Éocambrien jusqu'au Dévonien, c'est-à-dire au cours de plus de 200 millions d'années. Il faut évidemment supposer des maximums et des minimums, et bien entendu de longues phases interglaciaires. Mais on peut concevoir qu'un stockage considérable d'eau sous forme de glace a pu former des calottes épaisses de plusieurs milliers de mètres. Dans ce cas, l'augmentation de poids du continent africain a dû entraîner pour lui une subsidence analogue à celle qui s'est produite au quaternaire pour les boucliers canadien et scandinave et à celle qui a lieu de nos jours pour le Groenland et l'Antarctide. Nous ne pouvons préciser la valeur numérique de cet enfoncement mais elle a pu atteindre plusieurs kilomètres.

Cette remise en profondeur pourrait être une explication des âges des biotites calculés dans une grande partie de l'Afrique, si elle a engendré une tectonique particulière, des remobilisations et des réjuvenations.

(1) Notons que pour J. C. Briden, la dérive gondwanienne n'a commencé qu'au Dévonien moyen (-385 millions d'années).

On admet que le rajeunissement des biotites s'effectue aux environs de 200° centigrades. Pour un degré géothermique de 33 mètres, qui est la moyenne actuelle, elle exigerait un enfoncement de 6 000 mètres. Mais ce chiffre est un maximum car il est hautement probable que la croûte terrestre était moins épaisse au Cambrien et à l'Ordovicien qu'elle ne l'est de nos jours. De plus, à ces époques, les Mozambiquides, par exemple, étaient encore jeunes : on peut donc penser que le nombre de mètres dont il fallait s'enfoncer pour augmenter la température de 1° y était plus faible qu'aujourd'hui.

D'ailleurs, dans les régions volcaniques et dans les zones orogéniques récentes, on connaît des degrés géothermiques faibles (de l'ordre de 10 m). D'autre part, nous savons qu'en Antarctide, l'épaisseur de la glace est de plus de 2 000 mètres tandis qu'elle dépasse 3 000 mètres au Groenland.

Ainsi l'Afrique aurait été tantôt émergée, tantôt placée à un niveau très inférieur à celui des mers. Toute épeirogénèse de ce continent a dû entraîner pour lui une glaciation et donc, sur l'ensemble de la croûte terrestre, des climats contrastés, par exemple à l'Ordovicien supérieur (XIII). Toute fusion de l'ensemble des glaces a dû provoquer une transgression eustatique dans le monde entier : nous pouvons en donner deux exemples typiques : celui de l'Ediacarien (I) et celui du Silurien (XIV).

Nous ne nous dissimulons pas les difficultés rencontrées par notre hypothèse.

Les données fournies par la géophysique concernent les *pôles magnétiques*. D'après les travaux de Briden, ceux-ci paraissent bien être demeurés constants entre — 600 et — 500 millions d'années, mais nous ne savons pas s'ils l'ont été dans toute la période comprise entre — 700 et — 440 millions d'années.

En second lieu, les *pôles climatiques* ont-ils toujours sensiblement coïncidé avec les pôles magnétiques? Nous manquons de données précises sur ce point.

En troisième lieu, entre l'Éocambrien et l'Ashgill, les territoires considérés ne fournissent pas d'évidence de glaciation (1). Le seul épisode climatique connu est la répartition des *Archaeocyatha* au Cambrien II. Quand elle est minimale, ces organismes sont concentrés dans la mer à *Redlichia*, où ils ont construit des entablements de calcaire. Cette mer avait pour axe la trace d'un plan perpendiculaire à l'équateur correspondant aux pôles magnétiques de l'époque. Il nous semble s'agir d'un exemple de « distribution longitudinale » telle qu'elle a été définie par Sv. Ekman (1953).

Si les pôles climatiques étaient voisins des pôles magnétiques, il faut admettre qu'à cette époque les mers étaient uniformément chaudes, même aux pôles. D'ailleurs, le peuplement remarquablement homogène de ces mers laisse à penser qu'il y avait des courants équatoriaux se dirigeant vers les pôles en suivant la province à *Redlichia*.

Nous n'avons pas encore parlé des *pôles géographiques*, intersections de l'axe de rotation de la terre avec le géoïde. La position de cet axe ne peut être reconnue géologiquement parlant que par les effets de la rotation. Il semble qu'on puisse les évoquer à deux époques : 1) pendant le régime chélogénique du Lac Supérieur, où l'axe était à peu près dans sa position actuelle si l'on se fonde sur la *flexuosité* des chaînes de montagnes à partir de pôles très voisins des pôles actuels ; 2) depuis le Néogène jusqu'à notre époque, parce qu'on voit s'affirmer le « Tethys-twist », qui est un peu l'équivalent de la flexuosité précédente. Les pôles de rotation sont-ils restés fixes tandis que les pôles magnétiques et les pôles climatiques se seraient déplacés? Nous ne pouvons le dire. En revanche, nous savons que la durée de rotation

(1) Une poussée glaciaire a eu lieu à la base de l'Ordovicien (il y a environ 500 m.a.) en Amérique du Sud au voisinage du golfe du Jujuy.

de la terre a varié. Y a-t-il un rapport entre cette durée et l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'écliptique? Ces problèmes, et bien d'autres, ne sont pas résolus.

Pour Briden, la dérive n'a commencé qu'au Dévonien moyen (à — 385 millions d'années). Nous pensons qu'elle a débuté plus tôt, mais avec un taux de déplacement très faible. Il ne serait donc pas étonnant que les pôles climatiques soient demeurés constants pendant une très grande période. En tout cas, les phénomènes glaciaires paraissent bien avoir duré longtemps sur une grande partie de l'Afrique ; d'où notre hypothèse. Pour terminer, nous pensons que l'on est en droit, à la suite des nombreux travaux récents en géophysique, géologie et paléontologie, d'exploiter davantage les conséquences des changements paléogéographiques et en particulier celles de la dérive des continents.

RÉFÉRENCES

- ALMEIDA, F. F. M., DE, 1964. — Geaciação Eocambriana em Iato Grosso. *Div. Geol. Mineralogia, Notas Prel. e Estudos*, n° 117, 11 p., Rio de Janeiro.
- BAUD L., 1933. — Le conglomérat argilo-calcaireux dans la région de Kayes et de Bafoulabé (Soudan occidental) et sa position stratigraphique. *C. R. Ac. Sc.*, t. 197, p. 172-173.
- BEUF S., MONTADERT L. et DEBYSER J., 1962. — Sur des structures sédimentaires dénommées « cordons » dans les grès de l'Unité IV du Cambro-Ordovicien du Tassili des Ajjers entre l'oued Tasset et Djanet. *C. R. Ac. Sc.*, t. 254, p. 892-893.
- BEUF S., BIJU-DUVAL B., STEVOUX J. et KULBICKI G., 1966. — Ampleur des glaciations « siluriennes » au Sahara : leurs influences et leurs conséquences sur la sédimentation. *Rev. de l'Inst. F. du Pétrole*, mars, p. 363-381.
- BIGARELLA J. J., MABESOONE J. M., CALDAS LINS J. et FERNANDO O MOTA F., 1965. — Palaeogeographical features of the Serra Grande and Pimenteira formations (Parnaiba basin, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 1, n° 4, décembre, p. 259-296.
- BOISSONNAS J., BORSI S., et FERRARA G., FABRE J., FABRIES J. et GAVELLE M., 1969. — On the early cambrian age of two late orogenic granites from West-central Ahaggar (Algerian Sahara). Presented at the International Conference « Geochronology of Precambrian stratified rocks », held in Edmonton, Alberta, June 12-14 1967. *Canadian Journ. of Earth Sci.*, 6, 25.
- BRONNER G. et SOUGY J., 1969. — Extension de la glaciation ordovicienne à la région d'Aoucert (Sahara espagnol méridional). *V^e Coll. Géol. africaine*, Clermont-Ferrand.
- BRIDEN J. C., 1968. — Paleomagnetism of the Ntonya Ring structure, Malawi. *Journ. Geophys. Res.*, vol. 73, n° 2, January 15.
- BROCK A., 1967. — Paleomagnetic result from the Hook intrasives, Zambia. *Nature*, 216, 359.
- CAHEN L., 1963. — Glaciations anciennes et dérive des continents. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 86, p. 19-83.
- DARS R., SOUGY J. et VOGT J., 1959. — Observations nouvelles sur le « Cambro-ordovicien » du plateau mandingue occidental (A.O.F.). *Bull. S. G. F.*, 7^e série, t. I, p. 137-142.
- DEBYSER J., DE CHARPAL O. et IERABET O., 1965. — Sur le caractère glaciaire de la sédimentation de l'Unité IV au Sahara central. *C. R. Sc. Ac.*, Paris, t. 261, 20 déc., p. 5575-6, 1 fig.
- DESTOMBES J. P., 1968. — Sur la présence d'une discordance générale de ravinement d'âge Ashgill supérieur dans l'Ordovicien terminal de l'Anti-Atlas (Maroc). *C. R. Ac. Sc.*, t. 267, 5 août, p. 565-567.
- DESTOMBES J. P., 1968. — Sur la nature glaciaire des sédiments du groupe du 2^e Bani, Ashgill supérieur de l'Anti-Atlas (Maroc). *C. R. Ac. Sc.*, t. 267, 12 août, p. 684-686, 1 fig., 1 pl. h.-t.
- DIA O., SOUGY J. et TROMPETTE R., 1968. — Discordance de ravinement et discordance angulaire dans le « Cambro-ordovicien » de la région de Mejeria (Taganet occidental, Mauritanie).

- EKMAN Sv., 1953. — Zoogeography of the sea, p. 244.
- FURON R., 1932. — La série schisto-calcaire du Soudan, son conglomérat de base et sa position stratigraphique par rapport aux séries antérieures. *C. R. Ac. Sc.*, t. 195, p. 56-58.
- GEVIN P. — Carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique : Sahara occidental. (2^e éd., 1962, C.N.R.S.).
- KENNEDY W. O. — The structural differentiation of Africa in the Pan-African (500 m.y.) tectonic episod. *8th Ann. Rep. Ees. Inst. Afr. Geol. Leeds Univ.*, p. 48-49, 1964.
- MAC ALESTER A. L. et DOUMANI G. A., 1966. — Bivalve ecology in the Devonian of Antarctica. *Journ. of Pal.*, 40, 3, p. 752-755.
- MARTIN (Henno). — Beobachtungen zum Problem der Jung-Präkambriachen glazieren Ablagerungen in Südwestafrika. *Geol. Rundschau*, Bd 54, H. 1, 1965, p. 115-127, 5 fig.
- SOUGY J. et LECORCHÉ J. P., 1963. — Sur la nature glaciaire de la base de la série de Garat el Hamoueid (Emmour, Mauritanie septentrionale). *C. R. Ac. Sc.*, t. 256, p. 4471-4474, 20 mai.
- SOUGY J., 1969. — Grandes lignes structurales de la chaîne des Mauritanides et de son avant-pays (socle précambrien et sa couverture infra-cambrienne et paléozoïque), Afrique de l'Ouest. *Bull. S. G. F.*, 17 mars.
- TERMIER (H. et G.). — Atlas de Paléographie (Masson éd. 1960). (Cartes reprises de l'Histoire géologique de la Biosphère, 1952).
- TERMIER (H. et G.). — Les Temps Fossilifères : Traité de Géologie et de Paléogéographie. I. Paléozoïque inférieur (Masson éd. 1964).
- TERMIER (H. et G.). — Vers une paléogéographie absolue. *Mises à jour scientifiques*, 1968, 3, p. 55-94.
- ZIMMERMANN M., 1960. — Nouvelle subdivision des séries antégothlandiennes de l'Afrique occidentale (Mauritanie, Soudan, Sénégal). *XXIst Intern. Geol. Congr. Norden*, Copenhagen, part VIII, p. 26-36, 2 fig.
- Séance du 17 mars 1969 consacrée aux Mauritanides et leur avant-pays. *C. R. som. S. G. F.*, fasc. 3, 1969.

