

Structure géologique et ressources minérales du Sahara français,

par RAYMOND FURON.

Le Sahara français s'étend de la côte atlantique à l'Ouest jusqu'au Soudan nilotique à l'Est, soit 4.000 km. Vers le Nord, si les hommes politiques ont quelque difficulté à figurer une frontière, l'unanimité des géologues considère que l'Afrique du Nord, domaine méditerranéen-alpin, est séparée de l'Afrique saharienne par une grande ligne de fractures, l'« accident sud-atlasien » qui s'allonge au pied sud de l'Atlas saharien, sur 1.200 km, d'Agadir au golfe de Gabès. Vers le Sud, la variation annuelle de la frontière climatique ne permet pas de limite précise. On peut adopter, par pure commodité descriptive, le cours du Sénégal, celui du Niger et le lac Tchad. Et ceci correspond aussi aux frontières ethniques.

LES GRANDES LIGNES DE LA GÉOGRAPHIE.

Le Sahara central est dominé par le Massif cristallin du Hoggar, dont les volcans quaternaires culminent à 3.000 m d'altitude. Vers le Sud, le Hoggar est prolongé par deux annexes : l'Adrar des Iforas et l'Aïr.

Ce Massif central saharien est entouré de plateaux de grès, les Tassilis, limités par des falaises d'érosion, des *côtes*. Le Massif central est habité par les Touaregs.

Il est séparé du Sahara occidental par le sillon qui s'allonge de la vallée de la Saoura (la « rue des Palmiers ») jusqu'à celle du Tilemsi, vallées habituellement sèches bien entendu.

Dans le Sahara occidental, on distingue une zone cristalline : la Dorsale Reguibat, NE-SW, obliquant vers le Sud jusqu'au fleuve Sénégal. Ici encore, la Dorsale est entourée de plateaux paléozoïques. Au centre, c'est l'immense cuvette de Taoudéni, vaste synclinal de plus de 1.200 km de diamètre. Le Sahara occidental est habité par les Maures.

Le Sahara oriental est dominé par l'énorme massif du Tibesti, situé au NNE du Tchad. Le Tibesti est dominé par de grands volcans quaternaires, dépassant 3.000 m d'altitude. Le Tibesti est habité par les Toubous. Au Sud s'étend l'immense cuvette du Tchad, dont le lac se tient à la cote 240 seulement.

HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE.

Le Sahara est resté longtemps inconnu. Au XIX^e siècle, le Major LAING en réussit la première traversée de Tripoli à Tombouctou, mais il fut assassiné en 1826, sur le chemin du retour et ses notes furent perdues. La deuxième traversée fut réussie par un jeune Français, RENÉ CAILLIÉ, qui, en 1828, s'en fut du Sénégal au Maroc en passant par Tombouctou.

A partir de 1850, l'Algérie était occupée par les troupes françaises jusqu'à la lisière du Sahara. De 1859 à 1861, ce sont les étonnants voyages de HENRI DUVEYRIER sur la bordure du Hoggar, dans le Tassili des Ajjer et le Fezzan. On connaît son livre : « Les Touaregs du Nord », paru en 1864, qui donne quelques renseignements géologiques.

Les explorations vont se multiplier. C'est de cette époque que datent deux projets qui nous occupent encore : la « mer saharienne » des grands Chotts et l'idée d'un chemin de fer transsaharien.

C'est le projet de Transsaharien qui va provoquer les premières reconnaissances géologiques. En 1879-1880, trois missions y sont attachées : la mission POUYANNE dans la Saoura, la mission CHOISY vers El Goléa et Ouargla (avec G. ROLLAND comme géologue) et la mission du Colonel FLATTERS, dont on sait la triste fin dès son premier contact avec les Touaregs du Hoggar. Le Transsaharien fut mis en sommeil pendant quelques années, puis en octobre 1898, la mission FOUREAU-LAMY réussit la jonction entre l'Algérie et le Tchad, en passant par le Hoggar. Les matériaux géologiques furent étudiés par GENTIL, HAUG et MUNIER-CHALMAS : il y avait des schistes gothlandiens à Graptolithes (de Tindesset), des fossiles carbonifères, des Pois-

sons et des Reptiles du Crétacé inférieur continental, mais tout cela sans possibilité d'interprétations stratigraphiques et cartographiques.

En 1900, le géologue G. B. M. FLAMAND et le Capitaine PEIN s'emparent d'In Salah qui se trouvait sur le chemin du Tidikelt, but de l'exploration géologique. En 1902, le Sahara central est annexé à l'Algérie par une loi créant les « Territoires du Sud ».

Militaires et géologues allaient conjuguer leurs efforts pour achever la pacification du Sahara et sa reconnaissance scientifique. Les promoteurs du Transsaharien sont plus actifs que jamais.

C'est l'époque de l'organisation des « Compagnies sahariennes » du commandant (puis colonel et général) LAPERRINE, dont beaucoup d'officiers sont connus des géologues. C'est ce milieu de guerriers doublés de savants que rencontre un géographe d'Alger, E. F. GAUTIER. Un projet de voyage est en l'air : une reconnaissance du Gourara. E. F. GAUTIER s'adjoint un géologue : RENÉ CHUDEAU. Le voyage a lieu au printemps de 1905. Arrivé à Adrar avec GAUTIER, R. CHUDEAU apprend qu'il y a un nouveau projet : la traversée complète du Sahara jusqu'à Zinder. Bien qu'il n'eut qu'un congé administratif de six mois, CHUDEAU n'hésite pas et part seul pour un voyage qui devait durer dix-huit mois, par Tamanrasset, l'Air, Zinder, le Tchad, Gao, Tombouctou, Bamako et Dakar... Les résultats géologiques furent sensationnels, mais CHUDEAU fut révoqué... E. F. GAUTIER, plus prudent, était rentré dans les délais prévus. De ce voyage étonnant, il nous reste deux volumes : le « Sahara algérien » de GAUTIER et le « Sahara soudanais » de CHUDEAU. Il s'y ajoute la thèse de doctorat de G. B. M. FLAMAND : 1001 pages sur le Sahara algérien.

CHUDEAU donne un âge archéen au vieux socle du Hoggar granito-gneissique, mais les schistes et quartzites redressés et antérieurs aux plateaux gréseux sont d'abord appelés « Silurien métamorphique », puis « ante-Silurien », mais personne n'a encore vu les schistes à Graptolithes en place, j'entends aucun géologue. RENÉ CHUDEAU étend ses travaux au Sahara occidental et laisse une œuvre considérable. Il mourut de faim, à Paris, en 1921.

La même année 1921, en octobre, apparaît un nouveau nom, celui de CONRAD KILIAN, qui va s'illustrer dans le Hoggar et les Tassilis du Nord.

Venu pour retrouver les « émeraudes des Garamantes », CONRAD KILIAN parcourut le Hoggar central et le Tassili des Ajjer, où il découvrit *en place* les fameux schistes à Graptolithes. Il comprit alors la structure du Hoggar et de ses auréoles. Les Tassilis étaient doubles; il y avait un Tassili inférieur, interne, discordant sur le socle plissé ante-silurien, et formé de grès ordoviciens, puis un Tassili supérieur, externe, formé de grès dévoniens et de sédiments carbonifères. Les deux Tassilis étaient séparés par un sillon déterminé par les schistes gothlandiens à Graptolithes.

A son retour, le jeune CONRAD KILIAN (il avait 24 ans) rédigea un petit mémoire qui fut communiqué au Congrès International de Géologie réuni à Bruxelles en 1922. C'était le premier schéma cohérent de la structure du Sahara central et ce texte fondamental était proposé par un jeune géologue n'ayant pas encore passé son Certificat de Géologie! Son propre père, WILFRID KILIAN, eut des doutes et des scrupules; il demanda à JACQUES BOURCART qui partait au Sahara en 1923 de vérifier les dires de son fils. J. BOURCART constata que le schéma établi par CONRAD KILIAN était parfaitement exact et qu'il pouvait s'appliquer aux régions voisines. Lui-même fit des observations dans l'Ataqor. En 1923 parut également une première note de M. M.-E. DENAEYER, qui commençait l'étude pétrographique des roches recueillies au Sahara par CHUDEAU, VILLATTE et d'autres voyageurs.

En 1926, CONRAD KILIAN avait terminé sa licence et repartit au Sahara pour trois ans (à ses frais). Il reprit ses observations, les compléta, définit et subdivisa le Précambrien, modifia la répartition verticale des Graptolithes, précisa la nature du « Continental intercalaire » à Poissons et Reptiles, découvrit du Crétacé marin à Amguid à 700 m d'altitude (sur le socle), définit le « Continental terminal », découvrit des reliefs inconnus, les baptisa Monts Doumergue et, au grand ennui des diplomates, les offrit à la France.

C'est au cours de ces années d'entre-deux guerres que le Sahara occidental fut également étudié. Le travail avait commencé avec RENÉ CHUDEAU, nous l'avons dit, puis avec HENRI HUBERT. En 1924, on voit apparaître NICOLAS MENCHIKOFF, qui va étudier pendant de longues années la Saoura, les chaînes d'Ougarta (découvrant les niveaux dévoniens à Goniatites et Clyménies), le Carbonifère de Colomb Béchar, le Tafilalet insou-

mis, le synclinal de Tindouf, etc. En 1932, MENCHIKOFF traverse la Dorsale Reguibat, touche la falaise du Hank à Chenachane et la trouve formée de calcaires dolomitiques à Stromatolithes (*Collenia* et *Conophyton*). Ce niveau fut attribué au Cambrien, étant antérieur aux grès ordoviciens, limités à leur sommet par des schistes à Graptolithes. Le 24 avril 1933, N. MENCHIKOFF publie ses observations à l'Académie des Sciences, éclairant brusquement la géologie du Sahara occidental. Je pus moi-même y rattacher toute cette série schisto-calcaire, reposant sur une tillite, que j'avais découverte sur les confins méridionaux de la Mauritanie, puis au Soudan septentrional. Les niveaux à *Collenia* et à *Conophyton* se suivaient sans interruption depuis le Hank jusqu'au Soudan, sur des milliers de kilomètres.

L'Adrar mauritanien et le bassin de Taoudéni vont être étudiés par THÉODORE MONOD à partir de 1923. La traversée complète du bassin de Taoudéni fut effectuée en 1934-1935 et ses résultats publiés par TH. MONOD et N. MENCHIKOFF en janvier 1936. Le schéma était complet : Cambrien à Stromatolithes du Hank, grès ordoviciens, Gothlandien à Graptolithes de Tinioulig, Dévonien de Teghazza, Carbonifère marin et continental de Taoudéni, Continental intercalaire du Khnachiche. TH. MONOD multiplie les voyages les plus étonnants, traverse deux fois le Tanezrouft en 1935-1936.

La seconde guerre vient interrompre les recherches géologiques au Sahara. La tourmente passée, le travail reprend. C. KILIAN est allé au Fezzan et dans l'Aïr. Il parle de pétrole au Sahara, remet un pli cacheté à l'Académie des Sciences, puis meurt tragiquement en 1950, suicidé disent les uns, assassiné par des puissances d'argent étrangères disent les autres.

N. MENCHIKOFF continue ainsi que TH. MONOD qui publie deux mémoires considérables sur l'Adrar mauritanien, puis sur l'« Empty Quarter » du Sahara occidental.

Enfin, les recherches de pétrole et le besoin d'achever la Carte géologique incitent les services géologiques à étendre largement leurs travaux.

Dans l'Ouest, les travaux de R. DARS et J. SOUGY en particulier conduisent à vieillir les calcaires à Stromatolithes (qui deviennent de l'Infracambrien), à subdiviser les grès inférieurs en Cambrien et Ordovicien. Dans le Sahara central, c'est M. LELUBRE qui établit toute la stratigraphie et la tectonique

du Précambrien du Hoggar. Le Continental intercalaire est particulièrement étudié par A. F. DE LAPPARENT. Le Sahara oriental est visité surtout par des missions venues d'Algérie.

Il n'est plus possible de donner un historique détaillé des dernières années qui voient les travaux se multiplier, mais cet historique préliminaire était utile pour la compréhension de l'évolution de la découverte et des idées.

On pourrait aller beaucoup plus loin puisque par l'Est et le Sud-Est, les zones sahariennes de l'ancienne Afrique équatoriale française, le Bassin du Tchad, touchait au Congo belge par sa bordure de l'Oubangui.

LA STRUCTURE GÉOLOGIQUE DU SAHARA.

On distingue plusieurs ensembles géologiques. Il existe à la base un très vieux socle précambrien, plissé et arasé, recouvert en discordance majeure par des sédiments paléozoïques sub-horizontaux. A la suite des mouvements hercyniens, la zone saharienne émergée se couvre plus ou moins de dépôts continentaux du Trias, du Jurassique et du Crétacé inférieur. Une transgression marine cénomaniennne envahit les côtes et le Sahara central. La mer se retirera à la fin de l'Éocène inférieur et les derniers sédiments de couverture appartiennent au « Continental terminal » et au Quaternaire.

a) Le Socle précambrien.

Le Précambrien du Sahara a connu au moins deux grandes chaînes de montagnes s'allongeant du Nord au Sud : une chaîne « saharo-dahomeyenne », du Hoggar au Dahomey, et une chaîne « saharo-guinéenne », de la Dorsale Reguibat à la Côte d'Ivoire.

Les terrains très anciens qui constituent ce vieux socle portent des noms différents selon les régions.

La série la plus ancienne porte au Sahara le nom de *Suggarien*, qui lui fut donné par C. KILIAN en 1932. M. LELUBRE a montré qu'il s'agit de gneiss, d'amphibolites, de cipolins, de quartzites et de séries volcaniques dont l'ensemble atteint une puissance de 20 km. Ce Suggarien correspond à un cycle orogénique majeur ayant subi un métamorphisme général, des plissements, une migmatisation et la mise en place de plusieurs granites. Il affleure largement dans la partie axiale de l'Adrar des Iforas et du Hoggar, ainsi qu'une deuxième zone plus orientale, de l'Anahef à l'Aïr.

Au Sud, mais en dehors des territoires sahariens, le Suggarien porte le nom de Dahomeyen. Dans le Sahara occidental, le Suggarien porte les noms de *Série de Chegga* (Sahara algérien), *Série de Ghallaman* (Dorsale Reguibat) et *Série de l'Amsaga* (en Mauritanie). La Série de l'Amsaga, définie par A. BLANCHOT en 1946, affleure du Nord au Sud de la Mauritanie et au Sénégal, passant au Dahomeyen de Guinée et de Côte d'Ivoire.

La deuxième série précambrienne du Sahara central porte le nom de *Pharusien* (C. KILIAN, 1932). Elle est séparée du Suggarien par une discordance et un conglomérat puissant. A la suite de la découverte d'une série plus récente, ce Pharusien a reçu le nom de *Relaïdinien* (= Pharusien inférieur). Il correspond à un cycle orogénique complet, avec des séries épimétamorphiques, débutant par des laves, continuant par des phyllades, des quartzites, des calcaires contenant des *Collenia* dans l'Ahnet (LELUBRE, 1952) et le Hoggar occidental (GRAVELLE et LELUBRE, 1957). Cet ensemble, qui atteint 15 km de puissance, a subi des plissements Nord-Sud, des phénomènes de migmatisation, des venues granitiques et éruptives.

Le Relaïdinien occupe un grand fossé tectonique subméridien dans le Hoggar et l'Ouest de l'Adrar des Iforas.

Il passe au Sud dans la boucle du Niger, où les mêmes terrains portent le nom de *Birrimien*. Ils portent les noms de *Série d'Imourène*, du *Yetti* et de *Guelb el Hadid* dans la Dorsale Reguibat et de *Série d'Akjoujt* en Mauritanie. La série d'Akjoujt a été définie par A. BLANCHOT en 1946. Le Précambrien de la Dorsale Reguibat a été décrit par G. ROCCI (1957).

Donc, le Suggarien et le Pharusien (35 km de sédiments), plus ou moins métamorphisés, plissés et granitisés, se trouvent arasés.

Dans les régions plus méridionales, en Afrique occidentale, on connaît une troisième série précambrienne : le *Tarkwaien* du Ghana et de la Côte d'Ivoire. Cette série ne paraît pas exister dans le Sahara.

Les sédiments qui vont se déposer sur le socle arasé montrent donc ce que l'on appelle la « discordance majeure ». Cette discordance est d'autant plus marquée et visible que les sédiments postérieurs ne seront pas plissés mais ondulés. Ces sédiments sont en majeure partie paléozoïques, mais l'âge de leur base reste discuté. Nous l'appellerons donc *Infracambrien*, en insis-

tant sur le fait qu'au point de vue *structural*, cet Infracambrien représente le début du cycle paléozoïque, transgressif sur un socle arasé.

b) **L'Infracambrien.**

On a longtemps réuni sous le terme de Cambrien (*sensu lato*) des terrains apparemment cambriens et d'autres qui étaient antérieurs au Cambrien certain, fossilifère. C'est ce que N. MENCHIKOFF et P. PRUVOST ont appelé l'Infracambrien. Cela évite les querelles de mots.

Actuellement, l'Infracambrien de ces régions représente surtout une série divisée par une tillite (que j'ai découverte au Soudan français) et constituée par des calcaires dolomitiques à *Collenia* et *Conophyton*, des schistes, des pélites et parfois des grès feldspathiques.

Cette série est connue depuis l'Anti-Atlas jusqu'au Sud du Sénégal et du Soudan. Elle tapisse le fond de la cuvette de Taoudéni, mais n'arrive pas au Hoggar. Sur les confins du Sénégal, du Soudan et de la Guinée, on lui donne le nom de *Falémien*. Dans le Hoggar et les régions voisines, on attribue à cet Infracambrien les « poudingues pourprés » de l'Ahnet et le *Nigritien* découvert par R. KARPOFF.

J'ajouterai que les plus beaux affleurements se situent dans l'Anti-Atlas, en Mauritanie (au pied de l'Adrar) et dans le Nord de la cuvette de Taoudéni (dans le Hank). Ce sont là les zones où se voient le mieux les calcaires dolomitiques à Stromatolithes, qui peuvent être aussi Cambriens.

Cet Infracambrien correspond en bien des endroits à un épisode volcanique indiqué par des coulées rhyolithiques.

Dans le temps, mais sans que l'on ait vu des contacts, je pense que ces coulées rhyolithiques peuvent être liées aux dernières venues granitiques : granites Taourirts du Hoggar, granites à l'emporte-pièce de l'Aïr, liés à la minéralisation stannifère et datés d'environ 630 millions d'années.

Il est fort intéressant de voir cet âge « katanguien » retrouvé en Nigeria et au Sahara.

c) **Les Grès inférieurs (Cambrien-Ordovicien).**

L'Infracambrien tel que nous venons de l'exprimer est recouvert habituellement par plusieurs centaines de mètres de grès. Ces grès débutent souvent par un conglomérat de base formé de galets de quartz. Longtemps considérés comme ordoviciens,

grâce à quelques fossiles il est maintenant démontré (J. SOUGY, R. DARS, etc.) que ces grès sont divisés en deux séries par une discordance. La zone inférieure est cambrienne car elle possède un fossile, un *Obolus* et la zone supérieure est ordovicienne.

Dans le Nord-Ouest, dans l'Anti-Atlas, l'Infracambrien à Stromatolithes (l'*Adoudounien* de G. CHOUBERT) se termine par des schistes lie-de-vin et passe à des calcaires à Archaeocyathidés qui marquent le Géorgien. Au-dessus viennent les schistes et les grès géorgiens dont les faunes de Trilobites ont été illustrées par les travaux de P. HUPÉ (1952-1959). L'Acadien commence avec des schistes à *Paradoxides*, continue avec des grès à Lingules et se termine par une régression et des manifestations volcaniques, correspondant à des mouvements cadomiens. Cet ensemble atteint localement plus de 2.000 m de puissance. La mer revient à l'Ordovicien, reposant directement sur l'Acadien (sans Potsdamien).

Dans les chaînes d'Ougarta, N. MENCHIKOFF et A. POUEYTO ont montré que les rhyolithes infracambriennes sont surmontées d'arkoses, de 800 m de grès à Tigillites, puis de 5.000 m de grès dont le sommet est fossilifère et ordovicien.

Plus à l'Est, dans le Sahara central, l'auréole de plateaux, les *Tassilis*, débute par un Tassili interne. Les grès qui le constituent sont antérieurs aux schistes à Graptolithes gothlandiens. Depuis l'Ahnet jusqu'au Tassili des Ajjer, une discordance a été reconnue dans ces grès inférieurs et on distingue à la base un grès cambrien à Tigillites et Lingules, puis au sommet un Ordovicien. Bien entendu, le Cambro-Ordovicien repose en discordance majeure sur le Précambrien arasé (Suggarien ou Pharusien).

La même coupe se retrouve au Tibesti.

Partout, il s'agit de sédiments marins, de mer très peu profonde.

Passant dans le Sahara occidental, depuis la Dorsale Reguibat jusqu'en Guinée et au Soudan, on retrouve la même coupe devenue classique : Précambrien plissé et arasé, discordance majeure, Infracambrien à Stromatolithes sub-horizontal, Cambrien marin à *Obolus* et Tigillites, Ordovicien marin gréseux, schistes gothlandiens à Graptolithes.

Donc, la totalité du Sahara a été envahie par une transgression cambrienne qui a laissé des grès à *Obolus*, à Tigillites

et à Lingules. Une régression permet une certaine érosion, puis la mer ordovicienne transgressive vient déposer de nouveaux grès.

d) **Le Gothlandien.**

Le Gothlandien est un niveau très fossilifère. Il est essentiellement constitué par des schistes à Graptolithes, tantôt de teinte chamois et tantôt carburés et noirs, et ceci depuis l'Anti-Atlas jusqu'à la Guinée, en passant par les Tassilis (sillon intra-tassilien), la Mauritanie et le Soudan septentrional.

e) **Les mouvements calédoniens et le Dévonien.**

Si l'on sait peu de chose des mouvements taconiques, les mouvements calédoniens sont beaucoup mieux connus. Dans la Saoura, il y a passage apparent du Gothlandien au Dévonien, mais M^{lle} LE MAITRE n'a pu y déceler le Gédinnien au sens « ardennais ». Ailleurs, il y a une lacune de sédimentation.

Autour du Hoggar, les grès dévoniens constituent la deuxième auréole, les Tassilis externes. On les trouve jusque dans le Tibesti.

Il y a cette fois beaucoup de fossiles et nous signalons surtout à l'attention les magnifiques faunes de Goniatites de la Saoura, de l'Ahnet et du Mouydir.

Tout à fait dans l'Est, au Tibesti, il existe quelques flots continentaux de la fin du Dévonien, avec des dépôts à *Archaeosigillaria*.

f) **Le Carbonifère et les mouvements hercyniens.**

Le Carbonifère marin s'étend sur les mêmes lieux en ce qui concerne le Carbonifère inférieur connu au Nord du Hoggar et aux abords du Tibesti, dans le synclinal de Tindouf et dans celui de Taoudéni, ainsi qu'au Sud du Hoggar, à l'Ouest de l'Air.

Les mouvements hercyniens provoquent une émergence générale, des plissements assez vigoureux dans l'Anti-Atlas et les chaînes d'Ougarta, des plis Nord-Sud bien visibles dans l'Ahnet et le Mouydir, puis des ondulations à grand rayon de courbure : massif du Hoggar, dorsale Reguibat, bassin de Taoudéni, etc. C'est l'époque de la formation des grands bassins sédimentaires.

On arrive à une phase continentale avec dépôts de couches à plantes du Westphalien, à Colomb Béchar (bassin charbonnier exploité), puis dans les synclinaux de Tindouf et de Taoudéni.

g) **Le Continental intercalaire.**

Les régions sahariennes resteront continentales jusqu'au Cénomanién supérieur. C'est cette grande période qui a reçu de C. KILIAN le nom de « Continental intercalaire ».

En l'absence totale de Permien (sauf le Permien marin de Tunisie qui s'avance jusqu'au Djebel Tebaga, avec ses calcaires à Fusulinidés), le « Continental intercalaire » est constitué par un millier de mètres de grès et d'argiles du Trias dans le Nord, puis de Jurassique et de Crétacé inférieur dans toutes les cuvettes, ayant enfoui et protégé la topographie post-hercynienne.

Le Trias est connu par ses Amphibiens de l'Edjelé, le Jurassique et le Crétacé inférieur par leurs flores, leurs Poissons et leurs Reptiles, bien connus par les études d'E. BOUREAU et d'A. F. DE LAPPARENT. La flore indique beaucoup de Cycadées et d'Araucariacées, les Poissons comportent des *Ceratodus* et des Poissons-Scie (*Onchopristis*), les Reptiles : des Iguanodontes, des Titanosaures et des Crocodiles géants.

C'est le niveau aquifère le plus important du Sahara.

h) **La transgression du Crétacé et de l'Éocène.**

Une grande transgression marine se manifeste au cours du Cénomanién. Elle a débuté dès le Vraconnien en Nigeria et va provoquer une communication directe entre le golfe de Guinée et la Méditerranée, à partir du Cénomanién supérieur. Elle est marquée par le dépôt de faunes cénomaniennes à *Neolobites*, du Turonien inférieur à *Vascoceras*, du Sénonien à *Libycoceras*, de l'Éocène inférieur à Nautilus, Lamellibranches et Oursins.

Le passage a eu certainement lieu par le détroit soudanais et le Tanezrouft, puis le Tadmait, jalonnés de gîtes fossilifères. Un second chenal a dû exister par le Tchad et le Kaouar, passant entre le Tibesti et le Hoggar. On connaît du Cénomanién, du Turonien et du Sénonien dans tout le bassin occidental du Tchad et un Oursin (*Hemiaster Fourneli*) a été découvert dans le Manguéni, à 700 m d'altitude.

La mer se retire définitivement à la fin de l'Yprésien.

i) **Le « Continental terminal ».**

Ce nouvel épisode continental représente tout le Tertiaire. Il se subdivise de place en place grâce à des Bois silicifiés étudiés par E. BOUREAU et les *Pseudoceratodes* étudiés par P. JODOT.

On distingue ainsi du Paléocène, de l'Yprésien, de l'Éocène supérieur-Oligocène (à *Moeritherium*), du Miocène inférieur (à *Clavator* et *Limicolaria*). Ce sont des argiles, des sables, des grès, recouverts d'une carapace latéritique dans le Sud.

On ne saurait oublier d'indiquer ici, mais à une date relativement indéterminée quoique tardive, un volcanisme remarquable en divers points du Hoggar, dans le Tibesti (et en Libye). C'est une manifestation locale de la tectonique alpine qui a provoqué une surrection de l'ordre de 700 à 800 m, avec plissements périphériques autour du Hoggar, et nombreuses fractures.

j) Le Quaternaire.

L'histoire du Sahara quaternaire n'est pas sans intérêt du fait du retentissement de la glaciation scandinave en Afrique.

Dès le début de l'exploration géologique, on supposa de grandes incursions de la mer dans le Sahara : au Nord, dans la région des Chotts, au Sud, dans la région de Tombouctou.

Il s'est révélé exact que la Méditerranée quaternaire, lors de ses hauts niveaux, s'est étendue dans les grands Chotts, y laissant des terrasses à *Cardium*, ayant passé par-dessus le seuil de Gabès.

Quant aux nombreuses coquilles marines (essentiellement des Marginelles) trouvées dans la région de Tombouctou, il est maintenant prouvé (R. CHUDEAU, TH. MONOD) qu'elles sont d'anciennes monnaies et qu'elles proviennent de la côte atlantique de Mauritanie, d'où elles étaient apportées par caravanes.

Les sédiments continentaux se révèlent beaucoup plus intéressants. Il est très généralement admis que les phases glaciaires d'Europe sont représentées en Afrique par des phases pluviales et les phases interglaciaires par des périodes de sécheresse. Ceci est particulièrement spectaculaire au Sahara qui, pendant les phases pluviales, cessait d'être un désert et était le domaine d'une flore et d'une faune importantes.

Pendant les périodes humides, le Hoggar, les Tassilis, le Tibesti étaient boisés; les grands oueds avaient des crues fréquentes; la végétation devait aller de celle de la savane à celle des galeries forestières. Dans le Sud, le Niger supérieur n'était pas encore capturé par le Niger inférieur; il coulait jusqu'à

Tombouctou, puis s'écoulait vers le Nord dans la région d'Araouan. L'oued Tamanrasset coulait dans le Tanezrouft et, dans l'Est, l'oued Tafassasset descendait des Tassilis jusqu'au Tchad. Au Nord, l'Igharghar traversait le Grand Erg et coulait peut-être jusqu'à la mer des Chotts.

De magnifiques volcans s'édifiaient dans le Hoggar et le Tibesti, sur les ruines de leurs prédécesseurs du Néogène. L'agitation tectonique des Rift Valleys se fait sentir au Sahara et dans les régions voisines : rejeu de failles et plissements des cailloutis de Tunisie, contenant de l'outillage acheuléen.

Dès le Villafranchien, on trouve des calcaires lacustres à Mélanies et Hydrobies. La grande faune comprend des Éléphants (*El. Recki*), des Rhinocéros, des Zèbres, des Gazelles et des Antilopes. L'Humanité reste encore inconnue, mais on doit rappeler qu'en Algérie, le Villafranchien inférieur contient des boules polyédriques dont l'auteur est inconnu (époque des Australopithèques). Un peu plus tard, c'est l'industrie chelléo-acheuléenne dont l'auteur est l'Atlantrope d'Algérie (lequel est un Pithécantropien). Puis c'est une succession de phases humides et sèches qui nous conduit jusqu'au Néolithique.

Les outillages abondent dans tout le Sahara (pointes de flèches de chasseurs et harpons de pêcheurs voisinent avec les haches polies et les meules dormantes des populations sédentaires). Chasseurs, puis pasteurs, gravent et peignent les grandes faunes qui les entourent encore : Éléphants, Hippopotames, Girafes, Rhinocéros, Autruches. Ensuite arrivent les Bœufs à grandes cornes, puis les Chevaux vers 1500 avant notre ère et enfin, tout dernier, le Chameau, pratiquement inconnu avant notre ère et importé en Égypte par les Perses.

C'est au cours des tout derniers millénaires que la récession des glaciers scandinaves, provoquée par un réchauffement général du climat, se traduit au Sahara par un dessèchement progressif qui, siècle par siècle, va nous conduire au désert actuel. Les végétaux se raréfient, les grands animaux disparaissent, les grandes cuvettes s'emplissent de dunes. L'homme évacue ces lieux devenus inhospitaliers; seuls, des Nomades se maintiennent, assurant des relations précaires (et pas toujours pacifiques) entre les deux rives de cet océan de sable et de pierres.

LES RESSOURCES MINÉRALES DU SAHARA.

Ce désert parfait a été déserté depuis 1.500 ou 2.000 ans par les nuages chargés de pluie et par les fleuves du Sud qui ont changé de cours. Les gens qui l'habitent sont des Maures à l'Ouest, des Arabo-Berbères au Nord, des Touaregs dans le centre et des Toubous dans l'Est. On en compte au total 1 million et demi, dont 1 million de Nomades. Les sédentaires habitent les oasis de la zone Nord.

Les hasards de l'exploration et de la conquête ont amené la France à prendre possession de ces terres ingrates que personne d'ailleurs ne lui disputa. Il fallait bien laisser un peu de sable à gratter au coq gaulois !

En dehors du coq symbolique, il y eut aussi des géologues qui s'en furent gratter le sable et casser des cailloux. Leur travail ingrat n'a attiré l'attention de personne jusqu'à ces dernières années, jusqu'à ce que fût prononcé le mot magique : « Pétrole ». Oui, comme tout désert qui se respecte, le Sahara contient du pétrole et ceci nous amène à dire quelques mots sur les ressources minérales qui y ont été découvertes.

a) Le Pétrole.

Puisque aussi bien tout le monde en parle, nous débuterons par le pétrole.

Avant la guerre de 1939-1945, personne n'a jamais observé d'indices de pétrole à la surface du sol. On trouve une indication de DUYEYRIER sur la zone d'Edjélé mais qui ne peut être retenue. Plus tard, C. KILIAN eut incontestablement l'idée de possibilités de pétrole, mais aucune publication ne s'y rapporte directement et rien ne permettait d'imaginer ce qui serait découvert bien plus tard par des sondages profonds dans les bassins sédimentaires qu'il avait définis. Le 22 novembre 1948, CONRAD KILIAN remit un pli cacheté à l'Académie des Sciences. Celui-ci fut ouvert après sa mort et publié (en octobre 1957). L'auteur y exprimait la possibilité de pétrole sous les grandes structures anticlinales qu'il avait observées, en particulier dans les schistes à Graptolithes, parfois bitumineux, au Nord du Hoggar. CONRAD KILIAN avait dit précédemment qu'il supposait que le Fezzan (alors français) recélait des ressources en pétrole.

C'est en ce sens que CONRAD KILIAN a pu être appelé le « Père du pétrole saharien ». Ce prophète mourut avant d'avoir connu les grandes campagnes de sondages qui allaient conduire à la découverte de ce pétrole tant souhaité.

Un des éléments déterminants de la recherche du pétrole au Sahara fut l'application du Plan Marshall, qui n'était pas à discuter mais à prendre ou à laisser. Or, ce Plan prévoyait expressément qu'à partir de 1946, le pétrole américain serait remplacé en Europe par du pétrole du Proche-Orient. Ainsi, l'Amérique pourrait garder ses réserves et l'exploitation du pétrole permettrait l'enrichissement de pays sous-développés. Jusqu'à cette date, la France recevait 76,7 % de pétrole américain et 23,3 % de pétrole du Proche-Orient, ce qui représentait la part de la Compagnie Française des Pétroles dans les pétroles d'Iraq. Le Plan Marshall prévoyait 38,6 % de pétrole du Proche-Orient (Iraq et Arabie) dès 1948 et 82 % en 1951. L'État-Major français attira l'attention du Gouvernement sur les dangers de cette source unique et bien mal placée. La proportion fut de 95 % en 1955.

Au point de vue historique, on croit pouvoir déceler quelques étapes. C'est le 12 octobre 1945 que fut créé à Paris le Bureau de Recherches de Pétrole (B.R.P.) qui avait pour but d'établir un programme de recherche du pétrole. Le 16 novembre 1946 la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Algérie (la S.N. Repal) était créée à son tour.

Les recherches au Sahara commencèrent le 13 novembre 1948 sur l'initiative de la S.N. Repal et de la Compagnie Française des Pétroles. La première mission s'attacha d'abord à vérifier les découvertes géologiques de NICOLAS MENCHIKOFF sur les séries de schistes gothlandiens à Graptolithes, parfois carburés, bitumineux, et qui auraient pu servir de couverture imperméable à des gisements de pétrole. C'est ainsi que le nom de NICOLAS MENCHIKOFF ne saurait être séparé de celui de CONRAD KILIAN dans l'« invention » des pétroles sahariens. NICOLAS MENCHIKOFF a d'ailleurs reçu l'un des grands prix décernés au début de 1958 par le Centre National de la Recherche Scientifique. Cette première mission, donc, parcourut la région de Timimoun, Beni Abbès et In Salah. La seconde, en 1949, précisa deux anticlinaux dans la région de Timimoun, mais les forages ne donnèrent rien.

Le Sahara fut divisé en zones où l'on voyait des anticlinaux et en zones où l'on ne voyait rien, parce que les séries de couvertures étaient très épaisses. Diverses compagnies entreprirent donc la prospection.

Les difficultés à prévoir étaient la nature même du désert et le prix de revient des forages profonds (125.000 francs français par mètre, soit un demi-milliard pour un sondage profond), puis encore la rareté des appareils de sondage.

Géologues, sondeurs, géophysiciens, mécaniciens, chauffeurs s'attelèrent avec passion à cette recherche étonnante. Les compagnies s'organisèrent en 1946 et obtinrent des concessions en 1952 et 1953. Il y avait de l'eau un peu partout heureusement, car il faut 50.000 litres par jour pour alimenter une sondeuse. Le socle cristallin fut touché près de Laghouat à 2.919 m et à Hassi-Messaoud à 3.867 m.

En 1954, la C.R.E.P.S. avait obtenu les premiers résultats encourageants : une violente éruption de gaz, à 1.404 m de profondeur, dans le Dévonien inférieur du Djebel Berga, à 100 km au Sud d'In Salah. D'autres forages trouvèrent encore du gaz, mais il est inutilisable étant à 1.350 km d'Alger. La C.R.E.P.S. fit également des recherches dans le massif d'Edjelé, près de la frontière de Libye, et trouva du pétrole à quelques centaines de mètres de profondeur dans le Paléozoïque. Les recherches se sont étendues aux structures voisines de Tiguentourine et de Zarzaitine. Les résultats sont extrêmement favorables. Les chiffres publiés des réserves constatées ne dépassent pas 100 millions de tonnes, mais la Compagnie estime avoir 300 puits productifs en 1960. Le pétrole sera évacué par un pipe-line qui aboutira en Tunisie dans le golfe de Gabès (ce qui n'est pas sans inconvénient).

La seconde découverte fut celle du gaz de Hassi R'Mel, près de Berriane (région de Ghardaïa), dans le Trias, entre 2.131 et 2.275 m de profondeur, sur une concession de la S.N. Repal. L'importance de ce gisement ne sera connue qu'en 1956. Les réserves de gaz sont estimées à bien plus de 500 milliards de mètres cubes. La distance de la côte est de 500 km seulement, mais on ne sait actuellement comment utiliser cet énorme gisement de gaz, dont l'Algérie n'a pas besoin. Les techniques actuelles ne permettent pas d'envisager son évacuation facile vers l'Europe.

La troisième découverte, celle qui paraît actuellement la plus importante, est celle du champ de Hassi Messaoud, à l'Est de Ouargla et au Nord de Fort-Lallemand. Le sondage de la S.N. Repal-C.F.P. a pénétré dans des grès pétrolifères à 3.329 m

de profondeur, les a traversés sur 140 m d'épaisseur et a touché le socle à 3.867 m. On suppose que les grès pourraient être cambriens.

De nombreux forages ont été faits pour délimiter les structures et les réserves certaines et probables. Il s'agit d'un gisement très important, dont les réserves sont estimées à 100 millions de tonnes dès juin 1957, puis à 300 millions de tonnes en 1958, et même à 500 millions de tonnes. Il s'étend jusqu'à El Gassi (S.N.P.A.).

L'exploitation a commencé en janvier 1958 (9.512 tonnes) et l'évacuation se fait par un petit pipe-line jusqu'à Touggourt, puis par wagons-citernes jusqu'à la côte à Philippeville. La première cargaison de pétrole saharien a quitté Philippeville pour la France le 4 mars 1958. Quatre cent mille tonnes ont été transportées au cours de l'année 1958.

On procède à la pose d'un pipe-line de taille normale et il est généralement estimé que le Sahara pourra fournir entre 20 et 25 millions de tonnes en 1962 ou 1963.

En 1959, la Standard Oil Company a fait son entrée au Sahara, en liaison avec la Compagnie Française des Pétroles.

Au point de vue financier, on sait que les sociétés concessionnaires devront payer à l'État une redevance égale à 50 % de leurs bénéfices, ce qui n'enrichira pas plus le Sahara que l'Arabie séoudite.

Tels sont donc les chiffres actuels : un énorme gisement de gaz, deux champs pétrolifères pouvant fournir 25 millions de tonnes par an d'ici quelques années.

b) Le Fer.

Le Sahara français contient de nombreux gisements de minerai de fer, mais les deux plus importants sont ceux de la Gara Djebilet (région de Tindouf) et de Fort-Gouraud (Mauritanie).

Le gisement de la Gara Djebilet est formé de minerai de fer oolithique dévonien. Les réserves reconnues sont de 2 milliards de tonnes de fer-métal, dont 1 milliard en minerai à plus de 50 %. Cet énorme gisement se situe à 750 km de Colomb-Béchar et à plus de 500 km de la côte atlantique marocaine. La mise en valeur nécessiterait des investissements de l'ordre de 100 milliards de francs français.

Le gisement de Fort-Gouraud, en Mauritanie, est plus modeste : 100 millions de tonnes à haute teneur (dans le Précambrien),

dont 40 millions pourraient être exploités à ciel ouvert. L'exploitation en est possible, mais ici encore, il y a une difficulté d'évacuation, le gisement se trouvant à plus de 300 km de la côte.

c) **Le Manganèse.**

Il existe un beau gisement de manganèse au Djebel Guettara, à 150 km au Sud de Colomb-Béchar. Les réserves sont de 1 million et demi de tonnes, dont 500.000 un peu trop riches en arsenic.

d) **Le Cuivre.**

Le seul gisement en état d'être exploité est celui du Guelb Moghrein, dit d'Akjoujt, en Mauritanie, dans le Précambrien. Il y a 18 millions de tonnes de minerai à 1,5 % de cuivre et 9 millions de tonnes à 2 et 2,5 % avec 2 et 3 g d'or à la tonne et 30 à 50 % de magnétite et hématite.

Une laverie-pilote a été mise en route en 1955, donnant des concentrés à 25-27 %. Il y a suffisamment d'eau dans la région, mais les pompages sont coûteux. La mine est à 272 km de la côte, à Nouakchott, nouvelle capitale de la Mauritanie, ne disposant d'aucun port.

e) **Étain, Wolfram, Columbite et Tantalite.**

Ces minerais sont connus surtout dans l'Aïr, liés à des granites jeunes du Précambrien tout à fait supérieur. L'exploitation est rendue très difficile par le manque d'eau.

f) **Le Sel.**

On ne peut négliger les mines de sel (des fonds de sebkhass quaternaires) qui ont été longtemps la seule ressource minière exploitée par les Sahariens, en Mauritanie, au Soudan et au Niger.

g) **Le Charbon.**

Les ressources en charbon sont limitées au bassin de Colomb-Béchar-Abadla, qui fournit difficilement quelques centaines de milliers de tonnes par an, à des prix prohibitifs.

D'autres possibilités se situent dans le synclinal de Tindouf et dans le bassin de Taoudéni, ce qui est actuellement sans intérêt économique.

h) L'Eau.

La dernière, mais non la moins importante, nous citerons l'eau. Dans la pratique, on trouve suffisamment d'eau au Sahara dans le Continental intercalaire et dans le Continental terminal pour subvenir aux besoins industriels et agricoles actuels. Ces ressources en eau sont néanmoins limitées et il serait vain d'imaginer un désert reconquis par l'agriculture.

Le Sahara conservera sa vocation de « désert ». Il prend une importance relative et temporaire du fait de la découverte de pétrole; il la perdra lorsque l'énergie atomique aura relayé le charbon et l'essence, puis il la reprendra peut-être lorsqu'on exploitera utilement l'énergie solaire.

Tel est l'état de nos connaissances en 1959 sur la géologie et les ressources minérales du Sahara français.

*
**

En illustration, M. R. FURON présente alors deux films en couleurs, obligeamment prêtés par la Compagnie Française des Pétroles. Le premier montre les travaux faits au Sahara lors de la découverte du champ pétrolifère de Hassi Messaoud; le second montre la pose du premier pipe-line de Hassi Messaoud à Touggourt, puis l'élargissement de la voie ferrée de Touggourt à Biskra et enfin le départ du premier navire pétrolier de Philippeville pour la France.
