



HAL
open science

L'oeuvre des géologues français en AOF

Georges Rocci

► **To cite this version:**

Georges Rocci. L'oeuvre des géologues français en AOF. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2012, 3ème série (tome 26, 2), pp.25-54. hal-01065540

HAL Id: hal-01065540

<https://hal.science/hal-01065540>

Submitted on 18 Sep 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 (COFRHIGÉO)

TROISIÈME SÉRIE, t. XXVI, 2012, n° 2
(séance du 14 mars 2012)

Georges ROCCI

L'œuvre des géologues français en AOF

Résumé. Trois grandes périodes d'activité des géologues de l'AOF se sont succédé ; la première, jusqu'en 1945, a jeté les bases d'une reconnaissance des grandes structures géologiques de l'Ouest africain, à travers le rôle de pionniers et l'installation d'un premier groupe de géologues, minéralogistes, chimistes et cartographes ; la seconde jusqu'à l'indépendance de 1960 : le Service géologique compte jusqu'à 25 géologues, 20 prospecteurs, 2 géographes et 20 collaborateurs du Service de cartographie géologique ; la troisième période correspond à l'éclatement de la Direction des mines et de la géologie et au rôle de certains éléments pour la mise en place des structures des nouveaux états indépendants. La première partie de cet exposé présente l'organisation de l'activité géologique et minière. La seconde partie met en relief les principaux résultats obtenus par les géologues français. En cartographie géologique furent réalisées 165 coupures à 1/500 000 qui ont donné matière à un grand nombre de thèses. En prospection minière et en hydrogéologie, ont été découverts les phosphates du Sénégal et du Togo, les sables à ilménite du Sénégal, le manganèse de Côte d'Ivoire, l'uranium et l'étain du Niger, la bauxite de Guinée, le diamant de Côte d'Ivoire, de l'or un peu partout, du fer et du cuivre en Mauritanie, et aussi des nappes phréatiques exploitables pour l'élevage et l'approvisionnement en eau des villes. Dans la troisième partie, il est montré que le BRGM, ayant accueilli un grand nombre de géologues de l'AOF, a favorisé le rôle de certains d'entre eux dans la mise en place des nouvelles structures des états indépendants, en particulier des nouvelles universités. Cette contribution a été essentielle pour une transition vers une véritable indépendance scientifique des acteurs africains.

Mots-clés : géologues français – Outre-Mer – Afrique de l'Ouest – cartographie géologique – prospection minière – hydrogéologie – universités africaines – XX^e s.

Abstract. The activities of the French geologists in AOF took place during three successive periods. The first period until 1945 defined the basic knowledge of the main structural features of Western Africa, thanks to some pioneers and the settlement of the first group of geologists, mineralogists, chemists and cartographers. The second period lasted until the independence of the African territories in 1960 when the geological department of the AOF counted 25 geologists, 20 prospectors, 2 geographers and 20 specialists in geological mapping. During the third period,

the Direction of Mines and Geology was disbanded and some members participated to the set up of the new independent African States organization. In the first section of this document, the organization of the geological and mining activities is presented. In the second section, the prominent results credited to the French geologists are related. The geological mapping with 165 sheets at the scale of 1/500.000 supported a number of theses. In the fields of mining prospection and hydrogeology were discovered phosphates in Senegal and Togo, ilmenite sands in Senegal, manganese deposits in Ivory Coast, bauxite in Guinea, diamond in Ivory Coast, uranium and tin in Niger, gold in many places, iron and copper in Mauritania and also the discovery of very large ground water resources for pastoral and urban development needs. The third section develops how among the majority of French geologists who were assigned to the AOF departments and then to the French BRGM, some participated in new African organizations like the newly created universities and were instrumental in a good transition to a real independence of the African sciences.

Key words: French geologists – overseas – West Africa – geological mapping – mining prospection – hydrogeology – African universities – 20th century.

Introduction

Avant de s'attacher à décrire l'œuvre des géologues français durant l'époque de l'administration de l'Afrique occidentale française (AOF), il me paraît indispensable d'en définir les limites à la fois dans l'espace et dans le temps.

L'AOF correspond à l'ensemble des territoires francophones de l'unité géographique et géologique connue sous le nom d'Ouest africain. À l'ouest et au sud, l'océan Atlantique est la frontière naturelle de ce bloc de 6 millions de kilomètres carrés. Mais à l'est, il n'y a aucune coupure naturelle, bien qu'administrativement les colonies françaises du Cameroun et du Tchad soient rattachées à l'AEF (Afrique équatoriale française). En revanche, les limites septentrionales de l'AOF sont parfaitement arbitraires, avec des territoires dépendant du Maroc et de l'Algérie. C'est ainsi que la Mauritanie (AOF) est entourée du protectorat marocain, de la colonie espagnole du Rio de Oro et de l'Algérie française, que le Soudan (= Mali) (AOF) et le Niger (AOF) ont des frontières avec les territoires sahariens de l'Algérie, le grand Massif central saharien avec ses trois massifs montagneux : le Hoggar (algérien), l'Adrar des Iforas (soudanais), et l'Air (nigérien). Ces limites administratives du Nord de l'Ouest africain (Sahel et Sahara) ont joué un rôle majeur dans l'histoire des géologues français, notamment pour leur statut : les géologues d'AOF dépendaient du ministère de la France d'Outre-Mer, organisme héritier du ministère des Colonies, tandis que les géologues travaillant en Afrique du Nord étaient rattachés à des universités françaises ou à des ministères métropolitains. On verra plus loin que cela a pu avoir une importance non négligeable, par exemple lors de l'affaire de la « *fausse découverte du platine au Hoggar* ».

À l'intérieur de l'Ouest africain, existent de nombreuses « *enclaves* » de territoires non francophones, ce qui a pu poser des difficultés aux géologues français pour des problèmes de corrélations cartographiques et d'interprétation.

En allant du sud-ouest vers l'est, la Gambie, territoire anglophone, sépare le Sénégal central et oriental de la Casamance, la Guinée Bissau (lusophone) précède la Guinée Konakry (francophone), puis en allant vers l'est le long du golfe de Guinée, on rencontre la Sierra Leone et le Liberia (anglophones), lequel jouxte la Côte d'Ivoire (francophone), puis c'est le Ghana (ex-Gold Coast) tandis que, précédant l'immense Nigéria (140 millions d'habitants), deux colonies très étroites, le Togo et le Dahomey (Bénin) (également francophones), ont une frontière septentrionale avec la Haute-Volta (Burkina Faso).

Au cours du temps, l'histoire de l'AOF peut se subdiviser en trois grandes périodes :

- La période d'avant la Seconde Guerre mondiale, prolongée jusqu'en 1945.
Il s'agit d'une époque de pionniers dont il convient de faire ressortir les figures les plus marquantes.

Henry Hubert, administrateur possédant une licence de géologie, parcourt toute l'AOF entre 1909 et 1919. Il réalise une première carte géologique à 1/5 000 000 et quelques-unes à 1/1 000 000 (1919), identifie les phosphates de Thiès lors des travaux du chemin de fer et, en 1908, soutient une thèse sur la géologie du Dahomey.

Jusqu'en 1927, ce sont des missions de spécialistes dont nous retiendrons les noms, de Raymond Furon (1926) qui fut l'auteur de l'ouvrage de synthèse *Géologie de l'Afrique* (1960, 2^e edit.), à Théodore Monod (1925) et Edgar Aubert de la Rue (1930).

En 1927, Jean Malavoy est nommé au Service des mines dépendant de la Direction des Travaux publics. En 1931, il recrute le premier groupe d'une douzaine de géologues, en majorité russes, ainsi que Fernand Jacquet qui fut assassiné en Mauritanie, Maurice Nicklès, Alphonse Obermuller, Lucien Bouige, André Choubersky (minéralogiste), Paul Rose (chimiste) et Robert Lemonnier, dessinateur-cartographe de ce premier Service de géologie chargé du lever des cartes à 1/500 000 et à 1/1 000 000.

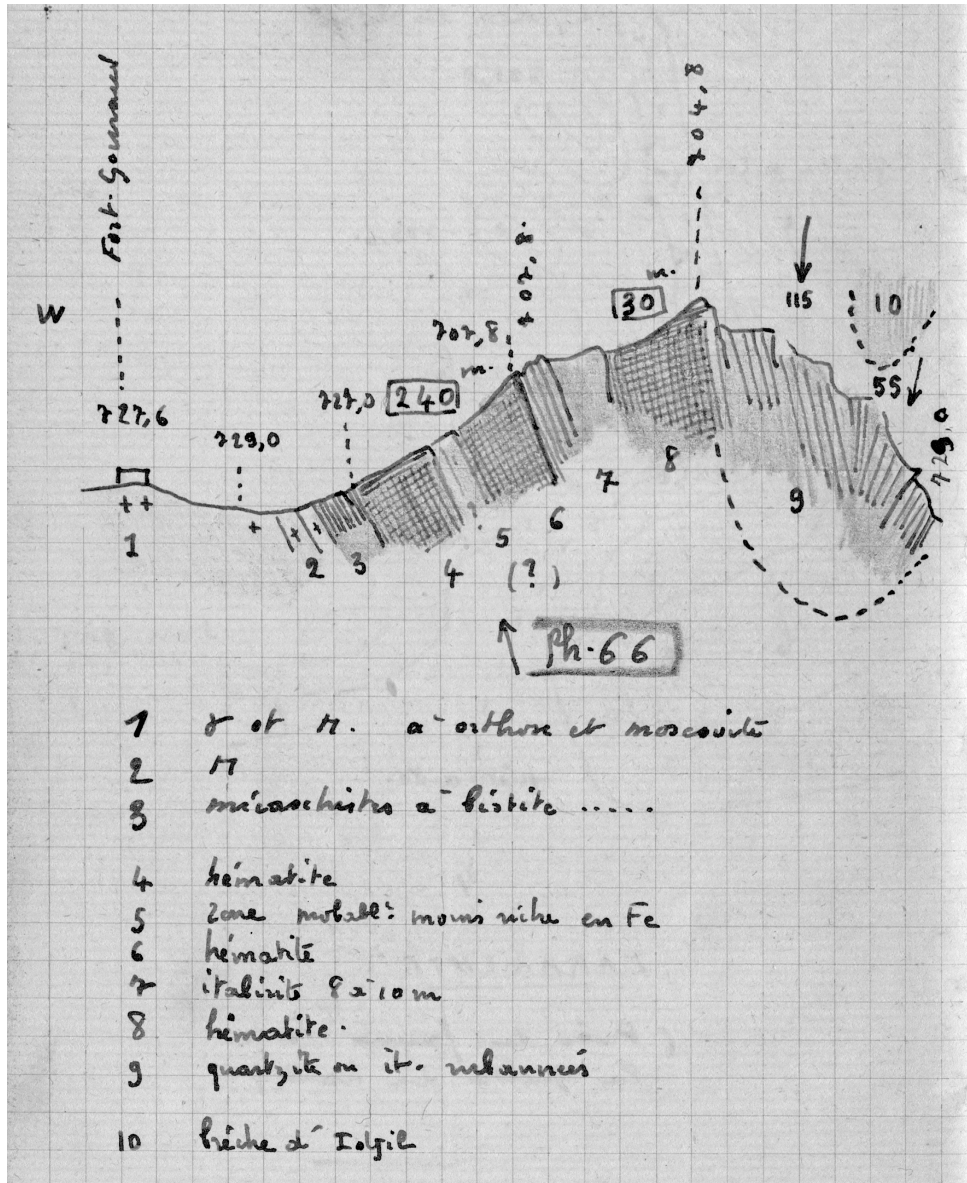


Fig. 1. Coupe géologique des environs de Fort-Gouraud (Fderik, Mauritanie) extraite d'un carnet de terrain de Fernand Jacquet. (Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle).

En 1938, débute la publication d'études originales dans le *Bulletin du Service de géologie*. Pierre Legoux (1908-2000) établit une carte à 1/1 000 000.

Durant la Seconde Guerre mondiale, les travaux sont interrompus.

Des séjours en 1942-1943 de Henri Besairie (1898-1978), chef du Service géologique de Madagascar, et de Maurice Roques (1912-1997), futur professeur à l'université de Clermont-Ferrand, apportent des idées sur l'interprétation des phénomènes observés sur la géologie de l'Ouest africain.

- **La période de 1945 à 1960** fut la plus fructueuse par le nombre de recrutements de spécialistes, souvent ingénieurs de formation, ainsi que par la mise en place d'importants programmes de cartographie géologique à 1/200 000, de prospection minière, de recherche hydrogéologique.

En 1952, création de la Direction fédérale des mines et de la géologie (DFMG), en 1951-1954, construction des nouveaux laboratoires à Dakar-Fann.

En 1952, nomination d'André Blanchot comme chef du Service géologique. Louis Marvier, directeur de la DFMG, est remplacé en 1958 par Marcel Sala.

Le Service compte alors 15 géologues de la carte géologique, 10 en hydrogéologie, 20 prospecteurs, 2 géographes, 20 collaborateurs du service de cartographie géologique.

En 1960, le Service de géologie et le BUMIFOM sont repris par le BRGM avec personnel, locaux et publications.

- **La troisième période** correspond au début de l'indépendance des ex-colonies de l'AOF, marquée, d'une part, par la création dans certains de ces pays de directions des mines et de la géologie, et de l'autre, par la mise en place d'une assez grande variété de structures universitaires de formation des cadres africains, généralement sur le modèle des universités françaises et soutenues par celles-ci grâce à des conventions de coopération.

Première partie : Organisation de l'activité géologique et minière

A. Conditions de travail sur le terrain

Au cours de la période d'avant-guerre, les conditions de travail des géologues ont été décrites par Pierre Legoux, Alphonse Obermuller et Alexis Chermette. Elles étaient très difficiles car, la plupart du temps, il s'agissait de reconnaissances avec très peu de documents cartographiques. Il fallait également s'adapter aux difficultés de pénétration en fonction de la végétation, de la diversité des populations, de la présence des sentiers reliant les villages entre eux, des rares routes souvent impraticables en saison des pluies, etc.

Après 1945, les conditions de travail évoluent rapidement. En savane, les pistes automobiles sont mieux entretenues et permettent en saison sèche d'accéder aux villages importants. Mais en forêt et en savane arborée, le géologue continue à parcourir à pied, parfois à cheval ou à bicyclette¹, les boucles d'itinéraires qu'il a programmées. Il doit utiliser des porteurs, dont le nombre se réduira au fur et à mesure qu'il disposera d'un véhicule pour établir un camp de ravitaillement, qu'il rejoindra au bout de quelques jours. Plusieurs géologues ont descendu les rivières en pirogue pour rechercher des affleurements masqués par la végétation et la latérite². Dans les régions sahéliennes et sahariennes, peu ou pas habitées, l'utilisation de véhicules tout terrain facilite la tâche : le géologue peut rouler tous azimuts parfois, y compris dans des zones très ensablées. La Direction des mines récupère des Dodge 4x4 de l'armée américaine (command cars) et des jeeps, qui seront remplacés à partir

¹ La bicyclette est encore utilisée actuellement en savane arborée par les Africains, qui transportent parfois des charges très lourdes.

² En Côte d'Ivoire, Marcel Arnould a descendu 700 km en pirogue dans le Nord du pays.

des années 1950 par des versions civiles (Dodge Power Wagon avec cabine et plateau et Land Rover).

B. Objectifs et missions des géologues de la Direction des mines et de la géologie

On a vu que, dans la première période, les objectifs des géologues en poste ou en mission en AOF étaient avant tout de trouver, voire de développer, des indices miniers et de rechercher des gisements aquifères pour alimenter les populations. Mais, en même temps, ils réalisaient les premières cartes géologiques de reconnaissance.

Au cours de la deuxième période, sont entrepris les levés systématiques des formations géologiques observées sur le terrain, en vue de la publication des cartes à 1/500 000. Le découpage en feuilles de plusieurs degrés carrés de superficie est adopté.

Sur quelles bases topographiques ces levés seront-ils réalisés ? On s'aperçoit très vite que, selon les régions, les documents disponibles sont quasi inexistantes au Sahara, souvent très sommaires et incomplets au Sahel, et de précision très inégale en savane et en forêt.

Afin de localiser les affleurements observés au cours de ses missions, le géologue devait lever ses itinéraires à la boussole, les distances étant déterminées au compteur kilométrique placé sur une simple roue de vélo, ou sur le véhicule lorsque les terrains s'y prêtaient.

Ce n'est qu'à partir des années 1950 que le géologue de terrain a pu bénéficier de cartes topographiques à 1/200 000, réalisées par le Service géographique de l'AOF, concernant le Sénégal, la Guinée, la Côte d'Ivoire, l'extrémité méridionale du Soudan (Mali) et de la Haute-Volta (Burkina Faso). Mais ces régions avaient déjà fait l'objet d'études et de relevés géologiques de terrain, et leurs auteurs vont donc se livrer à une transposition de leurs observations sur ces fonds topographiques. Plus au nord, les cartes topographiques n'existaient pas ou bien étaient très sommaires (par exemple en Mauritanie septentrionale ne figuraient sur les cartes à 1/500 000 que des itinéraires relevés par les méharistes) ; il fallait donc établir le fond topographique en même temps que la carte géologique.

À partir des années 1950, apparaissent des photographies aériennes à l'échelle approximative 1/50 000, observables en vision stéréoscopique, réalisées par l'Institut français de Géographie. Grâce à ces photos, le géologue peut repérer des grandes structures régionales comme les failles plurikilométriques, les filons, les contours de grandes masses rocheuses, etc.³.

³ Les premières observations de Théodore Monod en Mauritanie centrale furent ainsi confirmées comme représentant des structures emboîtées plurikilométriques à l'est de Chinguetti.

Mais quoiqu'il en soit, la cartographie géologique (même de nos jours) fait toujours appel à différentes interprétations, d'autant plus importantes que les régions concernées sont pauvres en affleurements, rares et espacés⁴.

À partir de 1949, avec l'arrivée importante de jeunes géologues venant de métropole, la Direction des mines de Dakar établit un cadre précis de travail sur le terrain, du type maille des itinéraires à effectuer, durée des missions, calendrier à respecter pour le lever d'une feuille, etc. Dans les régions sahariennes et sahéliennes, les itinéraires relevés par les géologues de terrain, aussi précis soient-ils, restent dépourvus de calages en latitude et longitude. La Direction des mines se voit donc obligée de pallier cette lacune en créant elle-même un réseau de points astronomiques, qui seront déterminés sur le terrain par un ingénieur formé spécialement auprès de l'IGN français, Casimir Coin, dont le souci chaque nuit était de capter, au moment précis où il observait une étoile dans le ciel dont la position lui était donnée par les éphémérides du Bureau des longitudes de Paris, les signaux horaires de Greenwich, captés à l'aide d'un ensemble de radio lourd, encombrant et pas toujours fiable (les transistors n'existaient pas encore).

En résumé, les objectifs fixés aux géologues de terrain n'ont pu être atteints dans un délai très court (une dizaine d'années), que grâce à un esprit d'entreprise très performant, une capacité étonnante d'adaptation aux situations les plus inédites et un travail à plein temps durant la saison favorable, c'est-à-dire sur une dizaine de mois, en dehors de la période d'hivernage (saison d'été consacrée aux rapports, à mettre au point les observations).

En fait, une cinquantaine de géologues ont réussi à réaliser la couverture des quelques 4,4 millions de km² de l'AOF en 165 coupures à 1/500 000 de 2° de latitude sur 1°30 de longitude, souvent accompagnées d'une notice ou d'une thèse inédite ou publiée. De plus, quelques cartes à 1/1 000 000 ont été réalisées comme celle de Roman Karpoff, à cheval sur l'Algérie et l'AOF au nord du Mali⁵.

Et, bien entendu, ces géologues ont levé ces cartes tout en faisant une prospection minière légère, en observant les données hydrogéologiques et en précisant parfois des interprétations géomorphologiques.

C. Moyens techniques pour la réalisation des objectifs

La prospection minière nécessite des moyens analytiques pour caractériser les minerais découverts par les géologues de terrain. Mais il faut aussi qu'ils puissent faire analyser en laboratoire des concentrés obtenus, souvent, par des méthodes élémentaires, comme la batée dans les alluvions et les éluvions des rivières au voisinage des indices reconnus. Un laboratoire a donc été mis en place à Dakar dans les nouveaux locaux de Fann.

⁴ Un cas particulièrement intéressant est celui qui a donné lieu à la notion de granite en ellipse décrite par Léon Bodin. En fait, le géologue chargé du lever en Côte d'Ivoire d'une région très pauvre en affleurements, observe deux affleurements d'un même granite distants de plusieurs kilomètres. Le dessin du contour du massif supposé est évidemment l'ellipse dont les deux affleurements sont les foyers !

⁵ En 1958 Louis Marvier publie la Notice explicative de la Carte géologique d'ensemble de l'Afrique occidentale française à 1/6 000 000.

Pour étudier, après séparation, les concentrés de métaux lourds, ce laboratoire fut équipé d'un matériel très complet et doté d'un personnel spécialement formé⁶. Les résultats les plus simples concernent les sables de plage du Sénégal, où l'on a pu mettre en évidence la présence de minerai de titane (ilménite) en quantité exploitable.

À partir de 1954, André Blanchot introduit les méthodes de prospection géochimique qui vont se révéler très performantes. Dans le même temps le Service de chimie de Dakar met au point successivement les dosages précis pour le cuivre (1955), le nickel, le plomb et le zinc (1956), le cobalt, le chrome, le molybdène et le tungstène (1957).

Un inventaire des indices miniers est réalisé avec fiches décrivant le lieu et l'environnement géologique pour servir de guide en vue des prospections futures, les résultats des analyses effectuées, etc.

Dans le domaine de l'eau les services de la Direction des mines deviennent de plus en plus actifs, en liaison avec le service de l'hydraulique pastorale et des services de l'élevage dans les régions du Sahel en Mauritanie, Soudan et Niger.

En 1952, la Direction fédérale des mines et de la géologie (DFMG) crée l'inventaire des ressources hydrauliques (IRH), qui a pour tâche de répertorier tous les points d'eau connus (puits, mares, sondages, sources, barrages) avec leurs caractéristiques et leurs conditions d'utilisation. Les documents sous forme de fiches sont disponibles auprès du public⁷.

Une activité essentielle concerne la détermination et l'analyse des minéraux et des roches.

Sur le terrain, le géologue prélève des échantillons qui sont dûment répertoriés dans des cahiers à souches qui comportent les numéros attribués dans son carnet de terrain, les lieux de prélèvement et une estimation du nom du minéral ou de la roche. Des échantillons témoins sont stockés à Dakar dans les nouveaux bâtiments de Fann⁸. S'il le désire, il peut confier certains spécimens au laboratoire d'analyse, qui réalisera des lames minces dans un atelier dont les spécialistes, appelés litholamelleurs, équipés d'un matériel pas toujours performant (surtout pour les roches cristallines), fournissent au géologue une coupe de roche qu'il examinera au microscope polarisant. Un minéralogiste-pétrographe, Léon Bodin, put ainsi déterminer certaines roches, ce qui lui a permis de faire des comparaisons d'une région à l'autre de l'Ouest africain, facilitant ainsi grandement les interprétations.

Le laboratoire d'analyses chimiques de Dakar dirigé par Madame Martinet fait également des analyses de roches selon les méthodes standard de voie humide. Enfin, pour l'ensemble

⁶ En 1956, 2 500 concentrés sont analysés, 4 000 par an le seront ultérieurement.

⁷ À partir de 1954, Rolland Degallier coordonne et dirige l'IRH et plusieurs géologues du service lui consacrent une part importante de leur activité, comme Guy Guérin-Villeaubreil de 1954 à 1957 en Côte d'Ivoire.

⁸ Ces bâtiments, bien équipés, ont remplacé, fin 1953, les très vieux et insalubres locaux de l'avenue Roume au centre de Dakar. En 1954, sont construits trois petits blocs de six logements pour héberger les familles de géologues de terrain.

des formations du socle, des datations géochronologiques commencent à être effectuées dans des laboratoires français et étrangers.

La réalisation des cartes géologiques et leur impression se fait à Dakar dans le service dirigé par Robert Lemonnier qui compta jusqu'à 21 collaborateurs français et africains. Ce service de dessin et cartographie continua à fonctionner après 1960.

Deuxième partie : Principaux résultats obtenus par les géologues français de 1945 à 1960, une ébauche d'un très riche bilan

Pour en faciliter la lecture, je présenterai les résultats selon trois thèmes :

- la cartographie géologique de l'Ouest africain ;
- la prospection minière, découverte de gisements et mise en exploitation ;
- l'hydrogéologie, les ressources en eau pour l'alimentation des grandes villes. et des grandes régions agricoles.

A. Cartographie géologique

Les premiers pionniers⁹, qui avaient déchiffré les grandes lignes de la géologie historique et structurale, ont permis de dresser un schéma synthétique de l'Ouest africain : sur un socle ancien où dominant des formations plissées plus ou moins métamorphiques, et recoupées par des granites eux-mêmes déformés, largement dominants, reposent des terrains sédimentaires disposés en couches faiblement inclinées, dessinant une série d'auréoles organisées en un très grand bassin dit de Taoudeni, dont les bords sont déformés à l'ouest et extrêmement fracturés à l'est.

Le travail des géologues affectés en priorité à établir la cartographie géologique de l'AOF va conduire à affiner ce modèle simpliste. Ce seront, sous des formes variées : rapports inédits conservés en archives, communications à divers organismes, colloques et congrès, thèses inédites ou publiées dans la série des *Bulletins de la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie*, etc.

Longtemps après l'indépendance, les observations des géologues français demeurent fondamentales, seules leurs interprétations seront parfois modifiées, affinées et surtout intégrées dans de nouveaux modèles issus d'une conception moderne étayée par la datation absolue des formations.

Il est désormais admis que l'Afrique de l'Ouest comprend essentiellement deux éléments tectoniques majeurs, le craton ouest-africain précambrien (archéen et protérozoïque) avec sa couverture sédimentaire, ainsi que des ceintures mobiles d'âge précambrien tardif, localement

⁹ En grande partie des Russes blancs émigrés après l'avènement du communisme, géologues formés à l'Institut de géologie de Nancy, on peut citer les noms de Michel Bolgarsky et de Jean Sagatzky.

affectées par une empreinte paléozoïque. Dans chacun de ces domaines des géologues français sont intervenus d'une manière très significative.

1. Craton ouest-africain

Il affleure à l'ouest en Mauritanie, au Sénégal oriental, au centre en Guinée et en Côte d'Ivoire, ainsi qu'au Mali (ex-Soudan), au Burkina Faso (ex-Haute-Volta), au Niger, et au sud-est, au Bénin (ex-Dahomey) et au Togo.

Le cadre de l'interprétation des formations précambriennes de l'Ouest africain a été déterminé par les travaux de Maurice Roques (1912-1997) qui, en 1942, avait effectué une mission dans le Sud de l'Algérie et le Nord du Soudan français (Mali) pour la Société des chemins de fer de la Méditerranée au Niger, dont Nicolas Menchikoff était le chef du service géologique. Ne pouvant plus rentrer en France à cause du débarquement des troupes alliées en Afrique du Nord, il fut accueilli à Dakar par le directeur des mines de l'AOF, dont il deviendra le conseiller scientifique des Services géologiques. En appliquant ses conceptions sur le métamorphisme régional progressif du Massif central français, à la suite de plusieurs missions sur le terrain, il publie, en 1948, à la Société géologique de France, une note sur l'ensemble du Précambrien de l'AOF. Son modèle servira pendant de nombreuses années de cadre pour les géologues de terrain. Maurice Roques allait ensuite être nommé professeur et directeur du laboratoire de géologie à l'université de Clermont-Ferrand. Après la fin de la Seconde Guerre mondiale, un grand nombre de géologues formés en France rejoindront la Direction fédérale des mines et de la géologie à partir de 1949, ainsi que dans l'ensemble des territoires de la France d'Outre-Mer¹⁰

Dans l'ensemble du craton ouest-africain, on a pu mettre en évidence des régions très anciennes, qui seront datées progressivement à plus de 2,6 milliards d'années, c'est-à-dire de l'Archéen, composées de migmatites, de gneiss parfois très métamorphiques, de quartzites, de rares marbres, de roches vertes d'origine mantellique, de granites très structurés, etc.

¹⁰ Une bonne quinzaine de géologues nommés à Dakar ont été des ingénieurs géologues de l'École de géologie de Nancy (ENSG).

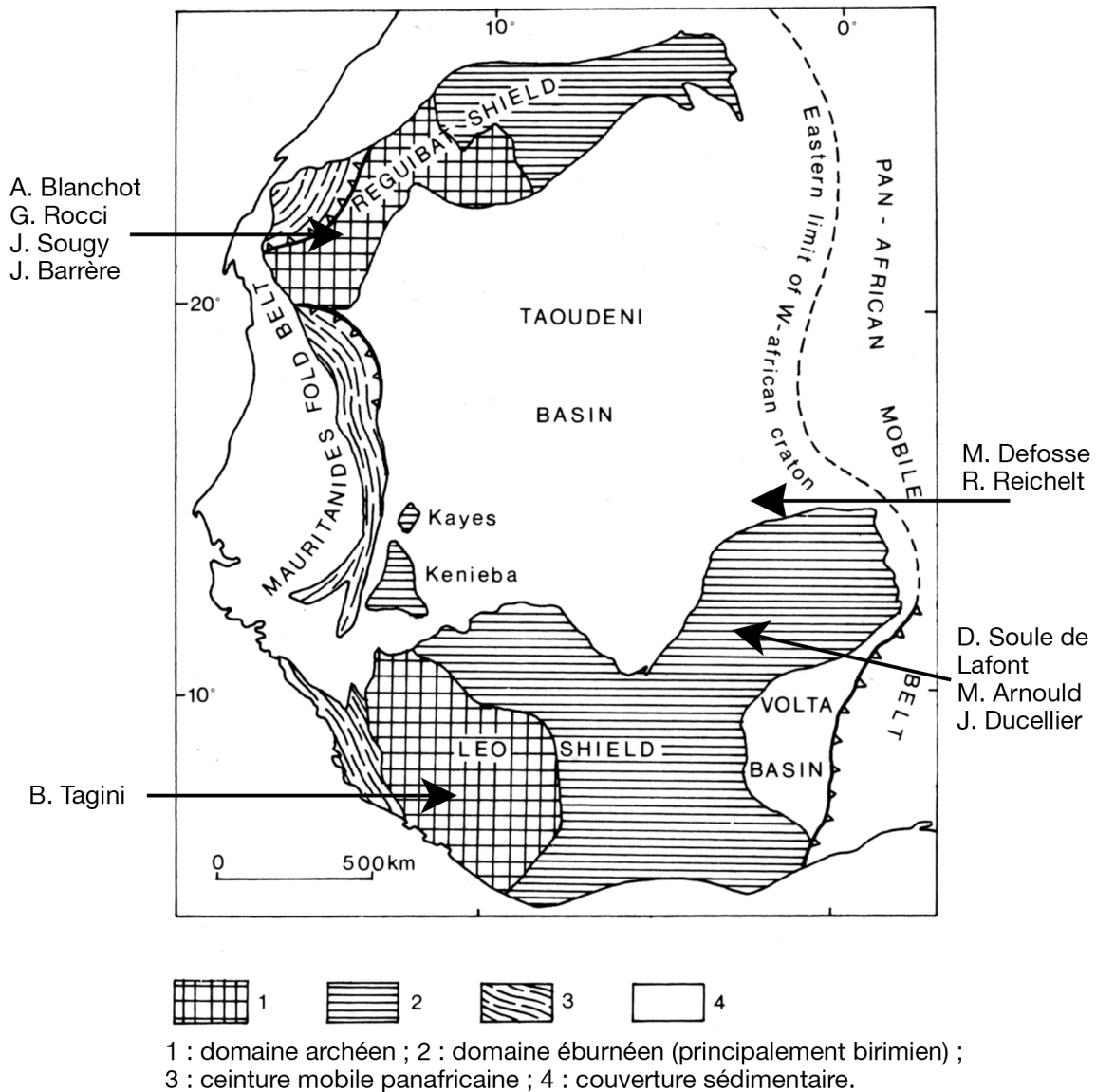


Fig. 2. Domaines d'activités des géologues français sur le craton ouest-africain (le fond de carte est extrait de R. D. Dallmeyer et J.-P. Lécorché (1991). *The West African orogens and circum-atlantic correlatives*).

Ces noyaux archéens sont situés au sud de la Dorsale Réguibat, dans l'Amsaga et le Tiris, dont André Blanchot (1920-2003) fut le premier à cartographier et interpréter les caractéristiques¹¹ et dont Jean Barrère (1928-1973) affina les caractéristiques¹².

L'Archéen est également présent dans le bouclier (shield) de Leo, en Guinée, en Sierra Leone, au Liberia et dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire (région de Man), dont l'accident profond qui se manifeste en surface par la faille de Sasandra marque la limite orientale. Ce noyau archéen est caractérisé par des granulites et des gneiss à hypersthène, dans lesquels affleurent des ceintures de roches vertes avec des péridotites nickelifères décrites par

¹¹ BLANCHOT, A. (1955). Le Précambrien de Mauritanie occidentale. Esquisse géologique. Thèse *Bull. DFMG* n° 17.

¹² BARRERE, J. (1967). Le groupe précambrien de l'Amsaga entre Atar et Akjoujt. Thèse et *Mém. du BRGM*, n° 77.

Bernard Tagini, dans des rapports inédits et une thèse soutenue à Lausanne en 1971, et que Jean Camil, dans une thèse soutenue à l'université d'Abidjan en 1974 a réétudiées. Des quartzites ferrugineux à hématite et magnétite, comme dans le Tiris de Mauritanie, constituent de grands gisements de fer encore peu exploités, comme le Simandou en Guinée. Mais cet Archéen a été peu étudié par les géologues français de l'AOF.

L'essentiel du craton ouest-africain est occupé par des formations précambriennes datées du Protérozoïque (< 2,6 milliards d'années), où dominent les formations plissées et métamorphisées, recoupées par des granites, qui ont été autrefois décrites par les Anglais en Gold Coast (Ghana) dans une chaîne appelée Birim range, d'où le nom de Birimien donné à l'ensemble des unités du Protérozoïque inférieur. L'orogénèse qui a structuré ces formations étant très développée en Côte d'Ivoire, l'adjectif éburnéen lui a été attribué.

Si l'on parcourt l'Ouest africain d'ouest en est, les géologues français de l'AOF ont levé des cartes qui ont mis en évidence des séries métamorphiques recoupées par des massifs granitiques, parcourues de dykes et de filons, souvent très fracturés. En Mauritanie, Georges Rocci (1955) a découvert des séries métamorphiques caractérisées par une intensité décroissante d'ouest en est. Il a également cartographié en détail un complexe granitique qui constitue l'archétype de l'inselberg géographique selon l'IGN, le massif de Bir Moghreïn. Jean Sougy (divers rapports) a découvert plusieurs ensembles granitiques, comme le granite du Yetti qui se prolonge au delà de la frontière algérienne dans le massif des Eglab, qui ont été étudiés par les géologues de la SERMI et des chercheurs de l'université de Clermont-Ferrand^{13 14 15}.

Plus au sud, les formations birimiennes affleurent au Sénégal oriental dans la boutonnière de Kenieba-Kedougou, et très largement au Soudan (Mali), en Côte d'Ivoire et en Haute-Volta (Burkina Faso).

La cartographie du Birimien a montré une succession de bassins étroits, formés d'unités volcano-sédimentaires modérément métamorphisées mais très plissées, voire verticalisées, séparées par des crêtes de granites variés qui les recoupent généralement et qui sont souvent eux-mêmes déformés. L'ensemble a une structure sud-ouest nord-est dessinant des virgations de très grande amplitude. Le Birimien de l'Ouest africain a fait l'objet d'une synthèse des travaux de nombreux géologues en grande partie de l'AOF réalisée par Bernard Bessoles en 1977. Les datations des granitoïdes ont été confirmées à plusieurs reprises par la suite : l'orogénèse éburnéenne s'est produite en plusieurs phases autour de 2 milliards d'années, durant le Protérozoïque inférieur.

Jusqu'à l'indépendance, au début des années 1960, de nombreux géologues français ont contribué à la connaissance de l'orogénèse éburnéenne. En Côte d'Ivoire, la région de

¹³ SABATE, P. et LAMEYRE, J. (1973). Magmatism and metamorphism in the Yetti-Eglab Precambrian formations of the Reguibat Dorsal. Florence, p. 131-133.

¹⁴ LASSERRE, N, LAMEYRE, J. et BUFFIÈRE, J.-M. (1970). Données géochronologiques sur l'axe précambrien Yetti-Eglab en Algérie et en Mauritanie du Nord. *Bull. BRGM*, 2° série, section IV.

¹⁵ BUFFIERE, J.-M. *et al.* (1965). Notice explicative de la carte géologique au 500 000^e de la région de l'Eglab et de la bordure nord du Yetti. SERMI, Paris.

Bondoukou a fait l'objet d'une distinction entre Précambrien moyen et supérieur par Dominique Soulé de Lafont (1954), Marcel Arnould (1961). En Haute-Volta (Burkina Faso), Jean Ducellier (1963) a montré que les unités birimiennes de Côte d'Ivoire se prolongeaient avec des unités métamorphiques d'origine volcanique qui seront analysées en détail plus tard par S. Zonou (1987). Par la suite, des géologues africains, avec l'appui de leurs aînés français, souvent grâce à des conventions de coopération, ont continué à préciser les données de terrain, confortées par des études de laboratoire faisant appel à la géochimie isotopique et à la géochronologie.

II. Bassin de Taoudeni

Il s'agit de la plus grande synclise non seulement d'Afrique mais probablement du monde. Les sédiments qui la constituent, à la manière du Bassin parisien, affleurent en couches successives, de plus en plus jeunes en allant vers le centre situé en Algérie. À l'extérieur, le bassin recouvre la partie septentrionale du craton ouest africain. Les premiers dépôts discordants sont d'âge précambrien supérieur dans la région du Soudan (Mali) et du Niger, généralement détritiques, comme les falaises de Bandiagara. En Mauritanie, ce sont des grès surmontés de calcaires à stromatolites, puis des dépôts gréseux et conglomératiques formant les falaises du Tagant, de l'Adrar, du Karet, du Hank en Algérie. Au-dessus, se sont déposés des sédiments du Cambro-Silurien, puis du Dévonien-Carbonifère. Vers le centre du bassin, à Taoudeni (où l'on exploite le sel), les sédiments vont devenir continentaux (Continental intercalaire et Continental terminal de Conrad Kilian, 1931).

À la périphérie méridionale, des bassins sédimentaires subsidents se sont individualisés comme le bassin du Gourma dans la région de la boucle du Niger, dont Michel Defosse (1958) a établi la carte géologique, complétée par les travaux de Rudolf Reichelt (1972), et le bassin de la Volta d'âge protérozoïque supérieur qui couvre une grande partie du Ghana et du Togo.

Les géologues français ont fait des découvertes très remarquables dans ces régions. Au nord-ouest, citons les observations très pertinentes de Théodore Monod (1902-2000), qui a cartographié une partie de l'Adrar Mauritanien (1952) et qui, à de nombreuses reprises, est reparti (sans succès) à la recherche du lieu d'impact de la météorite de Chinguetti.

Louis Renaud (1921-2003) a cartographié en détail le massif du Tagant et mis en évidence la stratigraphie des différentes formations et notamment la présence de tillite (ancien conglomérat glaciaire) à l'Ordovicien. Il a également étudié en détail les formations précambriennes du Sénégal oriental (1958-1961).

Claude Bense a poursuivi l'étude de ces formations plus au sud dans l'Afollé. René Dars a mis en évidence la présence de Continental intercalaire dans la région de Nara (1957). Il a mis également en évidence la présence d'un faisceau de dykes de dolérites, datés par la suite du Jurassique (Dars, 1960). On retrouve ces successions de dykes est-ouest en Mauritanie non loin de l'océan. Ce sont des témoins de l'ouverture de l'Atlantique nord par fragmentation de la croûte.

Au sud du Bassin de Taoudeni, les grandes falaises de Bandiagara en grès massifs séparés par des niveaux argileux, où vivent les Dogons, ont été analysées par Michel Defossez et Rudolf Reichelt (*op. cit.*)

III. Zones mobiles péricratoniques

À l'époque de l'AOF, les conceptions modernes de la géologie commençaient seulement à marquer les interprétations du terrain. La théorie de la tectonique des plaques n'était pas encore apparue. Depuis les années soixante on sait que, autour du craton ouest-africain, se sont développées des zones tectoniques qui dessinent une ceinture de terrains plissés et faillés déversés sur le craton¹⁶. Des mouvements crustaux se sont manifestés à partir du Protérozoïque supérieur dans un environnement qui a affecté l'ensemble de l'Afrique, d'où le nom de Panafricain.

Pour faciliter la présentation de la situation des travaux des géologues français en AOF, nous fixerons le cadre actuel admis par les derniers travaux de géologues structuralistes.

À l'ouest, on décrit les *Mauritanides*, d'âge fini-précambrien avec reprise à l'Hercynien, les *Bassarides* qui les prolongent au Sénégal oriental et qui rejoignent au Sud, en Sierra Leone, les *Rockelides*.

Au sud-est, ce sont les *Dahomeyides* qui affectent le bassin de la Volta et se développent au Togo.

Sur le flanc oriental du craton ouest-africain, on aborde une zone très large qui va s'étendre jusqu'au Soudan actuel et à la Haute-Égypte. Cette vaste région est marquée par une série de grands accidents méridiens, la présence de granites et autres plutons d'âge varié allant jusqu'au Tertiaire, avec des reprises tectoniques à différentes périodes. En AOF, l'Adrar des Iforas (Mali) et l'Aïr (Niger) en font partie. Ce sont des massifs satellites du Hoggar algérien.

Sur les *Mauritanides*, les géologues français se sont très largement investis durant la période de l'AOF et au cours des années qui ont suivi l'indépendance. C'est dans la région d'Akjoujt, en Mauritanie occidentale, que les premiers indices d'une discordance différente de ce que l'on connaissait dans l'Adrar (grès horizontaux sur socle métamorphique), ont été découverts par A. Blanchot (1955) (qui pensait qu'il s'agissait d'une discordance du Protérozoïque inférieur sur l'Archéen). Jean Sougy (1962, 1964) a montré qu'en réalité la discordance était double : un premier dépôt de sédiments d'âge fini-précambrien, recouvert par une nappe tectonique appartenant à ce qui sera caractérisé plus au Sud en une véritable chaîne avec tous ses caractères, y compris la présence d'un paléo-océan (ophiolites) grâce à de très nombreux travaux de terrain réalisés par des chercheurs français, étrangers et africains (O. Dia, 1994). La communauté scientifique a reconnu dans les années quatre-vingt que les Mauritanides représentaient un fragment des Appalaches abandonné sur le continent

¹⁶ Les travaux de Renaud Caby (1989) ont montré qu'on retrouve en Amérique du Sud, dans le Nord-Est du Brésil, les fragments du craton et des zones mobiles.

africain après l'ouverture de l'Atlantique Nord, à partir du Trias. Un colloque international s'est tenu à Nouakchott en 1987 avec participation des spécialistes américains des Appalaches, qui ont confirmé cette interprétation. D'autres géologues avaient contribué lors du levé des cartes géologiques à la connaissance des formations faisant partie des Mauritanides. Citons Claude Bense (1964) et J. Delpy (1959).

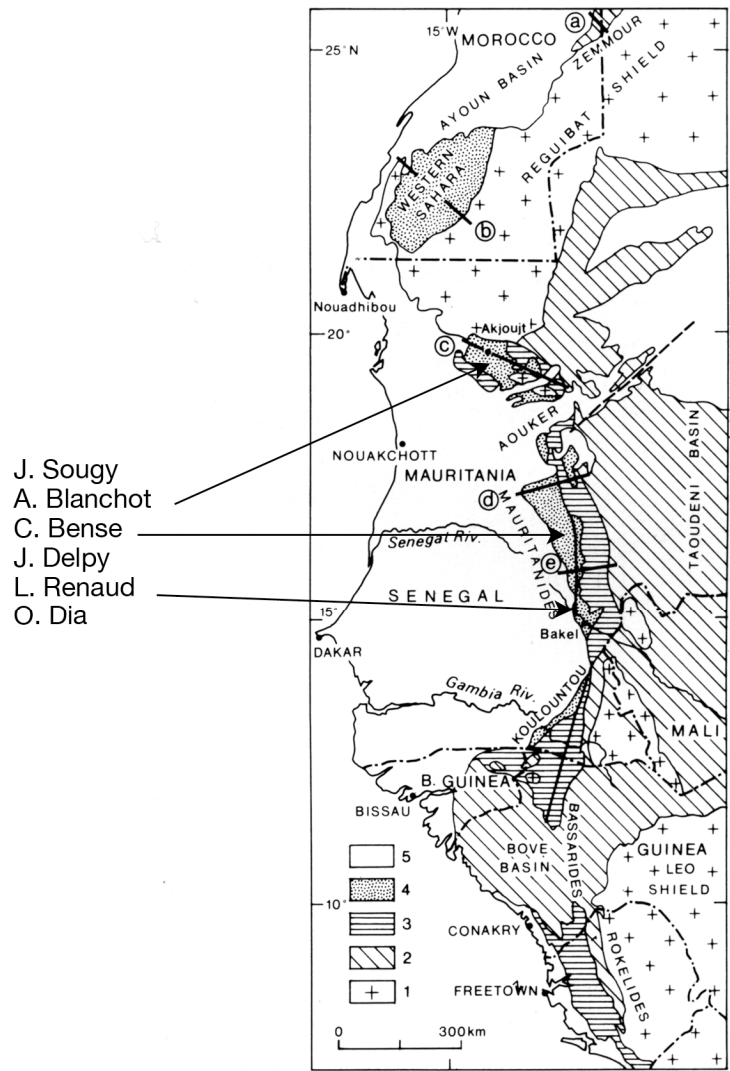


Fig. 3. Domaines d'activité des géologues français dans les Mauritanides (le fond de carte est extrait de R.D. Dallmeyer et J.-P. Lécorché (1991). *The West African orogens and circum-atlantic correlatives*).

Les *Bassarides*, prolongement méridional des Mauritanides, ont été étudiées par Jean-Pierre Bassot (1966) qui, le premier, a distingué entre le socle affleurant dans la fenêtre de Kédougou des séries volcaniques et sédimentaires plus récentes attribuées au Précambrien supérieur et au Cambrien, déformées par l'orogénèse calédonienne. Il a également établi la succession stratigraphique des sédiments de couverture. Dans le socle de la boutonnière de Kédougou il a distingué trois séries différentes : Mako, Dialé et Daléma. Ces séries

métamorphiques appartenant au Birimien ont été réétudiées en détail par des géologues sénégalais de l'université de Dakar (voir 3^e partie).

Les *Rockelides*, qui appartiennent à la structure panafricaine rattachée aux deux orogènes précédents, sont séparés par le bassin sédimentaire Bové. Les géologues français de l'AOF ne sont pas intervenus sur ces unités.

Du côté oriental du craton ouest-africain, les *Dahomeyides* font partie d'un très vaste ensemble qui couvre le Nigeria et le Cameroun, caractérisé par des foliations à grande échelle dessinant des bandes de terrains méridiennes, avec des nappes tectoniques et des zones de suture de très grand développement, tantôt N-S, tantôt NE-SO, d'âge panafricain, parfois réactivé au Phanérozoïque. Le métamorphisme, de type variable selon les grands secteurs, peut être très intense ou très modéré, de type haute pression basse température, etc. C'est à ce type de formations que la théorie de la tectonique des plaques s'applique le mieux.

Dans la partie concernée par l'AOF, les géologues français ont largement analysé des formations originales. Par exemple Robert Pognet (1959) sur le Précambrien du Dahomey et Pierre Aicard (1959) sur celui du Togo et du NE du Dahomey.

Le prolongement septentrional de cette immense région, caractérisée par le rôle des manifestations tectoniques, métamorphiques et granitiques au cours du panafricain (Protérozoïque supérieur), est partagé administrativement entre l'Algérie et l'AOF.

En AOF, l'Adrar des Iforas fait partie de ce qu'on appelle parfois le Massif central saharien, dont l'élément le plus important est le Hoggar.

L'Adrar des Iforas, très structuré par de grands accidents nord-sud, contient des formations de haut degré métamorphique (granulites), des unités ultrabasiques (serpentinites) et des plutons granitiques intrusifs. Les premiers géologues qui ont étudié ces complexes sont Henri Radier (1959) pour la partie méridionale et Roman Karpoff (1960).

À l'est des Iforas, au-delà d'un vaste bassin créacé, le massif de l'Aïr (Niger) a une structure assez semblable avec des terrains métamorphiques et granitiques, des unités de roches vertes à caractère ophiolitique et surtout un ensemble de massifs circonscrits diversifiés, avec des anorthosites, gabbros et granites alcalins, où affleure le plus grand ring-dyke du monde, le Meugeur, parfaitement reconnaissable sur photos satellitaires. Du temps de l'AOF, c'est Maurice Raulais (1959) qui, le premier, a décrit ce massif, satellite méridional du Hoggar. Puis Russell Black (1930-2009) a comparé ces intrusions avec celles qu'il avait étudiées sur le plateau de Jos, au Nigeria. Après l'indépendance, des enseignants chercheurs de l'université de Niamey ont réétudié en détail ces complexes alcalins, Christian Moreau (1982) en particulier.

IV. Bassins marginaux

L'ensemble de l'Ouest africain est bordé de bassins sédimentaires d'âge créacé à tertiaire, dont les plus étendus se trouvent sur la Mauritanie et le Sénégal, tandis que le long

du golfe de Guinée, plusieurs bassins côtiers de faible extension se succèdent de la Côte d'Ivoire au Togo. Plus à l'est, c'est le très grand bassin du delta du Niger, au Nigeria, qui recèle les grands gisements de pétrole.

Les géologues français ont consacré l'essentiel de leurs recherches, liées à la cartographie de ces bassins, à analyser la sédimentation et la paléontologie des faunes fossilisées, car ces sédiments contiennent des gisements de phosphates.

Parmi les travaux les plus importants citons ceux de Fernand Tessier (1950) sur la stratigraphie et la paléontologie du bassin du Sénégal, de Maurice Slansky (1958) sur le bassin sédimentaire du Dahomey-Togo, dont l'expérience acquise sur le terrain et en laboratoire lui a permis de devenir un spécialiste reconnu en sédimentologie¹⁷.

Ainsi, les géologues français ont pu et su bénéficier, pour bon nombre d'entre eux, des possibilités qui leur étaient offertes à la faveur des levers cartographiques qui étaient la tâche que la Direction des mines leur avait confiée, d'approfondir en laboratoire leurs observations de terrain, d'utiliser les ressources des établissements français de métropole. Un grand nombre a rédigé des thèses qui ont été publiées par les services de Dakar, au *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie* et, après 1960, aux *Mémoires du BRGM*.

B. Prospection minière

Les géologues chargés du lever des cartes géologiques devaient mentionner les indices de substances minérales qu'ils rencontraient au cours de leurs itinéraires de reconnaissance de terrain. Ils devaient faire quelques prélèvements pour savoir si ces indices pourraient représenter des concentrations en substances utiles métalliques ou en matériaux utiles pour la construction, en minerais divers, etc. Bref, ils faisaient de la prospection générale. Gilbert Arnaud (1945) fit un premier bilan pour l'ensemble de l'AOF.

Mais certains d'entre eux, aidés par des prospecteurs, généralement français, ayant reçu une formation spéciale, étaient formés à reconnaître et à développer d'éventuels gisements susceptibles d'exploitation.

Toutefois, jusqu'en 1954, le rôle de la DFMG était limité à la prospection générale, tandis que le Bureau minier de la France d'Outre-Mer (BUMIFOM) et ses implantations en AOF-AEF et Madagascar était chargé de la prospection et du développement des ressources naturelles, en liaison avec des sociétés minières nationales et internationales, et de toute la législation complexe concernant les permis de recherche et d'exploitation. On trouvera dans l'ouvrage de Pierre Legoux et André Marelle (1991) une mine d'informations sur ce sujet.

À Dakar, le Bureau minier occupait des locaux indépendants de ceux de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie. Il eut plusieurs directeurs, le dernier étant René Vigier jusqu'en 1959, à la reprise de la structure, de ses locaux et de son personnel, par le BRGM.

¹⁷ Maurice Slansky (1999). *Les roches sédimentaires*. Presses universitaires de France, Paris, coll. Que sais-je ?

A partir de 1954, à la suite de modifications administratives au ministère de la France d'Outre-Mer, et de celui des Mines, il est décidé que la DFMG reprendra une prospection ciblée. Marcel Bardet est recruté dans ce but. Il deviendra un spécialiste de la prospection du diamant. Michel Bolgarsky est chargé d'établir l'inventaire des ressources minérales de l'AOF.

Les résultats obtenus par les géologues français dans le domaine de la prospection minière, étant par nature en amont des découvertes de gisements, furent importants, quoique assez dispersés par grands domaines de formations géologiques.

En terrains sédimentaires, il faut signaler la découverte des gisements de :

- phosphates au Sénégal et au Togo, qui sont largement exploités depuis les années 1950 ont été en partie le fait des recherches de Fernand Tessier et de Maurice Slansky (1980) ;
- des sables à ilménite des plages de Mauritanie, du Sénégal et de Côte d'Ivoire ;
- des minerais de manganèse dans les sédiments du bassin côtier au Grand Lahou en Côte d'Ivoire, exploités à partir de 1960 ;
- de la bauxite en Guinée.

En formations anciennes, métamorphiques et granitiques, sous forme de filons de quartz ou de pegmatites et de leurs produits d'érosion et d'altération latéritique en alluvions et éluvions, l'or et le diamant ont parfois été découverts d'une manière peu scientifique.

La découverte du diamant en Côte d'Ivoire remonte à 1946. Elle est due au géologue Georges Malaurent qui explorait les poches latéritiques non loin de Korogho. En prospection, ces zones d'anciens lits de rivière s'appellent des flats. Or notre géologue était en train de lire le célèbre roman de John Steinbeck *Tortilla flat*. Il eut l'idée d'appeler ce qui allait devenir un gisement exploitable, le gisement de Tortya, nom qui lui est resté (la société Saremci a extrait, jusqu'à la fermeture en 1976, 4 500 000 carats).

L'uranium a été découvert par de nombreux géologues dans les sédiments paléozoïques de l'ouest de l'Aïr au Niger, durant la période de l'AOF. Depuis les années 1960, après la création du CEA, le Niger est devenu le principal fournisseur de la France en minerai pour nos centrales nucléaires, avec les mines de la région d'Arlit.

L'or est connu en Afrique de l'Ouest depuis l'Antiquité. La Côte de l'Or (Gold Coast), devenu le Ghana, est citée par les auteurs grecs. On trouve ce métal à l'état natif en alluvions et éluvions, souvent latéritisés un peu partout, mais spécialement au Sénégal oriental, au Mali, en Guinée, en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso. Il se trouve également en filons dans des zones de cisaillement, dans des granites altérés et des conglomérats. Il peut alors se trouver soit à l'état natif, soit en inclusions dans des sulfures comme l'arsénopyrite. Pour l'essentiel les gîtes primaires sont dans les formations birimiennes. Beaucoup de géologues français en ont trouvé au cours de leurs parcours de terrain.

Durant la période coloniale, l'exploitation de l'or était essentiellement le fait d'orpailleurs. Les mines étaient très rares. Plusieurs furent ouvertes bien après l'indépendance. Par

exemple la mine de Sigouri en Guinée dans des paléoplacers et des veines de quartz des sédiments birimiens à Loulo (région de Kéniéba, au Mali), gisement découvert par le BRGM en 1981 et considéré actuellement comme l'un des plus grands gisements d'or du Mali, mais dont l'exploitation n'a commencé qu'en 2005, le minerai étant associé à des grès à tourmaline d'origine hydrothermale, en amas de composés arsénopyriteux comme dans les grands gisements du Ghana (Milesi *et al.*, 1989).

Le fer est surtout présent dans l'Archéen sous la forme de BIF (Banded Iron Formation), qui représente dans le monde les plus grandes réserves de minerais oxydés (hématite et magnétite) à haute teneur. Le fer est exploité depuis 1963 en Mauritanie, à Zouérate, dans la Kediat Idjil, à l'est du poste militaire de Fort Gouraud. Ce sont les travaux et découvertes de André Blanchot et Jean-Paul Spindler (1958) qui ont permis la mise en exploitation de la partie septentrionale de la montagne d'Idjil, puis des guelbs. André Choubersky et des sociétés étrangères ont créé la MIFERMA (Mines de fer de Mauritanie). L'évacuation du minerai jusqu'au port de Nouadhibou (ex Port-Étienne) a causé beaucoup de soucis au départ, à cause du manque de collaboration de l'Espagne qui possédait jusqu'en 1976 la colonie du Rio de Oro¹⁸.

Citons également les travaux de Jean Sougy sur le minerai de fer des Sfarat en Mauritanie du Nord (1952). Au Sénégal et au Mali un gisement de minerai de fer est dit « *le Fer de la Falémé* ». Enfin, il ne faut pas oublier l'énorme gisement de fer du Simandou en Guinée, qui n'est pas exploité à ce jour mais qui avait été reconnu par les géologues français.

Le cuivre : sa présence dans l'Ouest de la Mauritanie a été reconnue par Jean Malavoy (1931), mais c'est André Blanchot (1947) qui a précisé l'existence, au Guelb Moghrein, d'un gisement d'intérêt économique dans des formations qui seront reconnues plus tard comme appartenant à l'extrémité septentrionale des Mauritanides. Gilbert Arnaud (1948), dans un rapport de la Direction fédérale des mines et de la géologie, a précisé qu'il s'agit d'un minerai sulfuré complexe aurifère et de sa partie superficielle oxydée. En 1953, la MICUMA (Mines de Cuivre de Mauritanie) a lancé l'exploitation d'un gisement estimé à 600 000 tonnes de cuivre.

¹⁸ Le minerai de fer étant très pondéreux, seule une expédition par voie maritime était possible. Il convenait donc de trouver un port atlantique en eau profonde qui puisse être relié au gisement par une voie ferrée. Port-Etienne (actuellement Nouadhibou) est choisi. Mais l'Espagne qui possède jusqu'en 1976 la colonie du Rio-de-Oro refuse de laisser passer une voie ferrée à travers ce territoire. Il convient donc de rester en Mauritanie et de déterminer sur le terrain les frontières définies sur le papier (convention de 1900), celle qui suit un parallèle depuis le Cap Blanc jusqu'à un méridien, début de la courbe qui rejoint le méridien 12° W. La corne frontière pose un problème : est-elle dans la plaine, sur le reg ou sur le glacis de la falaise de l'Adrar au niveau du village de Choum ? Deux missions, l'une espagnole, l'autre française, sont organisées pour faire un relevé astronomique de haute précision (le GPS n'existait pas encore !). Les résultats concordants placent ce point à mis pente du talus de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de la falaise. Une étude détaillée des terrains qui constituent ce talus est commandée à Georges Rocci, géologue de l'AOF en poste à Fort-Gouraud, sur le tracé de la voie ferrée en projet. Les terrains métamorphiques précambriens sous la falaise gréseuse sont très altérés. Un tunnel est donc foré dans un matériau très médiocre. Ce sera le tunnel de Choum, de près de deux kilomètres de long, en courbe et en rampe, inauguré en 1962, qui sera le seul exemple connu d'une voie ferrée qui entre d'un côté d'une montagne et qui en ressort du même côté. Jusqu'en 1976, date à laquelle le Maroc annexe le Sahara espagnol, le Polisario s'attaqua aux convois de minerai de préférence dans le tunnel, causant de fortes perturbations dans l'exploitation de la mine de Zouerate. Un grave accident s'y produisit en août 1969. À partir de 1976, un accord entre le Maroc et la Mauritanie permit à cette voie de 704 km de contourner le tunnel qui fut abandonné.

Arrêtée en 1958, la production est reprise en 1967 par une nouvelle société dont le géologue Jean-Jacques Hallemans fut le directeur.

L'étain a été reconnu sous forme de cassitérite dans des granites alcalins de l'Aïr au Niger par Maurice Raulais (1946). Il a été exploité de 1949 à 1956 avec un maximum de 150 tonnes en 1952. L'étude détaillée du principal massif de granite, le Tarraouadji, a été réalisée par Georges Rocci (1960).

Le nickel, reconnu dans les péridotites de la région archéenne de Man en Guinée et Côte d'Ivoire, a été mis en exploitation par la société SODEMI avec la participation de nombreuses sociétés internationales (gisement de Biankouma).

Enfin, il ne faut pas oublier la malheureuse affaire de la fausse découverte du platine du Hoggar, car le Service géologique de Dakar a failli y être impliqué. Ce métal rare, pratiquement invisible dans les roches ultrabasiques et leur produit d'altération la serpentinite, mais dosable par des méthodes chimiques classiques, a été reconnu par spectrographie à Alger dans un laboratoire du BRMA (Bureau de Recherche minière d'Algérie), dans les roches ultrabasiques très répandues dans le Précambrien du Hoggar et de son prolongement en AOF, l'Adrar des Iforas.

La découverte du platine au Hoggar a donc amené André Blanchot à missionner en 1958 Georges Rocci pour rencontrer sur le terrain le géologue responsable du BRMA, afin d'observer les gisements en vue d'une recherche analogue en AOF. Fort heureusement, au moment même de cette rencontre quelque part sur une piste de l'Adrar, on venait de découvrir qu'une banale escroquerie aux fausses factures à Alger avait conduit les responsables du BRMA et les équipes de géologues prospecteurs à faire croire durant dix-huit mois à l'existence d'« *une nouvelle province platinifère* » dans le Hoggar !¹⁹

C. Hydrogéologie

Étant donné la structure géologique de l'Ouest africain, deux grands types de nappes aquifères sont présents : aquifères discontinus du Précambrien et du Paléozoïque et aquifères continus des bassins sédimentaires mésozoïques à quaternaires.

Nous avons vu dans la première partie que les géologues de terrain travaillaient en étroite collaboration avec les services de l'hydraulique, le service de l'hydraulique pastorale et les services de l'élevage. Ils avaient pour mission de localiser les points d'eau, puits, mares, etc., qu'ils rencontraient le long de leurs itinéraires. À une certaine époque, chaque géologue était muni d'une trousse spécialisée pour évaluer les caractéristiques du point d'eau : pH, dureté, résidu sec, couleur, etc. Dans les zones d'affleurement du socle cristallin, les aquifères sont forcément localisés, discontinus, tributaires des fracturations, mais aussi de la

¹⁹ L'affaire du faux platine du Hoggar ayant été dévoilée peu d'années avant l'indépendance de l'Algérie (1962), des nouveaux responsables des mines furent persuadés que l'existence du platine avait été volontairement cachée par les Français. Ils reprirent donc les travaux abandonnés avec de nouveaux prélèvements d'échantillons expédiés en URSS pour dosage du platine, qui se révélèrent tous négatifs.

présence d'altérites et de couverture latéritique. En zone sahélienne, les aquifères sont fortement dépendants de la saison des pluies au cours de laquelle ils peuvent se recharger ; mais aussi des mares temporaires se forment parfois, très recherchées par les éleveurs de bétail mais aussi par les cultivateurs. À l'époque de l'AOF, en région saharienne, les puits permanents étaient rares et connus des nomades ; plusieurs d'entre eux ont donné leur nom à une coupure géologique comme Tourine et El Mreiti en Mauritanie. Ces puits étaient de profondeur variable, mais excédaient rarement quelques dizaines de mètres. Des puits temporaires superficiels, les « *oglats* », pouvaient même fournir de l'eau dans des massifs dunaires. Au cours des rares pluies qui tombaient en hiver sur ce socle imperméable, les oueds, généralement à sec, pouvaient couler quelque temps, mais aussi former des mares de plusieurs kilomètres carrés, qui s'évaporaient à l'approche de l'été et qui présentaient la particularité d'être rapidement envahies d'une multitude de minuscules crustacés²⁰.

Dans les années 1950 et après, des aménagements ont été réalisés sur certains sites comme celui des WaWa en Mauritanie du Sud : un barrage entre deux barres de quartzites formant une petite retenue à la saison des pluies, alimentant un canal de plusieurs kilomètres de long pour l'irrigation de cultures de riz dans le sud de la Mauritanie.

En revanche, dans les bassins sédimentaires, soit en couverture du socle (bassin de Taoudéni), soit en zones périphériques (bassins sénégal-mauritanien, de Côte d'Ivoire et du Togo), les aquifères continus ont fait l'objet d'études détaillées d'un certain nombre de géologues et de spécialistes. Par exemple Fernand Jacquet (1958) sur les grandes lignes de l'hydrologie mauritanienne, Gilbert Arnaud (1958) sur l'hydrologie de la région de Dakar, Fernand Tessier (1958) sur l'hydrogéologie du Crétacé et du Tertiaire de l'Ouest du Sénégal, Pierre Élouard (1958) sur une nappe dans des grès de Mauritanie. D'autres géologues de terrain ont fait des observations sur les fleuves Niger et Sénégal, par exemple Guy Palausi (1958) a réfléchi sur l'ancien parcours du Niger dans la région de Tombouctou, René Dars (1958) sur la capture d'un affluent du Sénégal et Michel Defossez (1958) dans la plaine du Gondo (Mali), au sud du bassin du Gourma, a découvert une nappe aquifère de 30 000 km².

Par ailleurs, des recherches sur l'implantation de forages dans des régions semi-désertiques comme le Ferlo au nord-est du Sénégal ont constitué l'activité principale de Roland Degallier, la région étant le domaine des éleveurs peuls de zébus.

Dans les régions minières, l'eau joue un rôle essentiel. En général, l'exploitation d'un gisement après une période plus ou moins longue d'exploration nécessite de grandes quantités d'eau. Il faut faire des forages profonds, car les puits sont insuffisants. Un exemple historique éclaire parfaitement ce problème. Au pied de la Kediat Idjil, près du bordj de Fort Gouraud (Mauritanie), existaient des puits qui étaient réputés chez les nomades Réguibat pour leur eau douce et abondante (beaucoup de puits en zones sahariennes sont très riches en magnésium). Dans les années 1950, ils permettaient de cultiver un très beau jardin adossé à la falaise de quartzite. La mise en exploitation du gisement de fer a conduit à détruire ce

²⁰ « *Zerlanes* » sortes de petits crustacés d'eau douce, qui ressemblent à l'état adulte à de minuscules limules.

bijou ! Il a fallu faire des forages dans la montagne au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

L'alimentation en eau potable des grandes villes d'AOF a été une préoccupation constante car la population n'a cessé de s'accroître dans des proportions considérables. Les capitales des territoires devenus indépendants situées sur des fleuves, comme Bamako et Niamey, sont alimentées en eau potable par prélèvements dans le Niger. Celles qui sont situées sur les formations sédimentaires, comme Dakar, Abidjan, Cotonou, Lomé, sont alimentées par les aquifères du Crétacé ou du Tertiaire, voire du Continental terminal (Abidjan). Le cas de Dakar est un peu particulier. La ville s'est rapidement étendue vers Rufisque le long de la presqu'île du cap Vert. Les banlieues de la capitale du Sénégal ne peuvent pas toujours bénéficier du réseau de distribution. Des puits plus ou moins pollués, générateurs de maladies, servent de relais. Actuellement, la ville de Dakar est alimentée en grande partie à partir du lac de Guier situé dans l'est de Saint-Louis, au nord du pays, tandis que plus de 800 forages utilisent l'eau de la nappe du Crétacé supérieur pour les populations rurales.

Depuis quelques années, les instances internationales ont, à plusieurs reprises, réalisé des études systématiques sur le problème de l'eau en Afrique. L'une des dernières entreprises est le projet de réseau SIG Afrique (Réseau africain d'Information géologique pour le développement durable) : établir une carte hydrogéologique de l'Afrique à 1/10 000 000.

Troisième partie : L'après-indépendance

Vers la fin de l'année 1960, la Communauté de 1958 ayant remplacé l'Union française, il était évident que l'AOF allait disparaître. Il n'y a donc pas eu de rupture en ce qui concerne les activités des géologues français. Certains ont cependant choisi de quitter l'Afrique lorsqu'une possibilité leur était offerte de rejoindre un poste dans une université ou un organisme de recherche métropolitain. Beaucoup de géologues de terrain sont devenus des spécialistes des différentes applications de la géologie à travers le monde. Un exemple remarquable est le géologue du Précambrien de Côte d'Ivoire Marcel Arnould (1927-2011), ancien élève de l'École des mines de Paris, devenu en 1961 professeur à l'École des ponts et chaussées et en 1965 professeur à l'École des mines, spécialiste international de la géologie de l'ingénieur et de l'environnement. Quelques-uns décidèrent de rester. À Paris fut créé le ministère de la Coopération chargé d'organiser les accords avec les 37 états d'Afrique noire, de l'océan Indien et des Caraïbes. Dans ce nouveau cadre, des géologues français issus de la France d'Outre-Mer continuèrent à travailler pour les nouveaux états indépendants, en particulier dans les nouvelles universités et les Services des mines dont plusieurs états se dotèrent progressivement. Dans le cadre d'accords officiels, dotés de budgets spécifiques, de nouveaux géologues français ou étrangers vinrent s'installer à Dakar, Abidjan, Cotonou, etc.

Les structures administratives de l'AOF en géologie : Direction fédérale des mines et de la géologie et BUMIFOM, furent transférées au BRGM à Orléans²¹. Une conséquence importante de ce transfert a été la poursuite des publications de la Direction fédérale des mines et de la géologie sous la forme des *Mémoires* et du *Bulletin du BRGM*. C'est ainsi que furent publiées par le BRGM plusieurs thèses réalisées sur le terrain du temps de l'AOF.

Le BRGM ayant accueilli la plupart des géologues de l'AOF, ceux-ci ont poursuivi leur carrière dans cet établissement jusqu'à leur retraite, en participant à des actions en métropole ou à l'étranger, notamment en Afrique, comme ce fut le cas pour Jean-Pierre Bassot, qui fut le représentant du BRGM à Kinshasa (Zaïre) en 1974, puis responsable du plan minéral du Mali dans les années 1980. Un cas particulier mérite d'être évoqué : André Blanchot, qui fut le dernier chef du Service géologique de l'AOF, après avoir levé plusieurs cartes géologiques en Mauritanie et découvert l'intérêt du gisement de cuivre d'Akjoujt, s'est consacré à la rédaction d'une carte des minéralisations de l'ensemble de l'Afrique. Son projet nécessitant un travail considérable sur plusieurs années fut achevé fin 1978 sous la forme d'un document à 1/5 000 000 intitulé *Carte des minéralisations de l'Afrique*, mais ne fut jamais publié par le BRGM. André Blanchot en fut profondément affecté, bien que ces cartes présentées à différents congrès internationaux aient reçu un accueil très remarqué. En revanche, la *Commission for the Geological Map of the World*, publia beaucoup plus tard, en 1991, la *Carte internationale des gîtes minéraux de l'Afrique* signée André Emberger (Rabat-Accra).

Les anciens comme les nouveaux géologues devinrent des coopérants français affectés aux organismes officiels des états indépendants comme la Direction des mines du Sénégal, l'université de Dakar, l'Institut français d'Afrique noire qui devint l'Institut fondamental d'Afrique Noire, intégré et hébergé dans le nouveau Campus de l'université de Dakar. Des organismes de recherche comme l'ORSTOM (Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer) qui changea de nom pour devenir l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) subsistent jusqu'à nos jours.

Ainsi, une transition maîtrisée entre un système colonial et une organisation de coopération laissant toute liberté d'action aux états indépendants dans le domaine de la géologie générale et appliquée et dans celui de la formation des cadres et de la délivrance des diplômes a conduit à la situation actuelle que nous verrons ci-après.

Aux différents domaines décrits dans la deuxième partie, il faut ajouter le rôle essentiel des géologues français dans la création et le développement des universités.

Prenons l'exemple de l'université de Dakar créée en 1957, issue de l'Institut des hautes Études fondé en 1950, et officiellement inaugurée fin 1959 comme 18^e université française, qui deviendra en 1987 l'université Cheikh Anta Diop avec des facultés de droit, lettres, sciences et médecine, équipée d'une bibliothèque, d'une cité universitaire, de logements pour

²¹ Le BRGM (Bureau de Recherches géologiques et minières) a été créé en 1959 par la fusion de quatre bureaux miniers : le BUMIFOM (Outre mer), le BRMA (Algérie), le Bureau minier Guyanais et le Bureau de Recherches géologiques, géophysiques et minières.

les enseignants, le tout installé dans un vaste campus en banlieue de Dakar, à Fann, non loin des locaux de la Direction des mines et de la géologie.

À l'université de Dakar, les sciences de la Terre bénéficient d'un développement particulier amorcé durant les années cinquante par la création d'un laboratoire de géologie dirigé par Fernand Tessier, géologue de l'AOF, spécialiste des formations sédimentaires du bassin sénégalais, qui était hébergé dans des locaux provisoires. Un enseignement de 1^{er} cycle est proposé aux étudiants français et africains, puis une licence avec l'aide de géologues de la Direction fédérale des mines et de la géologie, qui viennent apporter leur compétence dans les domaines de la tectonique, de la pétrographie cristalline et de la géologie appliquée, etc. Il s'agit en particulier de René Dars, Georges Rocci et surtout de Jean Sougy, qui restera à l'université de Dakar jusqu'en 1967.

Au campus universitaire de Dakar-Fann, une aile complète des nouveaux locaux de la faculté des sciences sera affectée à partir de 1958 aux sciences de la Terre avec trois niveaux, sous-sol et bâtiment annexe : salles de cours et de travaux pratiques, bureaux pour les enseignants, ateliers de confection de lames minces, de sédimentologie, etc.

L'originalité de ce département sera de se doter après l'indépendance d'une section spéciale sur le modèle des Instituts universitaires de Technologie français (IUT) : l'Institut des Sciences de la Terre (IST). Cet institut est actuellement en plein essor. Il forme de jeunes Africains dans les domaines de la géologie appliquée : travaux publics, recherches d'eau, exploitation des gisements miniers, etc. Les débouchés concernent la sous-région Sénégal, Mauritanie et Mali.

Le premier assistant africain en géologie fut Osseynou Dia. Il devint tout naturellement responsable du département des sciences de la Terre à la faculté des sciences. Outre ses activités administratives nouvelles, il poursuivit des recherches sur le terrain en Mauritanie, qui devaient aboutir en 1984 à la réalisation d'un important travail en collaboration avec l'université d'Aix-Marseille III sur les Mauritanides, qu'il présenta en mémoire de thèse d'État. Durant de nombreuses années, l'appui effectif d'enseignants français en poste à Dakar, notamment Jean Sougy et Michel Rollet, et de plusieurs missionnaires venus renforcer l'équipe selon leur spécialité, permit de développer le département. Très tôt, de jeunes Africains nommés assistants, entreprirent des recherches sur le terrain. C'est l'un d'eux, Abdoulaye Dia qui prit en charge la direction de l'IST, tout en préparant une thèse d'État sous la direction de Georges Rocci, thèse qu'il soutiendra à l'université de Dakar en 1988.

Grâce à des conventions passées avec des universités françaises, financées au moins en partie par le ministère de la Coopération et sur les budgets de fonctionnement des universités, les recherches sur le terrain se poursuivent. Par exemple, au Sénégal, les domaines retenus sont l'étude pétrologique et structurale du Birimien, où des Africains se formeront et soutiendront des thèses de 3^e cycle, puis d'État : Abdoulaye Dia (1988) sur les complexes magmatiques et métamorphiques, Papa Malick N'Gom (1995) sur la croûte birimienne de Mako, Edmond Diah (1995) sur les formations birimiennes encaissant le granite de Dioumbalou, Dina Pathé Diallo (1994) sur l'encaissant des granitoïdes de Mako, Papa

Moussa Ndiaye (1986) qui s'intéressa à l'origine des minéralisations dans le granite de Saraya aux confins du Sénégal et du Mali.

Durant de nombreuses années, des missions de chercheurs français et étrangers sont organisées en Afrique de l'Ouest, ainsi que des missions d'enseignement à l'université de Dakar destinées aux étudiants de licence, de 3^e cycle et de l'IST. En général ces missions comprennent également l'encadrement des chercheurs africains sur le terrain.

Sur l'ensemble de l'Ouest africain, ce partenariat très fructueux a continué à se développer. Quelques exemples méritent d'être évoqués :

- université d'Aix-Marseille III avec les universités de Dakar et de Nouakchott ;
- université Henri Poincaré de Nancy avec l'université de Dakar ;
- université de Dijon avec les universités de Niamey et du Bénin ;
- université de Clermont-Ferrand avec l'université d'Abidjan ;
- institut polytechnique de Lorraine ;
- université de Montpellier.

Pour conclure sur l'état des lieux actuel de la formation des cadres africains et de la recherche en géosciences, un demi-siècle après la fin de l'AOF, chaque état francophone a orienté ses activités d'enseignement et de recherche d'une manière spécifique, tout en s'inspirant des modèles français en créant universités, instituts, centres de recherche, etc.

En Mauritanie une seule université a été créée à Nouakchott en 1981 avec trois facultés. En géologie, durant de nombreuses années, existait une formation originale destinée aux professeurs de l'enseignement secondaire, mise en place par un coopérant français Didier Carité. Il avait constitué et mis à la disposition des professeurs de sciences naturelles une collection de minéraux, de roches et de documents provenant de formations mauritaniennes. Il a également rédigé un livre (*Géologie en Mauritanie*) avec des exemples locaux, qui a été publié.

Au Niger, l'université de Niamey est créée en 1971-1973 avec cinq facultés, trois instituts de recherche, une École normale et trois Instituts universitaires de technologie (IUT). En 1979-1980, le géologue Jacques Lang y est nommé professeur, jusqu'à son affectation en 1980 à l'université de Dijon. Il y poursuivra une coopération internationale entre l'université de Bourgogne et plusieurs universités africaines, notamment du Bénin, du Niger, du Gabon, du Centrafrique, du Cameroun, d'Angola et du Maroc.

Au Mali, la situation est plus compliquée avec une université du Mali, créée tardivement en 1993, et une université de Bamako avec quatre facultés, deux instituts et deux écoles.

Au Burkina Faso, l'université de Ouagadougou, de structure classique, est complétée par un Institut polytechnique à Bobo-Dioulasso créé en 1995-1997, plus spécialement destiné à former des cadres techniques, qui ont longtemps manqué en Afrique noire, où les formations étaient plutôt orientées vers les études juridiques et intellectuelles.

Au Bénin, un établissement public est ouvert à Cotonou en 1970 : l'université du Bénin où Jacques Lang exercera les fonctions de professeur coopérant de 1975 à 1978. Il y encadrera de jeunes Béninois dans sa spécialité, les formations sédimentaires continentales. Une deuxième université fut créée en 2001, celle d'Abomey-Colavi, qui offre une formation en technologie

En Côte d'Ivoire, l'université d'Abidjan est créée le 9 janvier 1964 avec la participation des enseignants de Dakar, en particulier en géologie. Elle deviendra de plein exercice en 1971. Un géologue ivoirien, Ignace Yace, ancien élève de Maurice Roques, sera un des premiers docteurs ès sciences. Nommé professeur et chef du département de géologie, Jean Camil (1984) fera une thèse remarquée sur l'Archéen de Man.

Pour achever ce bref panorama de l'après indépendance, un organisme international est créé en 1981 avec siège à Paris et centre technique à Orléans, le CIFEG (Centre international pour la formation et les échanges en géosciences). Cet organisme publie une revue *Pangea* et décerne des prix, dont le premier lauréat a été en 2008 un chercheur éthiopien ayant soutenu en 2004 une thèse à l'université d'Avignon sur le rift est-africain.

Il faut aussi signaler qu'une Société géologique africaine bilingue existe depuis 1973. Elle a été fondée par Russell Black (1930-2009). En 2008, son président était Félix Toteu, géologue camerounais qui a soutenu une thèse avec un encadrement français à Nancy.

Enfin les chercheurs disposent désormais de deux revues internationales : *Africa Geosciences Review* et *Journal of African Earth Science*.

Ainsi, le rôle des géologues français en Afrique reste essentiel aujourd'hui dans le développement de la formation et de la recherche.

Références bibliographiques

- AICARD, P. (1959). Le Précambrien du Togo et du Nord-Ouest du Dahomey. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **23**, 221 p., 31 pl., 5 cartes à 1/500.
- ARNAUD, G. (1945). Les ressources minières de l'Afrique Occidentale française. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **8**, 100 p., 18 pl., carte h. t.
- ARNAUD, G. (1948). Rapport sur le gisement cuprifère du Guelb Moghrein. *Rapport de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, 11 p.
- ARNOULD, M. (1961). Étude des massifs de migmatites et de granites précambriens du Nord-est de la Côte d'Ivoire et de la Haute-Volta méridionale. *Mémoires du BRGM*, n° 3, 149 p., 12 pl.
- BASSOT, J.-P. (1966). Étude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo-maliens. Thèse Clermont-Ferrand, 1963. *Mémoires du BRGM*, **40**, 322 p., 9 pl., 2 cartes h. t.

- BASSOT, J.-P. (1987). Le complexe volcano-plutonique calco-alcalin de la rivière Daléma (Est Sénégal), discussion de sa signification géodynamique dans le cadre de l'orogénèse éburnéenne (Protérozoïque inférieur). *Journal of African Earth Sciences*, **6**, p. 505-519.
- BENSE, C. (1964). Les formations sédimentaires de la Mauritanie méridionale et du Mali nord-occidental (Afrique de l'Ouest). Thèse Univ. Nancy 1. *Mémoires du BRGM*, **26**, 270 p., 20 pl.
- BESSELES, B. (1977). Géologie de l'Afrique. Vol. 1. Le Craton Ouest africain. *Mémoires du BRGM*, **88**, 402 p., 26 tabl.
- BLANCHOT, A. (1947). Étude géologique du gîte cuprifère du Guelb Moghreïn. *Rapport de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, 15 p.
- BLANCHOT, A. (1951). Le gisement de fer de Fort-Gouraud - Historique de la découverte et des premiers travaux de prospection *Chronique des Mines coloniales*, p. 181-182.
- BLANCHOT, A. (1955). Le Précambrien de Mauritanie occidentale (esquisse géologique). Thèse Nancy. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **17**, 308 p., pl. et cartes h. t.
- BODIN, L. (1951). Contribution à l'étude des granites birimiens dans le Précambrien de l'AOF. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **12**, 109 p., 5 pl. h. t.
- CABY, R. (1989). Precambrian terranes of Benin-Nigeria and Northeast Brazil and the Late Proterozoic South Atlantic fit. *Geological Society of America, Special Papers*, **230**, p. 145-158.
- CAMIL, J. (1984). Pétrographie, chronologie des ensembles archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implications pour l'histoire géologique du Craton Ouest africain. Thèse, université d'Abidjan.
- DARS, R. (1957) Sur l'existence du Continental intercalaire au NE de Nara (AOF). *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, **1957**, p. 248-249.
- DARS, R. (1958). Sur un phénomène de capture observé dans la boucle nord du Baoulé, affluent du Sénégal (Soudan). *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **20**, p. 139-142, et *Revue de Géomorphologie dynamique*, **6**, p. 262-265.
- DARS, R. (1960). Etude géologique des séries primaires et des dolérites du Soudan occidental. Thèse, université de Paris, 1960. *Mémoires du BRGM*, **12**, 327 p., 27 pl., 2 cartes h. t.
- DEFOSSEZ, M. (1958). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la boucle du Niger. Thèse, université de Strasbourg. *Mémoires du BRGM*, **13** (1962), 174 p., 5 pl., cartes h. t.
- DELPY, J. (1959). Attribution au Primaire de formations métamorphiques estimées précambriennes en Mauritanie centrale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, **249**, p. 1374-1376.
- DIA, A. (1988). Caractères et significations des complexes magmatiques et métamorphiques du secteur de Sandikounda-Laminia (Nord de la boutonnière de Kedougou, Est du Sénégal) -

- Un modèle géodynamique du Birimien de l'Afrique de l'Ouest. Thèse, université de Dakar, 350 p.
- DIA, O. (1994). La chaîne panafricaine et hercynienne des Mauritanides face au bassin protérozoïque supérieur à dévonien de Taoudéni dans le secteur-clé de Mejeria. Thèse, université d'Aix-Marseille III.
- DIOH, E. (1995). Caractérisation, signification et origine des formations birimiennes encaissantes du granite de Dioubalou (partie septentrionale de la boutonnière de Kédougou, Sénégal oriental). Thèse, université de Dakar.
- DUCELLIER, J. (1963). Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du Centre et du Nord de la Haute-Volta. *Mémoires du BRGM*, **10**, 319 p., 8 pl., cartes h. t.
- ELOUARD, P. (1958). Recherche d'eau dans les formations récentes de l'Inchiri, Mauritanie. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **20**, p. 113-128.
- FURON, R. (1960). *Géologie de l'Afrique*. Dunod, Paris, 2^eéd.
- JACQUET, F. (1937) Sur la structure du Sahara mauritanien. *Bulletin de la Société géologique de France*, (5), **7**, p. 3-8.
- KARPOFF, R. (1960). La géologie de l'Adrar des Iforas. Thèse, Université de Paris, 1958. *Bulletin du Service de Géologie et de Prospection minière*, Dakar, **30**, 265 p.
- KILIAN, C. (1931). Les principaux complexes continentaux du Sahara. *Compte Rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, **1931**, p. 109.
- LEGOUX, P. et MARELLE, A. (1991). *Les mines et la recherche minière en Afrique Occidentale Française*. L'Harmattan éd., Paris, 363 p.
- MALAVOY, J. (1931). Géologie de la Mauritanie du Nord. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, **193**, p. 184-186.
- MASCLANIS, P. (1958). Le Précambrien de la partie orientale de la boucle du Niger. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **24**, 168 p.
- MONOD, T. (1952). L'Adrar mauritanien (Sahara occidental) - Esquisse géologique. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **15**, 279 p., 42 pl.
- MILESI, J.-P. et al. (1989). Minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest, leurs relations avec l'évolution litho-structurale au Protérozoïque inférieur. Carte géologique à 1/2 000 000. *Chronique de la Recherche minière*, **497**, p. 3-98
- MOREAU, C. (1982). Les complexes annulaires anorogéniques à suites anorthositiques de l'Aïr central et septentrional. Thèse, université de Nancy I.
- N'GOM, P.M. (1995). Contribution à l'étude de la série birimienne de Mako dans le secteur aurifère de Sabodala (Sénégal oriental). Thèse université de Nancy 1.
- N'DIAYE, P.M. (1986). Etude géologique et métallogénique de la partie septentrionale du granite de Saraya (Sénégal oriental). Thèse, université de Dakar.

- PALAUSSI, G. (1958). Au sujet du Niger fossile dans la région de Tombouctou (Soudan). *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **20**, p. 142-146, 1 pl.
- PALAUSSI, G. (1960). Géologie et hydrogéologie du Primaire du Soudan et de Haute-Volta. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **32**, 222 p.
- POUGNET, R. (1959). Le Précambrien du Dahomey. Thèse, université de Clermont-Ferrand, 1955. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **22**, 186 p., 29 pl., cartes h. t.
- RADIER, H. (1959). Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental (AOF). Thèse, Université de Strasbourg, 1957. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **26**, 2 tomes, 550 p., pl., tabl., cartes h. t.
- RAULAIS, M. (1946). La série granitique ultime de l'Air au Niger et sa minéralisation stannifère. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, **223**, p. 96-98.
- RAULAIS, M. (1959). Esquisse géologique sur le massif cristallin de l'Air (Niger). *Bulletin de la Société géologique de France*, (7), **1**, p. 207-223.
- RENAUD, L. (1958). Le Précambrien du sud de la Mauritanie et du Sénégal oriental. Thèse. *Mémoires du BRGM*, **5**, (1961), 117 p., 12 pl.
- REICHEL, R. (1972). Géologie du Gourma (Afrique occidentale) – un « seuil » et un bassin du Précambrien supérieur. Thèse, université Clermont-Ferrand, 1971. *Mémoires du BRGM*, **53**, 213 p.
- ROCCI, G. (1955). Formations métamorphiques et granitiques de la partie occidentale du Pays Reguibat, Mauritanie du Nord. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie* **21**, 2 vol., 480 p., 20 pl., cartes h. t.
- ROCCI, G. (1960). Le massif du Tarraouadji (République du Niger) Etude géologique et pétrographique. *Notes du BRGM*, n° 6, Dakar.
- SLANSKY, M. (1958). Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Mémoires du BRGM*, **11** (1962), 270 p., 8 pl., carte h. t.
- SLANSKY, M. (1980). Géologie des phosphates sédimentaires. *Mémoires du BRGM*, **114**, 92 p.
- SOUGY, J. (1952). Rapport de reconnaissance sur le minerai de fer des Sfariat (Mauritanie). *Rapport de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar.
- SOUGY, J. (1962). West African fold belt. *Geological Society of America Bulletin*, **73**, p. 871-876.
- SOUGY, J. (1964). Les formations paléozoïques du Zemmour noir (Mauritanie septentrionale). Etude stratigraphique, pétrographique et paléontologique. Thèse, 1961, université de Nancy. *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Dakar*, **15**.
- SOUGY, J. (1969). Grandes lignes structurales de la chaîne des Mauritanides et de son avant-pays (socle précambrien et sa couverture infracambrienne et paléozoïque), Afrique de l'Ouest. *Bulletin de la Société géologique de France*, (7) **11**, p. 133-149.

- SOULE de LAFONT, D. (1954). Le Précambrien moyen et supérieur de Bondoukou (Côte d'Ivoire). Thèse 1954. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, **18**, 169 p., 16 pl., carte h. t.
- SPINDLER, J.-P. (1958). Exploration géologique des bordures N et E de la Kédia Idjil. Rapport inédit, carte et coupes ; 39 p.
- TAGINI, B. (1971). Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Thèse, Université de Lausanne.
- TESSIER, F. (1952). Études stratigraphiques et paléontologiques sur l'Ouest du Sénégal. Thèse Marseille, 1950. *Bulletin de la Direction fédérale des Mines et de la Géologie*, Dakar, **14**, 572 p., 4 pl., 2 cartes h. t.
- TROMPETTE, R. (1979). Les Dahomeyides au Bénin, Togo et Ghana : une chaîne de collision d'âge pan-africain. *Revue de Géographie physique et Géologie dynamique*, **21** (5), p. 339-349.
- YACE, I. (1976). Le volcanisme éburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne précambrienne de Fettekro en Côte d'Ivoire. Thèse, université d'Abidjan.
- ZONOU, S. (1987). Les formations leptyno-amphiboliques et le complexe volcanique et volcano-sédimentaire du Protérozoïque inférieur de Bouroum Nord (Burkina Faso, Afrique de l'Ouest).Thèse, Université de Nancy 1.