

Bâtir une stratigraphie : les leçons de l'étude du Paléozoïque au Sahara algérien

Philippe Legrand

« *Tauzia* », 216 cours du Général-de-Gaulle, 33170 Gradignan, France

Reçu le 3 septembre 2002 ; accepté le 28 octobre 2002

Rédigé à l'invitation du Comité éditorial

Abstract – Building a stratigraphy: the lessons of the study of the Palaeozoic in the Algerian Sahara. In the last fifty years, the geology of the Algerian Sahara has undergone a big development chiefly as the result of petroleum exploration. This has led to the construction of a stratigraphic succession, mostly Palaeozoic. A short history of this yet incomplete stratigraphic succession is presented below, together with a discussion of some of the lessons learned during this process. A number of lithostratigraphic errors are also cited and illustrated. The difficulties encountered in biostratigraphy, such as the lack of fossils, biostratigraphic zonations and the problem of identifications, are pointed out. Finally, the need for a regional chronostratigraphy in a basinal study to supplement the standard chronostratigraphy, which is more distant and less useful, is presented. In conclusion, the dangers related to a possible disappearance of Invertebrate biostratigraphy in geology are pointed out. **To cite this article:** *P. Legrand, C. R. Palevol 1 (2002) 383–397.* © 2002 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

stratigraphy / history / Algerian Sahara / Palaeozoic

Résumé – Au cours des cinquante dernières années, la géologie du Sahara algérien a connu un grand développement, en particulier du fait de l'exploration pétrolière. Il en est résulté la nécessité de bâtir une stratigraphie et, plus spécialement, une stratigraphie du Paléozoïque. Après un bref historique des différentes phases de cette construction, qui n'est pas terminée, on tente d'en tirer quelques leçons. Certaines erreurs à ne pas commettre au niveau de la lithostratigraphie sont illustrées. Les difficultés rencontrées dans l'usage de la biostratigraphie (rareté des faunes, zonations, qualité des déterminations) sont exposées. Enfin, l'intérêt d'une chronostratigraphie régionale dans l'étude d'un bassin par rapport à la chronostratigraphie standard plus lointaine et moins opérationnelle est souligné. Son rapport à l'analyse séquentielle est évoqué. En conclusion, on rappelle le danger que constituerait la disparition de la biostratigraphie des Invertébrés pour la géologie tout entière. **Pour citer cet article :** *P. Legrand, C. R. Palevol 1 (2002) 383–397.* © 2002 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

stratigraphie / historique / Sahara algérien / Paléozoïque

Abridged version

1. Introduction

Fifty years ago, the 19th International Geological Congress of Algiers marked the starting point of the geological exploration of the Algerian Sahara, which led to the development of the stratigraphy of the Saharan basins and the recognition of the outcrops defining it. This is a study of the difficulties encountered in the fifty years of stratigraphical research.

2. A short history

Only the main stages of this history are summarised below and only the main points are given to better understand the evolution of the concepts involved therein.

2.1. The state of knowledge up to 1952

Only the major outlines of the Palaeozoic outcrops were known up to 1952 (see the geological map at the scale of 1:2 000 000 published at the time of the 19th IGC of Algiers).

With some notable exceptions, such as the Ougarta Sandstones and the Lower Tassilis Sandstones, lithostratigraphy was hardly used. The terms employed at the series level are poorly defined (Assekhaïf Series, etc.) or are based on the standard chronostratigraphy.

2.2. The 1952–1957 period

In 1956, the pamphlet IV 2 of the International Stratigraphic Lexicon of the Algerian Sahara was published. This is the time of the explorations by big oil companies, of the first drillings and the first discoveries (discovery of gas at Berga 1 in 1954, of the Edjeleh oil field in the Lower Devonian, of the Hassi Messaoud oil field in the Cambrian and of the Hassi R'Mel gaz field in the Triassic, in 1956). Many data was made available that had to be organised.

2.3. The 1957–1963 period

The Cambrian age of the Hassi Messaoud oil field led to the study of the Inner Tassilis Sandstones and their classical units I, II, III and IV, of the erosional unconformity separating unit III from unit IV and the first tentative dating [6, 16, 87, 99]. This was also the time of the study of the Illizi basin [45, 73], of the first description of the Tindouf basin [48] and of the Tassili Oua-n-Ahaggar [100]. The oil companies regularly exchanged data in the course of stratigraphical conferences. Lithostratigraphy is all-important, but the limitations in its usage begin to show up. One result will be the *Essai de nomenclature lithostratigraphique du Cambro-Ordovicien saharien* [10]. During this period was completed the first phase of the study of the Carboniferous, particularly of the Bechar region [116].

2.4. The 1964–1971 period

Stratigraphic works slow down. However, many data are collected from the Lower Cambrian [14, 15], the Ordovician [70, 71], the Silurian [35, 36, 72, 74–76, 79], or the Devonian [73]. The Carboniferous is again the subject of study by the geologists of the CRZA, leading to some important results [24, 37, 88, 89, 95, 106, 117, 132]. The accent, however, is placed on the sedimentology, which leads to the discovery of the glaciation at the end of the Ordovician [29], and the publication of an important book on the Lower Palaeozoic sandstones of the Algerian Sahara [3]. Unfortunately, biostratigraphy did not keep pace with the other disciplines, notwithstanding the advances in 'palynology' [56, 64, 104].

2.5. The 1972–1985 period

Stratigraphy is not one of the major problems, although syntheses are proposed based on regional biozones and stages [78, 81, 82]. A new edition of the International Stratigraphic Lexicon of Western Africa is published [55], as well as the first manual of Saharan geology [38]. Progress is made in the

biostratigraphy of the Ordovician and the Silurian [77, 80, 83], but it is principally in the Carboniferous that the most significant results are obtained, based on rugosoids corals [127], Brachiopods [91] and Foraminifera [103].

2.6. From 1985 to the present

Since 1985, lithostratigraphy has evolved little, even though some modifications would have been necessary. On the other hand, biostratigraphy continues to make progress thanks to the study of the Chitinozoans [7], the Acritarchs, and/or the spores [1, 27, 28, 101], the Foraminifera [105, 126], the Brachiopods [92] and the Graptolites [84]. A first essay of sequential stratigraphy has also been proposed [41].

3. The problems

A clear distinction of the different stratigraphic units (lithostratigraphic, biostratigraphic and chronostratigraphic) [125] is not part of the French tradition [41, 49]. It is the use of these units in the elaboration of the stratigraphy of the Algerian Sahara that will be discussed below, but with the lack of units leading to the notion of a regional stage.

3.1. Lithostratigraphy

Lithostratigraphy was not used up to 1952, but it gradually became a method of work, at least for the Palaeozoic of the Algerian Sahara, although the experience led to many errors that should have been avoided (Fig. 2), such as:

- the lack of precision in defining the base and the top of a unit;
- the ambiguity inherent in the multiple criteria used in defining a unit; one must always define the primary and the secondary criteria;
- the too large geographic extension of a lithostratigraphic unit; one may include under the same lithostratigraphic unit two units of entirely different age;
- the usage in a drill core of a unit defined on surface outcrops and vice-versa, even though the defining criteria are entirely different;
- the displacement of the boundary of a formation to correspond to the biostratigraphy; what may be useful locally may be unsuitable regionally.

Finally, one may arrive at one regional lithostratigraphic succession in every basin. It will be possible, later, to compare these lithostratigraphic columns and sometimes to unify them.

3.2. Biostratigraphy

3.2.1. Scarcity of fossils

This was the most serious obstacle in the elaboration of a biostratigraphy of the Algerian Sahara. Fossil-bearing strata are characterised by weak faunal diversity and many taxa that are also endemic.

3.2.2. *Assemblages and biozones*

Only graptolite and goniatic zonation were used at first, but doubts remained as to the graptolites [62, 122], which were resolved only long after [81, 82]. Pareyn introduced the notion of faunal assemblages in Carboniferous Brachiopods [116]. This concept was also adopted in ‘palynology’ [57], though under the name of zone. Since then biozones have been recognised in all or part of the Algerian Sahara so far as the graptolites and certain Brachiopods of the Ordovician or the Carboniferous, as well as in ‘palynology’ [64, 100].

3.2.3. *Importance of the identifications*

The identification of fossils is always a problem in a newly explored region. Specialists are confronted by species that are apparently new, but based on insufficient material and their comparison with old species the variation of which are often poorly known.

Regional biostratigraphy must avoid the entrapment offered by existing well known, long distance correlations.

3.3. *Correlations. Regional and standard chronostratigraphy*

3.3.1. *Correlations*

Only biostratigraphic correlations are discussed here. The simplest correlation is based on the presence of one fossil with a short stratigraphic range. It should be noted that, in this case, the identity of the specimens between two points counts more than the proper identifications. More difficult is the case of two faunal assemblages whose similarity in age can be demonstrated through intermediate faunas containing species belonging to the two assemblages. At first, the correlations were based on the age of some well-known fossils, but this approach demands care and proper identification. In conclusion, it appears that local correlations that do not use better known distant data but the local assemblages are often the most reliable.

Moreover, the older terminology may be imprecise or have changed meaning. In 1952, no Palaeozoic system had yet been precisely defined and the age of numerous fossils was a matter of conjecture. For instance, no graptolites were known from the Devonian, with the exception of some dendroids. Today, the Silurian–Devonian boundary determined in 1972

is defined precisely by two graptolites zones. Similarly, the Ordovician–Silurian boundary was modified in 1985 and the Cambrian–Ordovician boundary goes back only to the year 2000. It is clear that all pretensions leading to the definition of this boundary in the Algerian Sahara, before this date, would have been abusive.

Finally, the difficulties caused by misidentifications are numerous. For example, the misidentification of *Productus cora* d’Orbigny led people to believe the presence of the Uralian (Permian) in the Illizi basin [32, 43, 53, 111].

3.3.2. *Standard chronostratigraphy*

In the elaboration of the Saharan stratigraphy of Algeria, the tendency has been to use the standard chronostratigraphy. This was due to the desire to bypass the lithostratigraphy, but as it was done too soon, its attributions had a rather negative effect. This is true for the number of stages that were identified in the Algerian Sahara, the boundaries of which are difficult to precise owing to the lack of diagnostic fossils, such as the Conodonts.

3.3.3. *Regional chronostratigraphy*

The difficulties enumerated above and others are due to a conceptual gap between the lithostratigraphy and the standard chronostratigraphy. The notion of the regional stage has been used in a sense near of the concept proposed by Sloss for parastratigraphic units [128], to which was added the biostratigraphy. In integrating the old notion of sedimentary cycle and using the seismic sections, one approached sequential analysis [131] too dogmatic in our opinion. The divisions in regional stages, at least where it has been tried in the Lower Palaeozoic, appeared to be for a long time the best framework in the interpretation of the geologic history of the Algerian Sahara.

4. **Conclusions**

Stratigraphy remains the foundation of geology, including the domain of applied geology, but its application is more difficult than generally thought and demands a constant reflection on what one is building. It will not be able to do without biostratigraphy.

1. **Introduction**

Il y a cinquante ans s’ouvrait le 19^e Congrès géologique international d’Alger et des excursions étaient organisées en Algérie, tant dans le Nord du pays qu’au Sahara, au Maroc et en Tunisie. Parallèlement, et de façon plus discrète, après des années d’hésitation, commençait l’exploration pétrolière du Sahara algérien. Au cours des dix premières années, puis des années qui suivirent, d’une façon différente, les géologues des

compagnies pétrolières travaillant au Sahara eurent à résoudre, entre autres, un problème comme on en rencontre rarement au cours d’une carrière : élaborer la stratigraphie des terrains sédimentaires des bassins sahariens, c’est-à-dire d’une série allant du Précambrien à l’Actuel sur un territoire d’environ 1 300 000 km² et tout particulièrement de sa partie paléozoïque. Ensuite, il leur fallut apporter corrections et datations à ce qui n’avait été qu’une ébauche. Parallèlement, pendant ce temps, se poursuivaient les

travaux des universités, du Centre de recherches sahariennes, devenu le Centre de recherches sur les zones arides et de divers organismes miniers. Aujourd'hui, les travaux se poursuivent, car bien des problèmes restent à résoudre.

2. Bref historique

Nous ne prétendons pas écrire ici une histoire des progrès successifs de la stratigraphie du Paléozoïque saharien d'Algérie. Écrire une telle histoire, qui soit complète, serait d'ailleurs une entreprise assez périlleuse, les difficultés nombreuses et les risques d'erreurs involontaires, importants. Du fait qu'il s'agit pour une grande partie, à partir de 1952, et exception faite du Cambrien inférieur et du Carbonifère, de travaux liés à la recherche pétrolière, les publications répertoriées sont en nombre infime en comparaison des très nombreux rapports internes, définitivement perdus ou enfouis dans des archives dont il serait trop onéreux de les extraire. Même les publications, souvent volontairement imprécises pour des raisons de confidentialité, sont parfois très postérieures aux dates des découvertes. Certains travaux annoncés (description de faunes, etc.) n'ont jamais été réalisés, faute de temps ou du départ du géologue vers d'autres cieux. Il arrive aussi que des signataires d'articles ne soient pas les vrais auteurs des découvertes et que certaines « synthèses » provoquées par les directions aient été parfois un peu prématurées. Enfin et surtout, le travail dans une compagnie pétrolière étant essentiellement un travail d'équipe, les solutions à un problème sont collectives et le vrai inventeur est bien difficile à désigner. À ce propos, disons combien il est choquant de voir utiliser par des chercheurs, des années après, les matériaux réunis et les documents de base élaborés (logs de terrain, fiches de carottes, rapports de fin de sondage), sans aucune référence à leurs auteurs ou au moins aux compagnies qui sont à leur origine et dont les foreurs, par exemple, ne furent pas les moindres acteurs.

Notre but sera seulement de donner quelques repères permettant de mieux saisir l'évolution des concepts sur une cinquantaine d'années, ainsi que les difficultés pratiques rencontrées.

2.1. État des connaissances vers 1952

Les affleurements paléozoïques de la région de Béchar, des monts d'Ougarta, du bassin de Tindouf, du Gourara, du Touat, de l'Azzel Matti et des bordures de l'Ahaggar ou de l'Ahaggar lui-même sont connus dans leurs grandes lignes, comme le montre la carte géologique au 1:2 000 000 remise aux participants, lors du 19^e Congrès géologique international d'Alger (Fig. 1).

Cependant, comme dans la géologie française de l'époque, la distinction entre formation et étage ou entre les différentes catégories d'étages n'est pas très nette [44, 49], et il ne faut pas s'étonner de la forme que prennent les connaissances stratigraphiques de l'époque.

Ainsi, dans les bassins houillers sud-oranais (Kenadza, Abadla), Deleau [30] utilise des bancs repères, dont seul celui de Djenien est nommé ; les unités ainsi définies sont attribuées à des étages classiques, à l'exception du « Kenadzien », de nature mal définie [130], qu'il convient d'ailleurs d'abandonner [90]. De même, dans les monts d'Ougarta et la vallée de la Saoura, les terrains sont directement attribués à des systèmes ou des sous-systèmes, parfois à des étages, soit de façon hypothétique (par exemple le Cambrien des monts d'Ougarta) [110, 122], soit à la suite d'études biostratigraphiques donnant lieu, dans certains cas, à d'importants articles et monographies [94, 110, 119, 122]. Rare est l'usage de termes lithostratigraphiques. Cependant, Gautier [46] avait décrit dès 1906 ce qu'il appelait les couches de Merhouma (grès de Marhouma de la lithostratigraphie actuelle) [10] et Menchikoff [109] avait introduit le terme de grès d'Ougarta (groupe des grès d'Ougarta de la lithostratigraphie actuelle) [10]. Dans le bassin de Tindouf, les premières observations sont référées aux étages classiques [47]. Aux Tassilis occidentaux, après Monod et Bourcart [112], Follot [42] mêle également les noms de systèmes et d'étages à des termes lithostratigraphiques, comme grès inférieurs ou grès supérieurs, empruntés à Kilian ou à des noms plus ambigus, comme « série de Bled el Mass ». En effet, quelques décennies auparavant, Kilian [59], pour l'ensemble des bordures de l'Ahaggar, avait distingué d'abord des unités topographiques : Tassili internes, dépression intratassilienne, Tassilis externes, dont il avait précisé ensuite le caractère lithologique [60] grès inférieurs des Tassilis, schistes alunifères à Graptolites, grès supérieurs des Tassilis, qu'il rapportait à des systèmes : Ordovicien (Silurien de la nomenclature française de l'époque), la présence de Cambrien à la base de ces grès lui paraissant déjà peu probable, Silurien (Gothlandien de la nomenclature française de l'époque), Dévonien, faisant parfois appel au faciès : grès à colonnettes (unité III, formation grésio-argileuse de l'Oued In Tahouite de la nomenclature actuelle) [10]. L'âge précis de ces unités était rarement évoqué, à l'exception du celui de l'extrême base du Silurien (Gothlandien) pour des argiles dans la région de l'Oued In Djerane [61, 62], ce qui sera par la suite totalement oublié [80], ou celui du gisement de Tioukeline, qui pose déjà le problème de la validité des biozones [63] et, en fait, celui des erreurs de détermination. Dans le

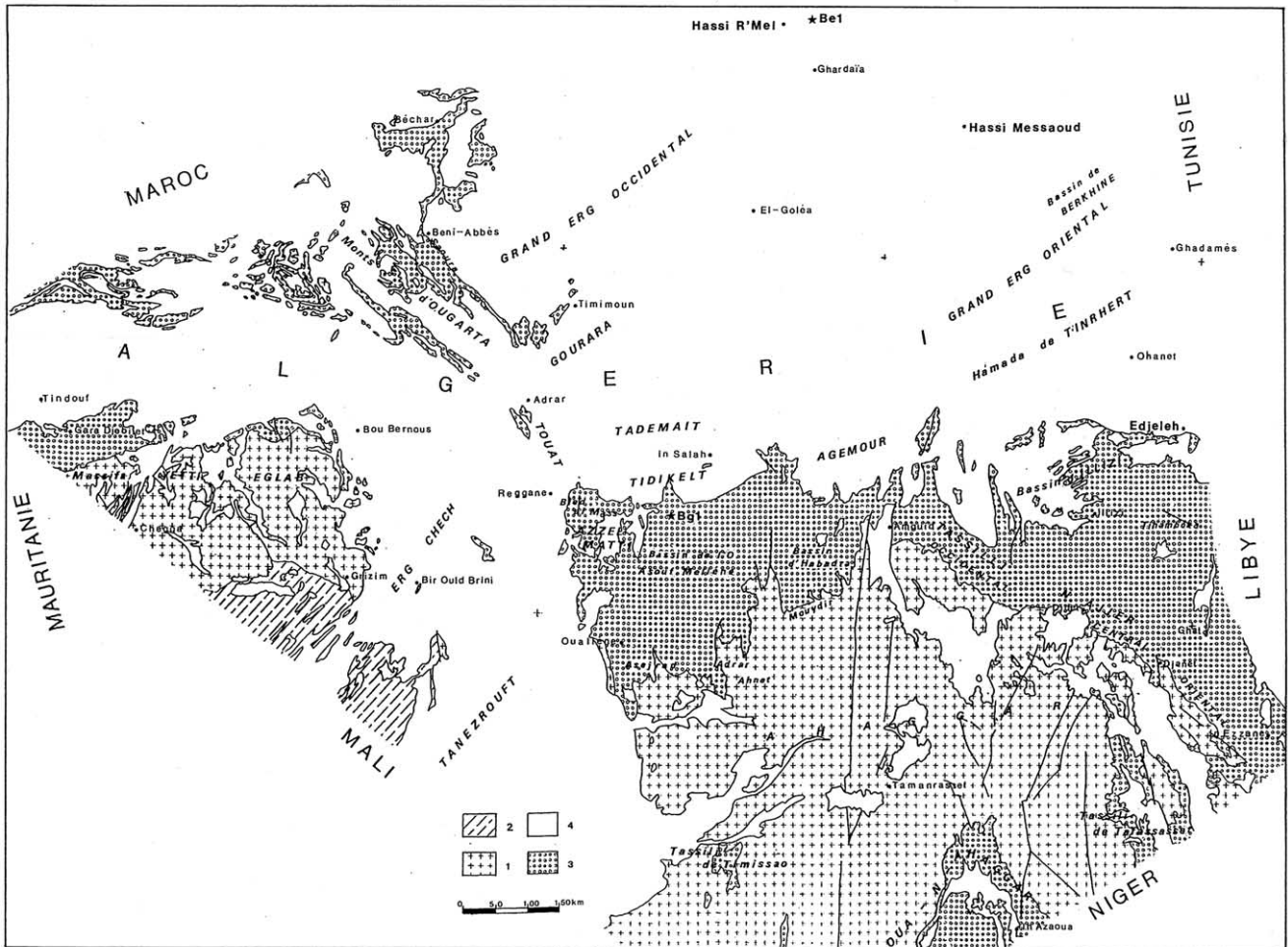


Fig. 1. Carte de position des débuts de l'exploration pétrolière du Sahara algérien (extrait de la carte géologique de l'Afrique de l'Unesco au 1:5 000 000, 1963, modifiée). Légende : 1, Précambrien ; 2, Précambrien terminal (?) et Cambro-Ordovicien du bassin de Taoudeni ; 3, Paléozoïque ; 4, Post-Paléozoïque.

Fig. 1. Geological map of the Algerian Sahara (from the UNESCO geological map of Africa at the scale 1:5 000 000, 1963, modified) with the location of the first exploratory wells and discoveries. Legend : 1, Precambrian ; 2, Late Precambrian (?) and Cambro-Ordovician of the Taoudeni Basin ; 3, Palaeozoic ; 4, Post-Palaeozoic.

Sud du bassin d'Illizi (fort de Polignac), faisant suite aux premières investigations de Foureau [43], puis de Menchikoff [111], de Lapparent et Lelubre [66] avaient reconnu un certain nombre de séries : série d'Assekhaï-faf, de Bourharhet, de Tiguentourine, de Zarzaitine et de Taouratine, de nature imprécisée, rapportées au Viséen pour les deux premières, un âge Moscovien étant envisagé ensuite pour la seconde [65].

En revanche, on était réduit à des hypothèses sur ce que l'on pouvait rencontrer en forage dans les bassins sahariens.

2.2. La période 1952–1957

La dynamique du 19^e Congrès géologique international va se poursuivre avec :

– en 1956, la parution du fascicule IV 2 du *Lexique stratigraphique international*, traitant du Sahara algérien [19] ;

– la poursuite des missions de terrain organisées par le Centre de recherches sahariennes et le Service hydraulique en Algérie, avec les travaux de Gevin, Freulon, Pareyn, Petter et Lessard, qui seront publiés au cours de la période suivante.

C'est aussi la période des grandes missions de terrain des compagnies pétrolières. Sous l'impulsion de la CFP(A) [11, 12] et de la CPA, en particulier, le langage évolue et la distinction entre étage et formation se généralise. Un certain nombre de formations, toujours en usage, sont alors définies.

Mais c'est surtout la période des premiers forages profonds (Berriane 1, commencé le 31 octobre 1952),

des premiers encouragements (découverte de gaz de Berga 1 en 1954), puis, coup sur coup, celle des découvertes, en 1956 (champs d'Edjeleh dans le Dévonien inférieur, d'Hassi Messaoud dans le Cambrien et d'Hassi R'Mel dans le Trias).

Ces découvertes entraînent plusieurs conséquences du point de vue stratigraphique :

- elles créent la nécessité de disposer d'une stratigraphie de subsurface pour tous les terrains traversés depuis la surface jusqu'aux horizons visés ;
- elles entraînent un changement, au moins partiel, des objectifs dans les bassins nord-sahariens, et donc la nécessité d'étudier leurs équivalents sur le terrain quand cela est possible ; le Cambro-Ordovicien devient la série à étudier aux dépens du Dévonien inférieur, qui n'a pas répondu aux espoirs ; il n'est malheureusement pas possible d'en faire autant pour le Trias, qui n'affleure que partiellement, très au sud (série de Zarzaitine, Tinrhert) ;
- un plus grand détail dans la stratigraphie du bassin d'Illizi (fort de Polignac) devient nécessaire.

2.3. La période 1957–1963

Pour répondre aux problèmes évoqués ci-dessus, d'importantes études sont entreprises, tandis que les méthodes géophysiques se perfectionnent et que de nombreux forages sont réalisés, d'autant que de nouveaux permis ont été attribués. Une quantité de nouvelles données parviennent, qu'il faut tenter d'organiser.

Pour ce qui est de la couverture cénozoïque et mésozoïque, une échelle stratigraphique informelle, à peu près commune aux différentes compagnies, est utilisée, qui, malheureusement, mêle formations et étages, sans grande base biostratigraphique. Ceci perdurera jusqu'à aujourd'hui, rendant douteux, à notre avis, nombre de reconstitutions paléogéographiques et schémas d'évolution paléotectonique.

Des résultats sont publiés sur les séries primaires du bassin d'Illizi [45]. Les déterminations paléontologiques, souvent prématurées, donnent des résultats de qualité variable et la référence aux étages standards est alors habituelle [17, 123, 124]. En revanche, l'étude plus fine du Dévonien moyen et supérieur du bassin d'Illizi conduit à une lithostratigraphie détaillée, mais imparfaite, qui restera inachevée [73]. En forage, les principaux réservoirs rencontrés sont numérotés (B0 à B14 puis D0 à D8 dans le Carbonifère et F2 à F6 dans le Dévonien), les dénominations du terrain ou des termes assez larges étant utilisées par ailleurs.

Les compagnies pétrolières, qui s'échangent déjà régulièrement des informations confidentielles selon des règles précises, décident de mettre en commun

leurs connaissances stratigraphiques et, sous l'égide du BRP, organisent des colloques de stratigraphie saharienne. Ainsi a lieu en septembre 1959 un colloque consacré au système Carbonifère et en mai 1960 un autre colloque, consacré au Silurien et au Dévonien. Les divergences quant aux concepts de base rendent souvent la communication difficile.

L'âge Cambrien du réservoir du champ d'Hassi Messaoud conduit aux premières études détaillées des grès des Tassilis internes sur la bordure de l'Ahaggar, jusque là négligés, car supposés trop profonds dans les bassins sahariens. Ainsi se trouvent définies les désormais fameuses unités I, II, III IV et décrite la « discordance de ravinement » entre les unités III et IV, tandis que les premières faunes y sont trouvées [6, 16, 87, 99]. Il est pensé que ces unités se retrouvent dans tous les bassins sahariens et même au-delà [9], mais les corrélations lithostratigraphiques ainsi proposées seront contredites ultérieurement du point de vue biostratigraphique.

Parallèlement, dans les bassins sahariens, une stratigraphie de l'Ordovicien, insoupçonnée à l'affleurement, exception faite des monts d'Ougarta [52], est édifiée [86]. L'utilisation de la lithostratigraphie devient la règle, les faunes très rares ne venant donner que des indications ponctuelles. Cependant, l'existence du Trémadocien, parfois mise en doute, se révèle hautement probable [67], puis est démontrée jusque dans son terme le plus inférieur [4], de même que pour l'Arénigien supérieur, le Llanvirnien et le Caradocien.

Par ailleurs, les études concernant le Silurien supérieur [134] et la limite Silurien–Dévonien se poursuivent [68].

Les premières études de Chitinozoaires et d'Acritarques apparaissent [33, 58].

L'ensemble des recherches fait l'objet d'un deuxième colloque de stratigraphie saharienne consacré au Cambro-Ordovicien (1962), dont l'un des résultats sera la publication de l'*Essai de nomenclature lithostratigraphique du Cambro-Ordovicien saharien* [10].

Entre-temps, aux extrémités du Sahara algérien, est décrite la série paléozoïque de la partie méridionale du bassin de Tindouf [48] ainsi que celle du Tassili Oua-n-Ahaggar [100]. Dans les deux cas, ces études se réfèrent à la stratigraphie standard (sauf pour ce qui est du Cambro-Ordovicien).

Cette période voit aussi s'achever l'étude des massifs carbonifères du Sahara sud-oranais [116]. La succession des terrains est découpée en séries, elles-mêmes divisées en étages. Les limites de ces unités sont des bancs-repères et sont donc de nature lithostratigraphique, mais leur contenu paléontologique est associé dans leur définition, ce qui rend leur nature imprécise.

Cependant, comme pour les céphalopodes du Dévonien dont les monographies paraissent [120, 121], les Goniaites permettent pour le Carbonifère d'établir des biozones et de reconnaître Viséen supérieur et Namurien inférieur (Serpukhovien de la nomenclature actuelle) [116]. Une première synthèse des apports de la micro-paléontologie à la stratigraphie du Carbonifère marin est proposée ; l'attention est attirée sur la présence de microfaunes analogues à celles des étages Bashkirien et Moscovien de Russie [102]. Le Carbonifère supérieur continental est également étudié [31, 40]. Enfin, une première description complète du Carbonifère du bassin d'Illizi est donnée [34].

2.4. La période 1964–1971

D'abord, les résultats des missions des compagnies pétrolières, effectuées à la fin de la période précédente, sont diffusés. Ils intéressent principalement le Silurien et le Dévonien de la région de Béchar [54] et du Tassili n'Ajjer [35, 36, 72] : étages standards et unités lithostratigraphiques se mêlent, selon les auteurs et les systèmes étudiés. Différentes approches de la stratigraphie donnent lieu à discussions, en particulier en ce qui concerne la parastratigraphie [128] et la notion d'étage régional [69].

Cependant, l'accent est surtout mis sur la sédimentologie et ceci depuis plusieurs années. Ainsi est née la Mission sédimentologique sur la couverture sédimentaire du Bouclier saharien, qui va être réalisée pour l'essentiel par les géologues de l'IFP et de l'IAP et sera financée par diverses compagnies pétrolières. Bien qu'une meilleure stratigraphie ne fasse pas partie des objectifs, les résultats sédimentologiques obtenus seront essentiels, du fait de la rareté des fossiles. Cette période se terminera d'ailleurs par la publication du travail désormais classique sur les grès du Paléozoïque inférieur du Sahara [3].

Au sujet du Cambrien, les études de terrain et les mesures géochronologiques âprement discutées conduisent peu à peu à admettre un âge au moins Cambrien inférieur pour diverses « Séries intermédiaires » [14, 15].

Au sujet de l'Ordovicien, on peut noter la datation Arénigien inférieur de la partie moyenne de l'unité II (Vire à Mouflon) des grès des Tassilis internes de la bordure de l'Ahaggar [70] et celle de la présence du Trémadocien inférieur dans les monts d'Ougarta [71]. Mais c'est surtout l'attribution de l'unité IV des grès des Tassilis internes à une glaciation qui est le fait majeur [29], bien que son âge doive rester longtemps incertain.

Pour ce qui est du Silurien, on assiste à un regain d'intérêt en diverses régions : monts d'Ougarta, rebord

méridional de la synclise de Tindouf [74] et dans les Tassilis occidentaux [75]. Ainsi est peu à peu mis en évidence le fait que certaines séries gréseuses de l'enceinte tassilienne, classiquement attribuées au passage Silurien–Dévonien, sont en fait d'âge Wenlock supérieur. La paléogéographie du Silurien inférieur commence à être reconsidérée. Enfin, une coupe type de la limite Silurien–Dévonien est proposée [76, 79], la limite des deux systèmes ayant été enfin définie [107, 108].

À l'occasion du symposium international de Calgary, en 1967, une synthèse du Dévonien est tentée, mais le plus souvent, on doit se limiter à une lithostratigraphie hétérogène et la biostratigraphie se révèle trop lâche, obligeant à raisonner en termes d'associations faunistiques [73].

Cependant, les méthodes palynologiques (s.l.) progressent, mais leur mise en œuvre ne se fait pas toujours dans les meilleures conditions, le besoin de résultats immédiats l'emportant souvent sur la logique de la démarche (carottage continu, calage par macrofaune, etc.). Malgré cela, une approche de la limite Cambrien–Ordovicien est esquissée [18], une zonation se met en place pour le Siluro–Dévonien et le Dévonien inférieur du Grand Erg occidental [104], puis du Tinrhert, associée à une lithostratigraphie [56], ainsi que pour le Dévonien supérieur et le Carbonifère du Grand Erg occidental [64].

Enfin, la stratigraphie du Carbonifère, pour un temps délaissée, est de nouveau étudiée par des géologues du CRZA et des universités, d'autant que la définition des étages du système évolue. Si les « séries » (*sensu* Pareyn) demeurent, les « étages » deviennent plus correctement des formations divisées en membres, sans qu'une signification biostratigraphique en soit totalement absente [117]. Le Tournaisien inférieur est mis en évidence dans la Saoura [26] et le Bashkirien supérieur au jebel Béchar [88, 95]. La révision des macrofaunes est entreprise par Legrand-Blain [89]. Une coupure majeure (avec paléokarst et chenaux), dont l'écho se fait sentir jusqu'au Sahara central [24], est mise en évidence au sein du « Namurien inférieur » de Béchar [117]. Pour la première fois, il est fait mention au Sahara de la limite globale « médio-carbonifère », qui y sera précisée ultérieurement [106, 132]. Les séries continentales d'âge Permo-Carbonifère attirent l'attention [37].

2.5. La période 1972–1985

La stratigraphie ne constitue plus une préoccupation majeure. Les données sont précisées au voisinage de la limite Cambrien–Ordovicien [77] et des recherches sont entreprises sur la limite Ordovicien–Silurien [80,

83]. Deux essais de paléogéographie concernant le Paléozoïque inférieur sont proposés [78, 81]. Le Carbonifère fait exception, aussi bien pour ce qui est de la région de Béchar [96, 97, 113] que pour le Sahara central [20–23]. Une importante monographie est consacrée aux Tétracoralliaires du Sahara occidental par Semenoff-Tian-Chansky [127], et une autre aux Brachiopodes ainsi qu'à leur environnement par Legrand-Blain [91]. Foraminifères [103] et Conodontes continuent d'être étudiés, permettant, par exemple, la mise en évidence du Moscovien dans le bassin de Reggane [25] et d'une extrême condensation des étages dans les chaînons au nord de Béchar [98, 133]. Des recherches palynologiques sont entreprises dans le bassin d'Illizi [2] et les restes de végétaux étudiés [93].

Au début de cette période paraît le premier manuel de géologie du Sahara algérien par Fabre [38]. Puis une nouvelle édition du *Lexique stratigraphique international*, consacré à l'Afrique de l'Ouest, est réalisée également sous l'impulsion de Fabre [55] : elle comprend

des articles de synthèse et la définition nouvelle ou révisée d'un grand nombre d'unités stratigraphiques.

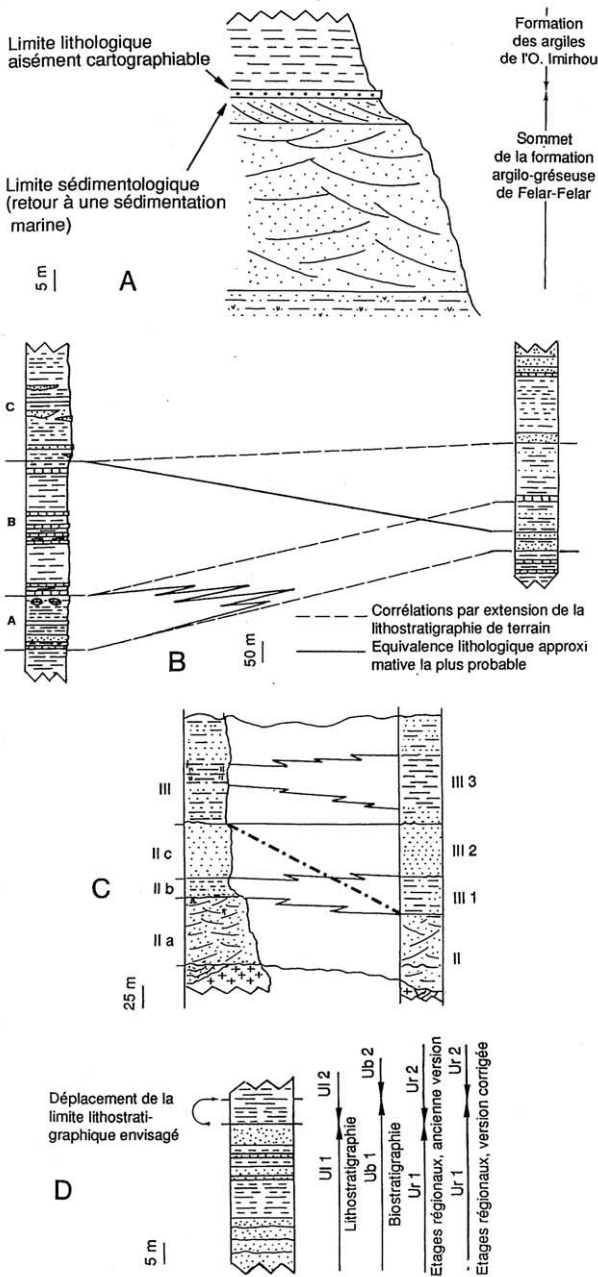
Enfin est imprimée une synthèse de la stratigraphie du Paléozoïque inférieur algérien écrite en 1971, révisée en 1975, mais dont plusieurs parties étaient déjà parues ailleurs, et qui, bien sûr, était déjà obsolète sur de nombreux points [82].

2.6. De 1985 à nos jours

Depuis 1985, la lithostratigraphie du Paléozoïque saharien a peu évolué, bien que des ajustements ou de nouvelles successions locales soient sans doute nécessaires dans des régions en cours d'exploration. En revanche, la biostratigraphie a fait des progrès importants, malheureusement encore très ponctuels. Ainsi dans l'Ordovicien, la « palynologie » apporte des précisions intéressantes, dans certains cas [115]. L'étude des graptolites permet de préciser la limite Ordovicien–Silurien et la paléogéographie pour cette période charnière pour le Sahara algérien [84, 85]. Les Chitinozoai-

Fig. 2. Schémas simplifiés de quelques difficultés rencontrées dans l'élaboration d'une lithostratigraphie. **A.** Choix d'une limite entre deux unités lithostratigraphiques (exemple inspiré par la définition des unités lithostratigraphiques au voisinage de la limite Ordovicien–Silurien, Tassili N'Ajjer central). On a à choisir entre le toit du banc de grès aisément « cartable » et la base du banc de grès, marquant le retour à une sédimentation marine franche. **B.** Danger de l'utilisation d'une lithostratigraphie définie sur le terrain pour interpréter les sondages (exemple inspiré par les difficultés rencontrées dans l'utilisation de la lithostratigraphie définie dans les monts d'Ougarta à la base du Dévonien pour l'interprétation des forages du Grand Erg occidental). On a d'abord cru retrouver en forage (à droite) les unités A, B, C du terrain (à gauche). Il est apparu par la suite que A disparaît par variation de faciès, puis que l'équivalent des unités A, et B disparaissait, au moins en partie, par non-déposition ou érosion. **C.** Prise en compte insuffisante de la position des affleurements par rapport au bassin (exemple inspiré par les affleurements des Grès des Tassilis internes au Tassili N'Ajjer et l'évolution des faciès en allant vers le bassin d'Illizi). La signification de l'unité II b, plus silteuse, a échappé et l'équivalence lithostratigraphique a été tracée selon la ligne en tirets ; en fait, le terme III 1 des forages, plus au centre du bassin, apparaît être l'équivalent du terme II b du terrain plus littoral. **D.** Tentation de déplacement d'une limite lithostratigraphique en raison d'une nouvelle donnée biostratigraphique (exemple inspiré du problème des argiles intermédiaires dans le Sahara septentrional au contact Ordovicien–Silurien). La limite lithostratigraphique entre les unités U1 1 et U1 2 est placée par définition au toit du banc de grès. Une étude biostratigraphique montre que, pour le groupe de fossiles étudié, la coupure entre les deux unités biostratigraphiques Ub 1 et Ub 2 se situe un peu plus haut. On est tenté de déplacer la limite lithostratigraphique pour l'ajuster. En fait, c'est le toit de l'étage régional Ur 1 qu'il convient de déplacer, si l'on veut tenir compte de ce résultat biostratigraphique.

Fig. 2. Sketches of some difficulties met in the elaboration of a lithostratigraphy. **A.** Choice of a limit between two lithostratigraphic units (example inspired by the definition of the lithostratigraphic units near the Ordovician–Silurian boundary, central Tassili N'Ajjer). The choice is between the top of the easily mapped sandy bed and the base of this sandy bed, indicating the beginning of a frankly marine sedimentation. **B.** Danger to use a lithostratigraphic column, defined on the field, to interpret the exploration wells (example inspired by the problems met with the use of the lithostratigraphy of Ougarta Mountains, near the base of Devonian to interpret the exploration wells of the 'Grand Erg Occidental'). At first, it has been thought to recognise in the wells (on the left), the units A, B, C of the outcrops. It appeared after that the unit A disappeared by change of facies, then that the equivalent of the unit A and the unit B disappeared, at least in part, by no-deposition or erosion. **C.** Inadequate taking into account of the setting of the outcrops in comparison with the basin (example inspired by the outcrops of the Inner Tassili sandstone, Tassili N'Ajjer, and the change of facies to the Illizi Basin). The meaning of the siltier unit II b has not been seen and the lithostratigraphic correlation has been drawn as the dash line. In fact, the unit III 1 of the exploration wells in the basin (on the right) is the equivalent of the unit II b of the siltier outcrops (on the left). **D.** Temptation to move a lithostratigraphic limit, because a new biostratigraphic result (example inspired by the problem of the intermediate shales in the Northern Sahara near the Ordovician–Silurian contact). The lithostratigraphic limit between the units U1 1 and U1 2 is, by definition, at the top of the sandy bed. A biostratigraphic study shows that for this group of fossils under consideration the break between the units Ub 1 and Ub 2 is a little higher. It is tempting to move the lithostratigraphic limit to have the fit. In fact, this is the top of the regional stage Ur 1 that must be moved if the biostratigraphic result has to be taken into account.



res du Silurien supérieur et du Dévonien sont étudiés par Boumendjel, [7] ainsi que les Acritarches et les spores par Abdesselam-Rouigi [1]. Des précisions sont également apportées dans la biostratigraphie des Monts d'Ougarta [8, 51]. La série dévonienne de la région de Gara Djebilet est revisitée [5]. Enfin, de nombreuses études sont consacrées au Carbonifère [114], à sa macrofaune [92], mais en particulier aux microfaunes [50, 105, 126] et à la palynologie [27, 28, 101]. La place des séries sahariennes dans l'ensemble de l'Afrique est esquissée par Fabre [39]. Un premier essai

d'analyse séquentielle du Paléozoïque saharien a été présenté par Fekirine et Abdallah [41].

3. Les problèmes rencontrés

Il est classique, dans la littérature anglo-saxonne, depuis les travaux de Schenck et Müller [125] de distinguer trois types d'unités pouvant servir à l'élaboration d'une échelle stratigraphique :

- les unités lithostratigraphiques (*rocks units*) ;
- les unités biostratigraphiques (*biostratigraphic units*) ;
- les unités chronostratigraphiques (*time-rock units*).

C'est l'usage de ces types d'unités dans l'élaboration de la stratigraphie du Paléozoïque saharien dont il sera question ici, mais aussi de leur insuffisance, qui conduit à l'utilisation des étages régionaux.

3.1. Lithostratigraphie

La distinction claire des différents types d'unités énoncées ci-dessus n'est pas dans la tradition française, comme le montre le simple examen des légendes de la carte géologique de France au 1:80 000. L'usage de la lithostratigraphie, reconnue comme telle, n'était pas du tout courant en 1952, comme on l'a vu dans notre bref historique. La généralisation des noms de formation ne fut jamais complètement réalisée pour ce qui est du Mésozoïque et du Cénozoïque et fut même très combattue par Busson, en réaction à une stratigraphie dite « divisée » [13]. Cependant, on peut craindre que le mélange d'unités lithostratigraphiques et d'unités chronostratigraphiques soit à l'origine d'erreurs dans la compréhension de l'histoire postpaléozoïque du Sahara (sédimentologie, tectonique, etc.).

Si l'usage de la lithostratigraphie devint plus fréquent pour le Paléozoïque, l'expérience mit en évidence un certain nombre d'erreurs à ne pas commettre (Fig. 2), telles que :

- le manque de précision dans la définition du toit et du mur de l'unité – il apparaît à l'usage que cette précision est indispensable, que ce soit sur le terrain (coupe de référence avec limite matérialisée), ou en sondage (forage de référence, diagraphie utilisée, numéro de l'enregistrement, etc.) ; tous ces choix doivent résulter, si possible, d'un travail concerté et demandent beaucoup plus de soins qu'on ne l'imagine ; la facilité d'utilisation doit rester, à notre avis, un facteur décisif, sans pour autant contredire la logique ;
- l'ambiguïté des caractères multiples, qui peuvent paraître associés et se révéler divergents quand on s'éloigne de la région de la définition ; il faut toujours préciser caractères déterminants et caractères secondaires ;

- la trop grande extension géographique donnée à une formation – ceci peut conduire, non plus à une variation d'âge entre deux points, ce qui est normal, mais à désigner sous le même nom deux ensembles totalement séparés, d'âges éventuellement différents, d'où il résultera des conclusions erronées ; la discontinuité dans l'enregistrement sédimentaire est, dans l'ensemble, un phénomène très sous-estimé, qui rend plus incertains qu'on ne l'imagine bien des raisonnements stratigraphiques ; il est rare d'ailleurs que, si les critères de base et de sommet ont été suffisamment précisés, ils puissent être utilisés sur une très grande distance ;
- l'utilisation en sondage d'une lithostratigraphie définie à l'affleurement ou vice versa ; à moins d'une très grande proximité, les risques d'erreurs sont très grands de désigner sous le même nom deux unités totalement différentes ; les critères de base et de sommet n'étant pas le plus souvent les mêmes, il est illogique de vouloir les utiliser dans les deux cas ; en outre, en de nombreuses occasions, l'existence même d'affleurements peut être liée à un contexte géologique, qui ne se retrouve pas là où l'on fore, tandis que les séries rencontrées peuvent ne pas être simplement comparables (par exemple, passage d'un rebord de bassin au bassin lui-même) ;
- le déplacement d'une limite de formation pour la faire correspondre avec un résultat biostratigraphique ; ce changement, qui apparaît souhaitable ponctuellement, a des effets le plus souvent négatifs à long terme ; du fait de l'évolution des faciès, il est illogique de vouloir faire cadrer lithostratigraphie et biostratigraphie ; il y a intérêt à considérer comme très rigides les limites lithostratigraphiques (d'où un usage facile et immédiat) et à résoudre en termes d'étages régionaux (voir ci-dessous) le problème évoqué.

Finalement, on aboutit à des successions de formations et de membres par région pour les différents systèmes dont des tableaux montreront les équivalences plus ou moins assurées. Celles-ci peuvent se confirmer ou s'infirmes avec l'accroissement des connaissances. Si la simplification est souhaitable, il faut rester très prudent si l'on ne veut pas créer de faux problèmes.

3.2. Biostratigraphie

3.2.1. *Rareté des faunes*

Le plus important obstacle à l'élaboration de la biostratigraphie du Sahara algérien est la rareté des faunes. Les premières faunes certaines apparaissent en forage au Cambrien supérieur (?), mais, sur tout le pourtour de l'Ahaggar, elles sont, soit inexistantes, soit rares, à l'exception parfois des graptolites au Silurien, quoique la biodiversité reste même alors très faible. Dans le Dévonien et le Carbonifère, les niveaux signi-

ficatifs restent peu nombreux. Naturellement en forage, donc dans les bassins, leur observation est liée à la prise de carottes, l'échantillonnage est alors limité. La micropaléontologie et la « palynologie » peuvent intervenir sur les *cuttings*, mais non sans danger, et seulement si la succession régionale est déjà bien connue, ce qui n'était pas le cas à l'origine.

3.2.2. *Associations et biozones*

On constate que dans les premières années, seules les zonations par graptolites et Goniatites furent invoquées, mais très vite un doute s'instaura sur les zones par graptolites ou plus exactement sur leur conformité avec les zones des îles Britanniques [62, 122], et cette idée fut longue à être abandonnée [81, 82]. Les autres fossiles furent référés directement à un étage standard. Pour réagir à cette approche, deux voies complémentaires furent suivies. D'abord, la notion d'association faunistique déjà introduite pour les Brachiopodes carbonifères de Béchar par Pareyn [116], seule défendable pour des données discontinues, fut reprise avec un succès variable, mais réel, par exemple au début en palynologie, bien que sous le nom de zone [57]. Elle fut aussi utilisée dans un premier temps pour les graptolites [75] et les Brachiopodes ordoviciens [77, 78, 82]. Ensuite des zones, plus précises, propres au Sahara, ou à une région du Sahara, furent reconnues pour les graptolites [81, 82, 83], certains Brachiopodes de l'Ordovicien [82], du Carbonifère [91], ainsi qu'en « palynologie » [64, 104, 118].

On peut noter que ces zones ont tendance, dans l'ensemble, à être des zones d'extension verticale et non d'assemblage plus proche des associations, ce qui ne va pas sans poser des problèmes de comparaison à l'échelle internationale, par exemple pour les graptolites.

3.2.3. *Importance de la qualité des déterminations*

Cette qualité est fondamentale, aussi bien pour utiliser les zonations standard ou considérées comme telles, que pour définir une zonation locale. Dans une région nouvellement explorée, il est normal que l'on rencontre un certain nombre de nouveaux taxons. Devant ces spécimens, différentes attitudes sont possibles. On peut attribuer les spécimens considérés à un taxon dont ils semblent se rapprocher. C'est ce qui fut fait pour les Graptolites du Silurien et conduisit à admettre l'existence d'associations différentes de celles qui étaient connues ailleurs, d'où une mise en doute de leur valeur chronostratigraphique. On aboutit au même résultat, avec des erreurs de détermination. On peut aussi admettre qu'il s'agit de nouvelles espèces qu'il faudra d'abord bien définir pour un usage local puis, à un deuxième stade, comparer à d'autres espèces, dont on

découvrira trop souvent qu'elles sont elles-mêmes fort mal étudiées ou depuis trop longtemps, et qu'il faudrait commencer par les réviser (par exemple, de nombreux Brachiopodes du Carbonifère inférieur de Belgique).

Tout ceci montre l'importance de la phase « biostratigraphie » dans l'élaboration d'une stratigraphie et d'une biostratigraphie régionale qui évite les pièges des comparaisons lointaines et la rende beaucoup plus vite « opérationnelle » à l'échelle d'un bassin. Par exemple, au Sahara algérien, on put ainsi identifier très vite le premier terrain rencontré sous la discordance hercynienne, ce qui n'allait pas parfois sans des surprises. Cependant, cette phase est continue, lente dans ses résultats ultimes, et n'interviendra alors vraiment que dans une période de maturation. Toutefois, elle n'a rien d'académique et on ne peut qu'être très inquiet devant le peu d'intérêt qu'elle suscite.

3.3. Corrélations. Chronostratigraphie régionale et standard

3.3.1. Corrélations

On peut désigner sous le terme de corrélation un grand nombre d'opérations différentes. Nous ne considérons ici que celles qui s'appuient sur la paléontologie dans un but chronologique. La plus simple de ces corrélations s'appuie sur la présence du même fossile en deux points ; celle-ci n'aura toutefois une valeur chronologique que si la durée de la présence de l'espèce dans le bassin est courte. Il est amusant de constater qu'en ce cas, la rectitude de la détermination n'intervient pas, mais seulement l'identité, et que le même fossile simplement numéroté (ce qui fut fait dans les premiers temps de la « palynologie ») peut convenir, ou même qu'une erreur de détermination semblable en deux points peut conduire à une corrélation exacte (ce fut le cas au Sahara, où le même *Mon. hercynicus* déterminé de façon erronée comme *Mon. riccartonensis* donne une corrélation exacte et importante entre les monts d'Ougarta et l'un des premiers forages, celui d'El Golea 1 (à côté de l'oasis du même nom). Cependant, la qualité de la détermination et de la corrélation marchent généralement de pair. Cela devient plus complexe quand il s'agit de deux faunes différentes, du fait de facteurs paléocéologiques ou paléogéographiques (par exemple, les faunes ordoviciennes des Tassilis et celles des bassins sahariens, ou les graptolites Ordovicien–Silurien du Tassili N'Ajjer oriental et du Tassili Oua-n-Ahaggar). On est alors obligé de rechercher les faunes intermédiaires ou de passer par la comparaison avec des faunes d'un domaine externe. Ce qui est admissible pour des faunes pélagiques (à condition que les communications existent) devient beaucoup plus aléatoire pour des faunes benthiques. Dire

que deux niveaux de Brachiopodes de composition différente sont du même âge Givétien, parce que livrant deux faunes qui ailleurs sont d'âge Givétien, revient en fait à corrélérer deux points distants, par exemple de 200 km, en faisant un détour par un ou deux points distants d'un millier de kilomètres. La détermination de l'identité des faunes et de l'âge véritable des faunes invoquées peut nécessiter un important travail. La corrélation directe, peut-être sans valeur mondiale, doit être recherchée chaque fois que cela est possible.

Dans le cas particulier de l'étude du Sahara algérien, des difficultés historiques supplémentaires militaient pour cette approche. En effet, en 1952, aucun système paléozoïque n'était clairement défini, ni même d'ailleurs un grand nombre d'étages. Par exemple, la limite Silurien–Dévonien au voisinage de laquelle d'éventuels réservoirs gréseux constituaient l'un des objectifs principaux ne sera définie qu'en 1972. De ce fait, la plus grande confusion régnait sur l'âge qu'il convenait d'attribuer à un grand nombre de fossiles cités dans la littérature plus ou moins ancienne, soit comme siluriens, soit comme dévoniens. Officiellement, il n'existait pas de graptolites au Dévonien (à l'exception de quelques dendroïdes), alors que la limite Silurien–Dévonien se trouve aujourd'hui au contact de la zone à *Mon. uniformis* sur la zone à *Mon. transgrediens*. D'autres groupes (Conodontes, Ostracodes, Tentaculites) commençaient seulement à fournir des indications. De même, la limite Ordovicien–Silurien, en étroite liaison avec les potentialités des grès finals de l'Ordovicien, ne sera-t-elle fixée qu'en 1985. Enfin, celle du Cambro-Ordovicien n'a été arrêtée qu'en 2000, ce qui fait que toute prétention à définir cette limite au Sahara avant cette date est abusive. Nombre d'étages standard furent ou sont encore dans le même cas. C'est d'ailleurs l'un des avantages des étages régionaux évoqués ci-dessous ; ils permirent de progresser à l'intérieur du domaine saharien avant la fixation de certaines limites.

Les difficultés engendrées par les erreurs de détermination ne furent pas moins nombreuses. Un exemple en est fourni par *Productus cora* d'Orbigny du Permien de Bolivie. Des spécimens de *Productus* ayant été récoltés par Foureau en 1894 [43] dans le bassin d'Illizi, ils furent attribués à *Productus cora* par Munier-Chalmas, ce que reprit Haug [53], qui en déduisit fort logiquement la présence de l'« Ouralien » au Sahara algérien. Toutefois, ceci conduisait à une stratigraphie si différente entre l'ouest et l'est saharien que cela incita Menchikoff [111] à réexaminer la coupe de ces séries orientales. L'âge Carbonifère des terrains concernés fut démontré, sans que pour autant la détermination de *P. cora* soit remise en doute, puisque l'espèce était signalée à la même époque dans le Viséen d'Europe

[32]. On sait maintenant que toutes ces attributions sont erronées, et même qu'il doit exister plusieurs taxons différents au Sahara, tous cités par le passé sous le nom de *P. cora*.

Un autre exemple est fourni par la détermination erronée de faunes du Tassili N'Ajjer occidental, attribuées au Lochkovien, alors qu'elles sont d'âge Wenlockien supérieur, ce qui modifie profondément le schéma paléogéographique des systèmes Silurien et Dévonien au Sahara.

3.3.2. Chronostratigraphie standard

Comme on a pu le constater tout au cours de cet exposé, il y eut une tentation permanente de rapporter les terrains rencontrés à la stratigraphie standard. Cela partait souvent d'une volonté et d'une nécessité de dépasser le stade de la lithostratigraphie, mais, venant trop tôt, ces attributions eurent souvent un effet négatif et durable, d'autant que les idées préconçues remplaçaient parfois les preuves paléontologiques. Les erreurs de détermination évoquées ci-dessus concernant les faunes attribuées au Lochkovien au Tassili N'Ajjer occidental furent induites par le fait que tout le monde était persuadé, à la suite de Kilian, que les premiers grès au-dessus des argiles siluriennes ne pouvaient que représenter le passage du Silurien au Dévonien et que personne n'envisageait qu'un événement important ait pu se produire au Wenlock supérieur.

À l'heure actuelle, si la présence d'un certain nombre d'étages est bien assurée au Sahara, la position de leurs limites dans de nombreuses régions reste incertaine, et peut-être pour longtemps, en particulier du fait de l'absence de certains groupes fossiles essentiels, comme les Conodontes dans des faciès trop littoraux.

3.3.3. Chronostratigraphie régionale

En fait, si une certaine confusion a eu tendance à se maintenir entre lithostratigraphie et chronostratigraphie, c'est qu'il y a un vide conceptuel entre les deux. Comment désigner un ensemble de terrains qui se sont déposés pendant une certaine tranche de temps, dont le synchronisme est démontré approximativement par fossiles ou par continuité de bancs remarquables et dont les limites ne correspondent pas forcément à celles des étages standards, mais qui, par leurs limites (discordance ou événements stratigraphiques importants), cons-

tituent une unité dans l'architecture d'un bassin. Ni étage ni formation, c'est ce que nous avons essayé de promouvoir sous le nom d'étages régionaux [69], réunis en sous-systèmes régionaux [78, 81, 82, 84], dans un esprit voisin de celui des unités parastratigraphiques de Sloss [128], mais en y incluant davantage de biostratigraphie. S'appuyant sur les images fournies par la sismique, et intégrant davantage la notion très ancienne de cycle sédimentaire, cela ouvrait la voie, comme l'a montré Sloss [129], à l'analyse séquentielle de Vail et al. [131], qui nous paraît trop dogmatique. Nous pensons que le découpage par étages régionaux, là où il a été proposé, c'est-à-dire pour le Paléozoïque inférieur, amélioré par l'étude sédimentologique, fournit actuellement le meilleur cadre à l'histoire géologique du Sahara. Au-dessus, il reste beaucoup à faire. Cependant, un essai de stratigraphie séquentielle a déjà été proposé pour l'ensemble du Paléozoïque [41]. Il est encore trop tôt pour juger des apports franchement nouveaux de cette approche dans la stratigraphie du Paléozoïque saharien. On peut simplement rappeler, pour sa mise en pratique, l'importance du cadre biostratigraphique dans ce type d'analyse et celle de la détection de discordances souvent très discrètes, et recommander de se défier d'un esprit de système trop rigide.

4. Conclusion

Dans le passé, la stratigraphie n'était pas considérée comme une branche particulière de la géologie, mais comme l'un de ses fondements. En fait, c'est une discipline bien plus difficile à pratiquer qu'on ne se l'imagine et qui doit en outre intégrer aujourd'hui les apports de nombreuses autres branches voisines (sédimentologie, climatologie ou océanographie, actuelles ou passées). Cependant, l'échelle « temps » reste fondamentale, comme pour toute science historique, et ce serait gâcher toutes les nouvelles connaissances connexes évoquées, si elle ne savait maintenir et même améliorer cet outil unique de connaissance du temps (relatif certes) qu'est la biostratigraphie. Devant la mort programmée de la paléontologie stratigraphique des Invertébrés, on ne peut donc être qu'inquiet, non seulement pour la stratigraphie, mais pour toute la géologie.

Remerciements. L'auteur remercie R. Dars et J. Fabre pour leur relecture attentive du manuscrit et J. Riva pour sa révision de toutes les traductions en langue anglaise.

Références

- [1] F. Abdesselam-Rouighi, Spores, Acritarches et Chitinozoaires du Dévonien de la synclise Illizi-Ghadamès (Sahara oriental). Systématique et biostratigraphie. Mise en évidence de lacunes, de pièges stratigraphiques, 1997 thèse, université Houari-Boumediène, Inst. Sci. Terre, Alger, 190 p.
- [2] A. Attar, J. Fournier, A.M Candilier, R Coquel, Étude palynologique du Carbonifère inférieur du bassin d'Illizi (Fort-Polignac), Rev. IFP 35 (1980) 585–618.
- [3] S. Beuf, B. Biju-Duval, O. de Charpal, P. Rognon, O. Gariel, A. Bencef, Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara, Publ. IFP, Coll. « Science et techniques du pétrole », Paris, 1971.
- [4] M. Blain, Découverte de la zone à *Dictyonema flabelliforme* Eichwald dans l'Ordovicien inférieur du Sahara algérien, Bull. Soc. géol. France (7) 5 (1963) 1105–1112.
- [5] L. Bitam, R. Gourvenec, M. Robardet, Les formations paléozoïques anté-carbonifères du sous-bassin de Djebilet (flanc sud du Bassin de Tindouf, Nord-Ouest du Sahara algérien), Mém. Serv. Géol. Algérie 8 (1996) 91–111.
- [6] J. Borocco, R. Nysse, Nouvelles observations sur les « grès inférieurs » cambro-ordoviciens du Tassili interne (Nord-Hoggar), Bull. Soc. géol. France (7) 1 (1959) 197–206.
- [7] K. Boumendjel, Les Chitinozoaires du Silurien supérieur et Dévonien du Sahara algérien, 1987, thèse, université Rennes-1, 181 p.
- [8] K. Boumendjel, D. Brice, P. Copper, R. Gourvenec, H. Jahnke, H. Lardeux, H. Le Menn, J. Melou, M. Morzadek, F. Paris, Y. Plusquellec, P. Racheboeuf, Les faunes du Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie), Ann. Soc. géol. Nord, 2^e série 5 (1997) 89–116.
- [9] BRP, CEP, CFP(A), CPA, CREPS, IFP, SEREPT, S.N. Repal, Contribution à l'étude du Cambrien et de l'Ordovicien du Sahara, C. R. somm. Soc. géol. France (1959) 194–195.
- [10] BRP, CEP, CFP(A), CPA, CPTL, IFP, SEREPT, S.N. Repal, Essai de nomenclature lithostratigraphique du Cambro-Ordovicien saharien, Mém. h.-s. Soc. géol. France, 2, 1964, 54 p.
- [11] P.F. Buroillet, Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale, thèse d'Etat, université d'Alger, 1956, 350 p.
- [12] P.F. Buroillet, Remarques sur la nomenclature stratigraphique, Sciences de la Terre 5 (1957) 117–136.
- [13] G. Busson, Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien, Mém. Mus. nat. Hist. nat. n.s. C XXVI (1972) 1–441.
- [14] R. Caby, Existence du Cambrien à facies continental (« série pourprée », « Nigritien ») et importance du volcanisme et du magmatisme de cet âge au Sahara central (Algérie), C. R. Acad. Sci. Paris 264 (1967) 1386–1389.
- [15] R. Caby, H. Moussu, Une grande série détritique du Sahara : stratigraphie, paléogéographie et évolution structurale de la « Série pourprée » dans l'Asej'rad et le Tanezrouft oriental (Sahara algérien), Bull. Soc. géol. France (7) 9 (1967) 876–882.
- [16] C. Chanut, R. Nysse, Sur une « discordance » de ravinement dans les grès inférieurs de la région d'Amguid et de Takoumbaret (Mouydir), C. R. somm. Soc. géol. France (1958) 102–105.
- [17] J. Chaumeau, P. Legrand, A. Renaud, Contribution à l'étude du Couvinien dans le bassin de Fort de Polignac (Sahara), Bull. Soc. géol. France (7) 3 (1961) 449–456.
- [18] A. Combaz, Un microbios du Trémadocien dans un sondage d'Hassi Messaoud, Actes Soc. Lin. Bordeaux 104, Série B 29 (1968) 1–26.
- [19] Congrès géologique international–commission de stratigraphie, Lexique stratigraphique international, IV 2 Sahara, Afrique occidentale française, et portugaise, CNRS, 77 p.
- [20] J. Conrad, La régression namurienne sur le Nord de la plateforme africaine, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 274 (1972) 2003–2006.
- [21] J. Conrad, L'âge et les modalités de la régression carbonifère au bord nord du synclinal de Tindouf (Sahara occidental), C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 274 (1972) 1780–1783.
- [22] J. Conrad, Les grandes lignes stratigraphiques et sédimentologiques du Carbonifère de l'Ahnet-Mouydir (Sahara central algérien), Rev. IFP 28 (1973) 3–18.
- [23] J. Conrad, Les séries carbonifères du Sahara central algérien. Stratigraphie, sédimentation, évolution structurale, 1984, thèse d'Etat, université d'Aix-Marseille, faculté des sciences et technique Saint-Jérôme, 370 p.
- [24] J. Conrad, M. Legrand-Blain, *Titanaria africana* nov. sp., un nouveau Gigantoprodite du Namurien saharien, Bull. Soc. Hist. Nat. AFN 62 (1971) 107–132.
- [25] J. Conrad, M. Lys, M. Weyant, Mise en évidence du Carbonifère moyen (Moscovien) au Sahara central, bassin de Reggan et conséquences paléogéographiques, Bull. Soc. géol. France (7) 22 (1980) 115–124.
- [26] J. Conrad, C. Pareyn, M. Weyant, Mise en évidence du Tournaisien inférieur dans la vallée de la Saoura (Sahara nord-occidental) et conséquences paléogéographiques, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 271 (1970) 900–903.
- [27] R. Coquel, F. Abdesselam-Rouighi, Révision palynostratigraphique du Dévonien terminal-Carbonifère inférieur dans le Grand Erg occidental (bassin de Béchar, Sahara algérien), Rev. Micropaléontol. 43 (3) (2000) 353–364.
- [28] R. Coquel, S. Latrèche, Étude palynologique de la formation d'Ille-rène (Dévono-Carbonifère) du bassin d'Illizi (Sahara algérien oriental), Palaeontographica B 212 (1989) 47–70.
- [29] J. Debyser, O. de Charpal, O. Merabet, Sur le caractère glaciaire de la sédimentation de l'Unité IV au Sahara Central, C. R. Acad. Sci. Paris 261 (1965) 5575–5576.
- [30] P. Deleau, Les bassins houillers du Sud oranais dans la région de Colomb-Béchar-Abadla, I, Bull. Serv. Carte géol. Alg. (1951) 1–277.
- [31] P. Deleau, Le bassin houiller d'Abadla (sud Oranais), Publ. Serv. Carte géol. Algérie, n.s. 14 (1962) 1–319.
- [32] G. Delépine, Les Brachiopodes du marbre noir de Dinant, Mém. Mus. R. Hist. Nat. Belg. 37 (1928) 1–38.
- [33] J. Deunff, Un microplancton à Hystrichosphères dans le Trémadoc du Sahara, Rev. Micropaléontol. 4 (1961) 37–52.
- [34] P. Dubois, Le Carbonifère marin du bassin de Fort-Polignac, Bull. Soc. géol. France (7) 2 (1960) 94–97.
- [35] P. Dubois, P. Mazelet, Stratigraphie du Silurien du Tassili N'Ajjer, Bull. Soc. géol. France (7) 6 (1964) 586–591.
- [36] P. Dubois, S. Beuf, B. Biju-Duval, Lithostratigraphie du Dévonien inférieur gréseux du Tassili N'Ajjer, Coll. Dév. inf. et limites Rennes, Mém. BRGM 33 (1967) 227–235.
- [37] J. Fabre, Le Paléozoïque terminal à faciès grès rouge au Sahara central et occidental, C. R. 6^e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Sheffield, 1967, II (1970) 737–744.
- [38] J. Fabre, Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines, SNED, Alger, 1976 422 p.
- [39] J. Fabre, Les séries paléozoïques d'Afrique : une approche, J. Afr. Earth Sci. 71 (1988) 1–40.
- [40] J. Fabre, C. Greber, Le Carbonifère continental au nord de Tindouf (Sahara), Publ. Serv. Carte géol. Algérie n.s. 8 (1955) 9–24.
- [41] B. Fekirine, H. Abdallah, Palaeozoic lithofacies correlatives and sequence stratigraphy of the Saharan Platform, Algeria, in: D.S. Macgregor, R.T.J. Moody, D.D. Clark-Lowes (Eds.), Petroleum geology of North Africa, Geol. Soc. London, Spec. Publ. 132 (1998) 97–108.
- [42] J. Follot, Ahnet et Mouydir 19^e Congr. Géol. Intern. Mon. rég. (1) Algérie 1, Alger, 1952, 80 p.
- [43] F. Foureau, Sur la présence du terrain carbonifère dans le Sahara, C. R. Acad. Sci. Paris 119 (1894) 576–579.
- [44] P. Fourmarier, Principes de géologie, 3^e édition, Liège, Vaillant-Carmanne, 1950.
- [45] J.-M. Freulon, Étude géologique des séries primaires du Sahara central, Publ. Centre Rech. Sahariennes (CNRS), sér. Géol. 3 (1964) 1–198.
- [46] E.F. Gautier, Contribution à l'étude géologique du Sahara (Saoura-Gourara-Touat), Bull. Soc. géol. France (4) 6 (1906) 729–766.
- [47] P. Gevin, Série paléozoïque d'Aouinet Legra (Sahara occidental), Bull. Soc. géol. France (5) 18 (1948) 369–381.
- [48] P. Gevin, Études et reconnaissance géologiques sur l'axe cristallin Yetti-Eglab et ses bordures sédimentaires. I. Bordures sédimentaires, Bull. Serv. Carte géol. Alg. n.s. 23 (1960) 1–238.
- [49] M. Gignoux, Géologie stratigraphique, 4^e édition, Masson et C^{ie}, Paris, 1950.
- [50] A.C. van Ginkel, Carboniferous fusulines from the lower part of the Hassi Kerma Formation, Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. 95 (2) (1992) 207–266.
- [51] B. Göddertz, Devonische Goniatiten aus SW-Algerien und ihre stratigraphische Einordnung in die Conodonten-Abfolge, Palaeontographica Abt A 197 (1987) 127–220.

- [52] M. Gomez-Silva, M. Pacaud, F. Wiel, Contribution à l'étude du Cambro-Ordovicien des chaînes d'Ougarta (Sahara algérien), *Bull. Soc. géol. France* (7) 5 (1963) 134–141.
- [53] E. Haug, Documents scientifiques de la Mission saharienne, mission Fourreau-Lamy, Extrait VIII, Paléontologie, *Publ. Soc. Géogr.*, 1905, 751–832, XII–XVII.
- [54] J. Fabre (Ed.), International Union of Geological Sciences, Stratigraphic Commission, Lexique stratigraphique international, n.s., n° 1, Afrique de l'Ouest – West Africa, 1983, 396 p.
- [55] H. Jaeger, D. Massa, Quelques données stratigraphiques sur le Silurien des confins algéro-marocains (Ben-Zireg, Djebel Grouz et régions voisines), *Bull. Soc. géol. France* (7) 7 (1965) 426–436.
- [56] S. Jardiné, L. Yapaudjian, Lithostratigraphie et palynologie du Dévonien–Gothlandien gréseux du bassin de Polignac (Sahara), *Rev. IFP* 33 (1968) 439–468.
- [57] S. Jardiné, A. Combaz, L. Magoire, G. Peniguel, G. Vachey, Distribution des Acritarches dans le Paléozoïque du Sahara algérien, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 18 (1974) 99–129.
- [58] B. de Jekhowsky, P. Taugourdeau, Sur la présence de nombreux chitinozoaires dans le Siluro-Dévonien du Sahara, *C.R. somm. Soc. géol. France* (1959) 17–18.
- [59] C. Kilian, Aperçu général de la structure des Tassilis des Ajjer, *C. R. Acad. Sci. Paris* 175 (1922) 825–827.
- [60] C. Kilian, Géologie de l'Immidir, feston de l'Enceinte tassilienne, *C. R. Acad. Sci. Paris* 176 (1923) 1240–1243.
- [61] C. Kilian, Sur la présence du Silurien à l'est et au sud de l'Ahaggar, *C. R. Acad. Sci. Paris* 186 (1928) 508–509.
- [62] C. Kilian, De l'Ordovicien et du Gothlandien du Bouclier saharien, *C. R. somm. Soc. géol. France* (1933) 25–26.
- [63] C. Kilian, D'une association de Graptolithes observée dans le Gothlandien de Tiounkenin (Emmidir, Sahara central), *C.R. somm. Soc. géol. France* (1933) 91–92.
- [64] E. Lanzoni, L. Magloire, Associations palynologiques et leurs applications stratigraphiques dans le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur du Grand Erg occidental (Sahara algérien), *Rev. IFP* 24 (1969) 441–448.
- [65] A.-F. de Lapparent, Première description géologique de l'Edjelé Tan In Azaoua, *Ann. Soc. Géol. Nord* 69 (1949) 86–94.
- [66] A.F. de Lapparent, M. Lelubre, Interprétation stratigraphique des séries continentales entre Ohanet et Bourharet (Sahara central), *C. R. Acad. Sci. Paris* 227 (1948) 1106–1108.
- [67] P. Legrand, Sur la présence du genre *Clonograptus* au Sahara septentrional, *C. R. somm. Soc. géol. France* (1960) 241–242.
- [68] P. Legrand, Découverte de *Monograptus hercynicus* (Perner) dans les chaînes d'Ougarta (Algérie), *Bull. Soc. géol. France* (7) (1961) 201–205.
- [69] P. Legrand, Considérations sur l'évolution de quelques concepts de stratigraphie. Application à l'exploration d'un nouveau bassin sédimentaire, *Suppl. Chron. Mines d'Outre-Mer & Rech. min.*, *Bull. trim. Dep. Inform. BRGM* 62 (1964) 1–8.
- [70] P. Legrand, Découverte de nouveaux gisements fossilifères dans les Grès inférieurs du Tassili N'Ajjer, *C. R. somm. Soc. géol. France* (1964) 14–15.
- [71] P. Legrand, Précisions biostratigraphiques sur l'Ordovicien inférieur et le Silurien des chaînes d'Ougarta (Sahara algérien), *C. R. somm. Soc. géol. France* (1966) 243–245.
- [72] P. Legrand, Nouvelles connaissances acquises sur la limite des systèmes Silurien et Dévonien au Sahara algérien, coll. « Dévonien inférieur et limites », Rennes, *Mém. BRGM* 33 (1967) 119–137.
- [73] P. Legrand, Le Dévonien du Sahara algérien, in: D.H. Oswald (Ed.), *Proc. Int. Symp. Devonian System*, Calgary, 1967, I, pp. 245–284.
- [74] P. Legrand, Découverte de Graptolithes entre Gara Djebilet et Aouinet bel Egra (Synclise de Tindouf-Sahara algérien), *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN* 59 (1968) 115–126.
- [75] P. Legrand, Les couches à *Diplograptus* du Tassili de Tarit (Ahnet, Sahara algérien), *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN* 60 (1970) 3–58.
- [76] P. Legrand, Les chaînes d'Ougarta (Sahara algérien). Une région type pour l'étude de la limite Silurien-Dévonien, *Geol. News Lett.* 3 (1970) 250–260.
- [77] P. Legrand, Résultats récents sur le problème de la limite Cambrien-Ordovicien au Sahara algérien septentrional, *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN* 64 (1973) 159–188.
- [78] P. Legrand, Essai sur la paléogéographie de l'Ordovicien au Sahara algérien, *Compagnie française des pétroles, Notes et mémoires* 11 (1974) 121–138.
- [79] P. Legrand, Les chaînes d'Ougarta (Sahara algérien). Une région type pour l'étude de la limite Silurien-Dévonien, *The Silurian-Devonian Boundary, IUGS A* 5 (1977) 195–202.
- [80] P. Legrand, Contribution à l'étude des graptolites du Llandovérien inférieur de l'Oued In Djerane, *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN* 67 (1977) 141–192.
- [81] P. Legrand, Essai sur la paléogéographie au Silurien du Sahara algérien, *Compagnie française des pétroles, Notes et mémoires* 16 (1981) 9–24.
- [82] P. Legrand, Lower Palaeozoic Rocks of Algeria, in: C.H. Holland (Ed.), *Lower Palaeozoic of north-western and west central Africa, Lower Palaeozoic Rocks of the world* 3, J. Wiley & Sons, Chichester, UK, 1985, pp. 5–89.
- [83] P. Legrand, The Lower Silurian Graptolites of Oued In Djerane. A study of population near the Ordovician–Silurian boundary, in: C.P. Hughes, R.B. Rickards (Eds.), *Paleoecology and Biostratigraphy of Graptolites*, *Geol. Soc. Spec. Publ.* 20 (1986) 145–153.
- [84] P. Legrand, Approche stratigraphique de l'Ordovicien terminal et du Silurien inférieur du Sahara algérien par l'étude des Diplograptides (Graptolites), 1999, thèse d'État, université Michel-de-Montaigne–Bordeaux-3, Inst. Egid, 892 p.
- [85] P. Legrand, Une région de référence pour la limite Ordovicien–Silurien : l'Oued In Djerane, Sahara algérien, *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 330 (2000) 61–66.
- [86] P. Legrand, G. Nabos, Contribution à la stratigraphie du Cambro-Ordovicien dans le Bassin saharien occidental, *Bull. Soc. géol. France* (7) 4 (1962) 123–131.
- [87] P. Legrand, A. Poueyto, S. Rouaix, Sur quelques faunes des grès inférieurs sur la bordure septentrionale du Hoggar (Sahara), *Bull. Soc. géol. France* (7) 1 (1959) 796–802.
- [88] M. Legrand-Blain, Précisions sur la stratigraphie de la série des calcaires du Djebel Béchar (Namurien–Moscovien), à l'est de Béchar, Algérie, *Bull. Soc. géol. France* (7) 9 (1967) 298–306.
- [89] M. Legrand-Blain Quelques Choristites (Spiriferacea) du Namuro-Moscovien de la région de Béchar, Algérie, *C. R. 6e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Sheffield* (1967) III 1065–1076.
- [90] M. Legrand-Blain, Le Carbonifère marin du Sahara algérien, in: J. Fabre (Ed.), *Afrique de l'Ouest – West Africa, Lexique stratigraphique international, n.s., n° 1*, 1983, pp. 109–117.
- [91] M. Legrand-Blain, Dynamique des Brachiopodes carbonifères sur la plate-forme carbonatée du Sahara algérien, paléoenvironnements, paléobiogéographie, évolution, thèse d'État, université Bordeaux-I, 1985, 315 p..
- [92] M. Legrand-Blain, Les Gigantoproductidae (Brachiopodes) namuriens du Sahara algérien, *Bull. Soc. Belge Géol.* 96 (1987) 159–184.
- [93] H. Lejal-Nicol, Contribution à l'étude des Lycophytes paléozoïques du bassin de Fort-Polignac (Illizi), *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN* 63 (1972) 49–80.
- [94] D. Le Maître, La faune du Dévonien inférieur et moyen de la Saoura et des abords de l'Erg El Djemel, *Mat. Carte géol. Alg. (1) Paléont.* 12 (1952) 1–170.
- [95] Y. Lemosquet, M. Lys, Attribution au Bashkirien supérieur de la série de l'Oued El Hamar (djebel Béchar, Sud oranais, Algérie), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 272 (1971) 3001–3004.
- [96] Y. Lemosquet, C. Pareyn, Évolution du processus récifal au cours du Carbonifère dans le bassin de Béchar (Sahara, Sud oranais), Algérie, *Mém. Géol. Univ. Dijon* 7 (1982) 433–442.
- [97] Y. Lemosquet, J. Poncet, Présence de *Donezella lunaensis* Raczy, 1965 (Codiaceae) dans les séries namuro-bachkiriennes du versant méridional de l'anticlinal de Chebket Mennouna (bassin de Béchar) Sahara sud-oranais, *Rev. Micropaléontol.* 17 (1974) 33–37.
- [98] Y. Lemosquet, C. Pareyn, M. Weyant, Transgression dinantienne et mouvements hercyniens précoces sur la bordure septentrionale du craton africain (bassin de Béchar, Sahara sud-oranais, Algérie), *C. R. 8^e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Moscou* (1975) VI 199–209.
- [99] L. Lessard, J.-P. Bertrand, Sur l'existence d'une discordance dans le Cambro-Ordovicien au Sahara central, *C. R. somm. Soc. géol. France* (1958) 72–75.

- [100] L. Lessard, Les séries primaires des Tassilis Oua-n-Ahaggar au sud du Hoggar entre l'Air et l'Adrar des Iforas (Sahara méridional), *Bull. Soc. géol. France* (7) 3 (1961) 501–513.
- [101] S. Loboziak, J.H. Melo, M. Streeel, Latest Devonian and Early Carboniferous palynostratigraphy of Northern Brazil and North Africa. A proposed integration of Western Europe and Gondwanan Miospore Biozoations, *Bull. Centres Rech. Elf Explor. Prod.* 22 (2) (2000) 241–259.
- [102] M. Lys, La microfaune dans ses applications à la stratigraphie du Carbonifère, C. R. 5^e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Paris 1 (1963) 189–202.
- [103] M. Lys, Micropaléontologie (Foraminifères) des formations marines du Carbonifère saharien, C. R. 8^e Congrès Int. Strat. Géol. Carbonifère, Moscou (1975) II 37–47.
- [104] L. Magloire, Étude stratigraphique par la palynologie, des dépôts argilo-gréseux du Silurien et du Dévonien inférieur dans la région du Grand Erg occidental (Sahara algérien), in: D.H. Oswald (Ed.), *Proc. Int. Symp. Devonian System*, Calgary, 1967, II, pp. 473–491 II.
- [105] B. Mamet, A. Madi, P.A. Bourque, A. Sebbar, Foraminifères carbonifères du Grand Erg occidental, bassin de Béchar, Algérie, *Bull. Soc. belge Géol.* 103 (1–2) (1994) 51–61.
- [106] W.L. Manger, M. Weyant, C. Pareyn, Mid-Carboniferous Ammonoid Biostratigraphy Bechar basin, Algeria, *Cour. Forsch. Inst. Senck.* 74 (1985) 181–196.
- [107] D.J. McLaren, Report from the Committee on the Silurian–Devonian boundary and Stratigraphy to the President of the Commission on Stratigraphy, *Geol. Newslett.* (1972) 268–288.
- [108] D.J. McLaren, The Silurian–Devonian Boundary Committee. A final report, *The Silurian–Devonian Boundary IUGS A 5* (1977) 1–34.
- [109] N. Menchikoff, Sur l'âge des grès d'Ougarta (Sahara occidental), *C. R. Acad. Sci. Paris* 187 (1928) 733–734.
- [110] N. Menchikoff, Recherches géologiques et morphologiques dans le Nord du Sahara occidental, *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* III (2) (1930) 103–247.
- [111] N. Menchikoff, Sur le Carbonifère des Issaouane (Sahara central), *C. R. Acad. Sci. Paris* 208 (1939) 914–916.
- [112] T. Monod, J. Bourcart, L'Adar Ahnet. Contribution à l'étude physique d'un district saharien, *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* 1931, 4, 107–150, 223–262 & 5 (1932) 245–297.
- [113] A. Nedjari, Les formations permo-carbonifères du bassin de Mezariif-Nekheila (sud-ouest oranais, Algérie). Étude stratigraphique et sédimentologique, approche géochimique, 1980, thèse 3e cycle, université Paris-Sud (Orsay), 52 p.
- [114] A. Nedjari, Dynamique du remplissage littoral et continental moscovo-permien du bassin d'avant-fosse de Béchar (Algérie). Électroséquences – Modèles sédimentaires – Paléopédogenèses, thèse, université Houari-Boumediène, Inst. Sci. Terre, 1991, 289 p.
- [115] L. Oulesbir, F. Paris, Chitinozoaires ordoviciens du Sahara algérien : biostratigraphie et affinités paléogéographiques, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 86 (1995) 49–68.
- [116] C. Pareyn, Les Massifs carbonifères du Sahara sud-oranais, *Publ. Centre Rech. sahariennes (CNRS) sér. Géol.*, 1961, 1, 325 p. & 2, 244 p.
- [117] C. Pareyn, G. Conrad, J. Conrad et, Y. Lemosquet, Mise en évidence d'une instabilité orogénique au Namurien inférieur, *Bull. Soc. géol. France* (7) 13 (1971) 512–527.
- [118] F. Paris, The Ordovician Chitinozoan biozones of the Northern Gondwana Domain, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 66 (1990) 181–209.
- [119] G. Petter, Dévonien moyen et supérieur, in : H. Alimen et al., *Les chaînes d'Ougarta et la Saoura*, 19^e Congr. Géol. Intern. Mon. rég. (1) Algérie 15, Alger, 1952, pp. 6274.
- [120] G. Petter, Goniatites dévoniennes du Sahara, *Publ. Serv. Carte géol. Alg.* (n.s.) Paléont. 2 (1959) 1–313.
- [121] G. Petter, Clyménies du Sahara, *Publ. Serv. Carte géol. Algérie (n.s.) Paléont.* 6 (1960) 1–58.
- [122] A. Poueyto Rhyolites et grès d'Ougarta, in : H. Alimen et al., *Les chaînes d'Ougarta et la Saoura*, 19^e Congr. Géol. Intern. Mon. rég. (1) Algérie 15, Alger, 1952, pp. 25–35.
- [123] M.-L. Remack-Petitot, Contribution à l'étude du Gothlandien du Sahara, bassin d'Adrar Reggane et de Fort-Polignac, *Bull. Soc. géol. France* (7) 2 (1960) 230–239.
- [124] M.L. Remack-Petitot, Contribution à l'étude des Conodontes du Sahara (bassins de Fort-Polignac, d'Adrar Reggane et du J. Béchar). Comparaison avec les Pyrénées et la Montagne noire, *Bull. Soc. géol. France* (7) 11 (1960) 240–262.
- [125] H.G. Schenck, W.M. Muller, Stratigraphic terminology, *Bull. Soc. Geol. Am.* 52 (1941) 1419–1426.
- [126] A. Sebbar, Dynamique des microfossiles (Foraminifères benthiques et Algues calcaires) en relation avec leurs microfaciès carbonifères dans le Sahara, Nord-Ouest algérien (bassins de Béchar, Reggane, Tindouf), thèse, université Houari-Boumediène, Inst. Sci. Terre, 2000, 371 p.
- [127] P. Semenoff-Tian-Chansky, Recherches sur les Tétracoralliaires du Carbonifère du Sahara occidental, *Publ. CRZA (CNRS), sér. Géol.* 21 (1974) 1–316.
- [128] L.L. Sloss, Concepts and Applications of Stratigraphic Facies in North America, *Rep. 21st Intern. Geol. Cong. XII* (1960) 7–18.
- [129] L.L. Sloss, Forty years of sequence stratigraphy, *Geol. Soc. Am. Bull.* 100 (1988) 1661–1665.
- [130] H. Termier, G. Termier, Les goniatites du Namuro-Moscovien (Pennsylvanien) de Kenadza (Sud-Oranais, Algérie), *Ann. Paléontol.* 38 (1952) 1–34.
- [131] P.R. Vail et al., Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, in: C.E. Payton, *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26 (1987) 51–212.
- [132] M. Weyant, A proposal for a major boundary in the Carboniferous system based upon Conodont evidence from the Bechar Basin (Algeria), in: W.H.C. Ramsbotton, W.B. Saunders, B. Owens (Eds.), *Biostratigraphic data for a Mid-Carboniferous boundary*, 1982, pp. 19–21.
- [133] M. Weyant, Relationship between Devonian and Carboniferous strata near the northern confines of the Bechar basin, Algeria, *Cour. Forschunginst. Senckenb.* 100 (1988) 235–245.
- [134] S. Willefert, Quelques graptolites du Silurien supérieur du Sahara septentrional, *Bull. Soc. géol. France* (7) 4 (1962) 24–40.