

Paléontologie générale (Biostratigraphie) / General Palaeontology

## Découverte de graptolites d'âge Caradocien dans quelques sondages du Tinrhert (Sahara algérien)

Fatiha Kichou-Braïk<sup>a</sup>, Louisa Samar<sup>b</sup>, Berrached Fekirine<sup>b</sup>, Philippe Legrand<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup> Sonatrach activité amont, division Exploration, bâtiment C, avenue du 1<sup>er</sup>-Novembre, BP 68M, Boumerdés 35000, Algérie

<sup>b</sup> Sonatrach, centre de recherches et développement, avenue du 1<sup>er</sup>-Novembre, Boumerdés 35000, Algérie

<sup>c</sup> Tautzia, 216, cours du Général-de-Gaulle, 33170 Gradignan, France

Reçu le 11 août 2005 ; accepté après révision le 4 novembre 2005

Disponible sur internet le 17 avril 2006

Présenté par Michel Durand-Delga

### Résumé

Des graptolites d'âge Caradocien ont été récoltés pour la première fois dans plusieurs forages du Tinrhert (Sahara algérien), où leur position stratigraphique, au sein du membre supérieur de l'oued Ahara de la formation de l'Edjeleh, est sans ambiguïté. Tous ces graptolites appartiennent à une nouvelle sous-espèce, *Diplograptus foliaceus tinrherti*, qui est brièvement décrite. Leur appartenance à l'espèce *D. foliaceus (sensu lato)*, qui disparaît au Soudléien supérieur, confère un âge vraisemblablement Burrellien (Caradoc moyen) à une partie plus ou moins importante, selon les cas, de la moitié supérieure du membre de l'oued Ahara. Ceci constitue une contrainte supplémentaire pour l'âge du début de l'épisode glaciaire fini-ordovicien dans cette région, dont les premiers sédiments (formation de Gara Louki) viennent au-dessus, en discordance sur le membre de l'oued Ahara. **Pour citer cet article : F. Kichou-Braïk et al., C. R. Palevol 5 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**First record of Caradocian graptolites in the Tinrhert, Algerian Sahara.** Caradocian graptolites have been recovered for the first time from several bore-holes in the Tinrhert region of the Algerian Sahara. Stratigraphically, they belong to the Oued Ahara upper Member of the Edjeleh Formation. The graptolites are assigned to the new sub-species *Diplograptus foliaceus tinrherti* that is briefly described. The occurrence of *D. foliaceus (sensu lato)*, whose upper stratigraphic limit is Upper Soudleyan, indicates a probable Burrellian (Middle Caradocian) age for a more or less important part of the upper Oued Ahara Member. This is an additional age constraint for the beginning of the Late Ordovician glacial episode in the region, since the first glacial sediments (Gara Louki Formation) lie in erosional disconformity on the Oued Ahara Member. **To cite this article: F. Kichou-Braïk et al., C. R. Palevol 5 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

**Mots clés :** Ordovicien (Caradocien) ; Sahara algérien ; Glaciation ; Graptolites

**Keywords:** Ordovician (Caradocian); Algerian Sahara; Glaciation; Graptolites

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [legrandblain@wanadoo.fr](mailto:legrandblain@wanadoo.fr) (P. Legrand).

## Abridged English version

### Introduction

Ordovician graptolites were discovered in 1999 during the study of the Amassak 1 (AMA1) bore-hole. Their examination showed that they were identical to the graptolites recovered forty years ago, farther south, from the Couloir 1 (Clr1) bore-hole in the Illizi Basin and identified, in fine, as *Diplograptus* e.g. *foliaceus* (MURCHISON) [9,11]. More recently, identical graptolites were recovered from the adjacent AMA2, AMAW1 and Ty1 bore-holes.

### Geological setting

The bore-holes are located in the Tinrhert region between the Illizi and the Berkhine Basins (Fig. 1). The Cambrian–Ordovician stratigraphy of the Tinrhert region is composed from the base up, of the Hassi Leïla Sandstone Formation, the argillaceous–arenaceous In Kraf Formation, the Hamra Quartzites Formation, the argillaceous–arenaceous Edjeleh Formation and the argillaceous–arenaceous Gara Louki Formation. This last formation shows features of periglacial sedimentation. An erosional disconformity marks its base [2,6,7].

### Biostratigraphical data

The Edjeleh Formation is subdivided into three members: the lower Anagua Member, the middle Ohanet Member, and the upper Oued Ahara Member, which is capped locally by a microconglomerate and a carbonate level [2]. The middle member has yielded a Llanvirnian fauna and the carbonate bed, at the top, contains many bryozoans of Late Caradocian [2] or Lowermost Ashgillian age (N. Spjeldnaes, pers. commun.). The new graptolite described below as *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. occurs in the upper part of the Upper Member.

### Sequential analysis

These are:

- a transgressive surface at the top of the Hamra quartzites;
- a maximum flooding surface at the base of the Ohanet Member;
- several minor flooding surfaces.

There are two ways of interpreting the carbonate level. First, the carbonate sediments are older than the glaciation and can be the ‘echo’ of the mud-mounds with bryozoans of Tripolitania [13]. This bed lies disconformably on strata of varying age, and is below the erosional glacial disconformity. Second, the carbonate bed marks the beginning of the glacial sedimentation in this region and attests to the cessation of terrigenous contributions. It is above the erosional glacial disconformity.

### Age

Hughes [5] has demonstrated that *Diplograptus multidentis* (ELLES AND WOOD, 1907), is probably the ‘junior synonym’ of *Diplograptus foliaceus* (MURCHISON, 1839). Consequently, it is the vertical range of the two species that must be taken into consideration. The *D. foliaceus*–*D. multidentis* group makes its first appearance in the *terestiusculus* biozone and ranges up to the middle *multidentis* biozone (Upper Soudleyan), although the *multidentis* zone is believed to reach the Middle Longvillian (close to the limit of the new Ordovician stages V and VI).

### Sedimentology

The graptolites occur in an argillaceous bed in a sequence of alternating shales and sandstones. Following a minor flooding, there is a shift of the shelf to a more distal position, allowing for the incoming of the graptolites, hence their preservation. Above them, there is a trend to emersion.

### Significance of the Caradocian graptolites of the Tinrhert region

This is the first time that the Caradocian age of sediments is demonstrated unambiguously by graptolites in Algerian Sahara.

### Tinrhert

A biostratigraphic correlation is possible for 10 km (Fig. 2) The validity of the lithostratigraphic correlation and the consistency of the thickness are demonstrated. The part played by faulting in the synsedimentary thickening of the Gara Louki Formation is illustrated.

### Illizi Basin

The occurrence of the same fauna in the Clr1 bore-hole is conclusively established [11] allowing a biostratigraphic correlation for 200 km.

### Algerian Sahara

The Late Ordovician eastern Saharan basins are distinguished from the western Saharan basins, by the presence of graptolites as well as by carbonate beds with bryozoans. Only in the Moroccan Anti-Atlas, are Caradocian carbonate beds and graptolite found in similar facies. Elsewhere, this fauna completes the biozonation by graptolites of the Ordovician Sahara of Algeria and defines an assemblage v VII, characteristic of a part of the regional stage n3 [6,7,11].

### Conclusion

This new graptolitic fauna constitutes important data for the palaeogeography of the eastern Saharan basins and an additional constraint to date the end Ordovician events in the Algerian Sahara.

### Palaeontological Annex (P.L.)

*Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. (Fig. 3).  
Holotype: specimen AMA1, c. 11, 1929,20, a2 (Fig. 3a).

Population type: AMA1, c. 11, 1929,20, a1–6.

*Locus typicus*: bore-hole AMA1, Tinrhert, Algerian Sahara.

*Stratum typicum*: upper part of the upper argillaceous–arenaceous Oued Ahara Member.

*Derivatio nominis*: from the name of the region of the bore-hole AMA1.

Samples: about 200 specimens, of which two thirds were measured.

Definition: Diplograptid, generally of small size of the *D. foliaceus*–*D. multidentis* group, differing by its more geniculated thecae, its greater median widths (1.18 mm at the level of  $th1^1$ – $th1^2$ ; 2.20 mm at the level of  $th5^1$ – $th5^2$  and 2.84 mm at the level of  $th10^1$ – $th10^2$ ) and by its higher median values of 2TRD in the proximal part (1,39) and in the distal part (1,58). The number of thecae on the first 10 mm is generally 16 (14–17).

### 1. Introduction

Lors d'une étude des carottes du forage de Amassak 1 (AMA1), en 1999, des graptolites furent découverts par l'une d'entre nous (F.K.). Leur examen montra qu'ils étaient identiques à ceux découverts près de quarante ans auparavant, plus au sud, dans le forage de Couloir 1 (Clr1) du bassin d'Illizi et déterminés, in fine, comme *Diplograptus* e.g. *foliaceus* (MURCHISON) [9,11] (voir ci-dessous). Il fut alors décidé de rechercher cette

faune dans les forages environnants, ce qui conduisit à sa découverte dans les forages de Amassak 2 (AMA2), Amassak-Ouest (AMAW1) et Tin-Yagguene 1 (Ty1). Ce sont les résultats de cette recherche qui sont présentés ici.

### 2. Cadre géologique

Les bassins sahariens, essentiellement reconnus en forage au Nord de l'Ahaggar, peuvent être regroupés en deux ensembles, selon qu'ils se situent à l'ouest ou à l'est de l'axe Amguid–El Biod–Hassi Messaoud. Dans la partie est, on distingue, classiquement, le bassin d'Illizi et le bassin de Berkhine, séparés par le seuil du Tinrhert (Fig. 1).

La série stratigraphique cambro-ordovicienne de la région du Tinrhert, dont certains termes sont empruntés à la terminologie du Sahara central, comprend, de bas en haut : la formation des grès de Hassi Leila, la formation argilo-gréseuse d'In Kraf, la formation des quartzites de Hamra, la formation argilo-gréseuse de l'Edjeleh et la formation argilo-gréseuse de Gara Louki. Cette dernière, qui présente les caractères d'une sédimentation périglaciaire, est séparée des précédentes par une discordance mise en évidence par lacune des formations antérieures, l'érosion pouvant aller jusqu'au socle (Fig. 2) [2,6,7].

### 3. Données biostratigraphiques

La formation d'Edjeleh comporte trois membres, à savoir : le membre inférieur grés-argileux d'Anagua, le membre moyen argilo-gréseux d'Ohanet, le membre supérieur grés-argileux de l'oued Ahara, que couronnent, dans certains forages, un conglomérat et un niveau carbonaté [2]. Seul le membre moyen avait livré jusqu'à présent une macrofaune d'âge Llanvirnien, le niveau calcaire au sommet du membre de l'oued Ahara contenant cependant de nombreux bryozoaires d'âge Caradocien supérieur [2], ou de la base de l'Ashgillien (N. Spjeldnaes, commun. écrite, 10 novembre 1997), qui n'ont jamais fait l'objet d'une détermination précise. Les graptolites considérés ici ont tous été trouvés au-dessous du niveau calcaire, dans le membre supérieur argilo-gréseux de l'oued Ahara, et plus précisément dans sa partie supérieure, essentiellement argileuse. Il s'agit d'une faune monospécifique de deux cents spécimens environ, qui sont attribués à une nouvelle sous-espèce (*Diplograptus foliaceus tinrherti*), qui est décrite en annexe.

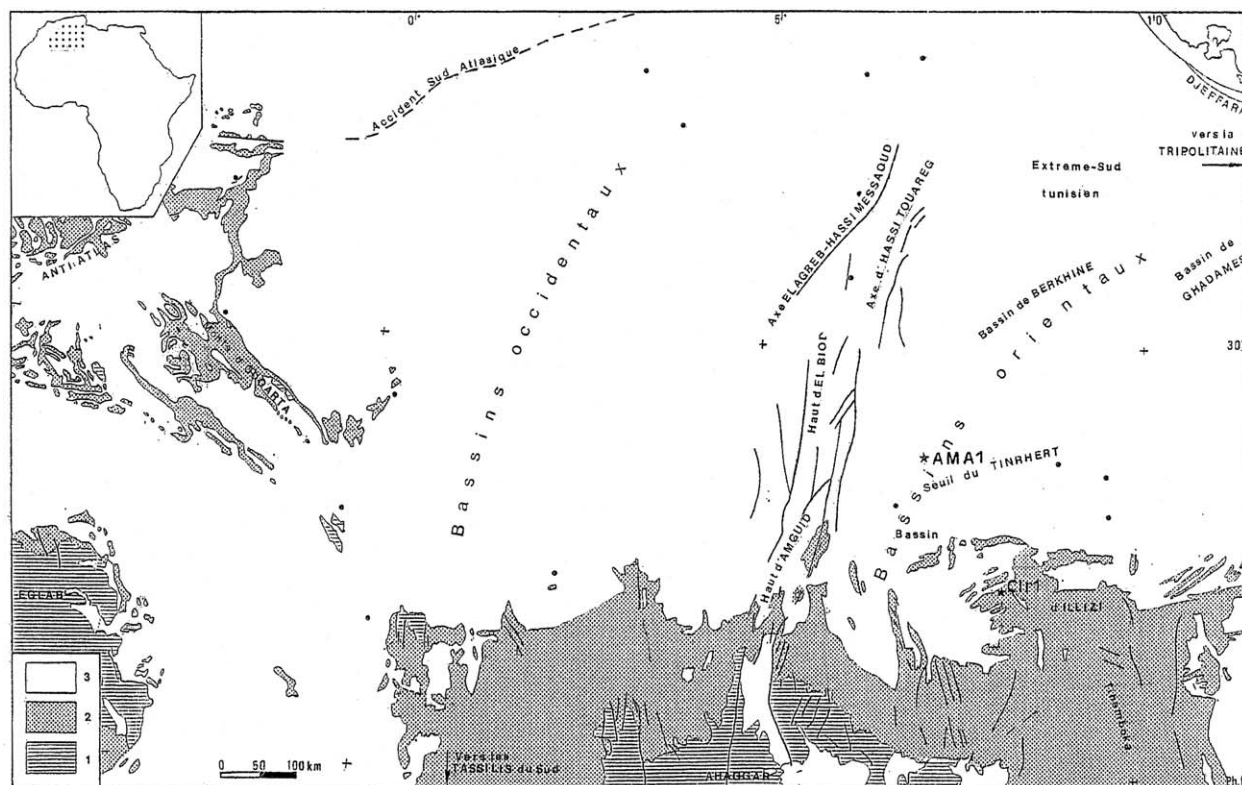


Fig. 1. Carte générale des bassins sahariens. Position du seuil du Tinrhert, du bassin d'Illizi et des deux principaux forages AMA1 et Clr1. 1 : Affleurements du Précambrien et du Cambrien inférieur. 2 : Affleurements paléozoïques (sauf Cambrien inférieur). 3 : Recouvrement post-paléozoïque.

Fig. 1. General sketch of Saharan basins. Location of the Tinrhert threshold, the Illizi basin and the two main bore-holes AMA1 and Clr1. 1: Precambrian and Lower Cambrian outcrops. 2: Palaeozoic outcrops (except Lower Cambrian). 3: Post-Palaeozoic cover.

#### 4. Analyse séquentielle

Les éléments suivants peuvent être mis en évidence (Fig. 2) :

- une surface de transgression au sommet des quartzites de Hamra ;
- une surface d'inondation maximale à la base du membre moyen argilo-gréseux d'Ohanet ;
- des surfaces d'inondation mineures, dont la plus élevée précède de peu l'apparition des graptolites découverts.

La signification du niveau carbonaté au sommet du membre supérieur de l'oued Ahara reste hypothétique. Dans une première interprétation, cette sédimentation carbonatée est regardée, au moins dans certains cas, comme antérieure à la glaciation et pouvant être l'écho lointain des *mud-mounds* à bryozoaires reconnus dans les forages de Tripolitaine, en Libye [13]. Venant en transgression sur les termes sous-jacents, ce niveau car-

bonaté serait lui-même subordonné à la discordance glaciaire de ravinement. Dans une seconde interprétation, il est regardé comme marquant la base de la série glaciaire dans cette région et traduirait une augmentation de la tranche d'eau bloquant les sources des apports terrigènes. Dans les deux interprétations, il correspond à une surface de transgression, et devrait, sans doute, être individualisé d'un point de vue lithostratigraphique.

#### 5. Datation

Les biozonations varient selon les groupes considérés et les contrées. Il n'existe pas encore de subdivisions stratigraphiques de l'Ordovicien supérieur, qui soient internationalement admises, et les étages et sous-étages des îles Britanniques, le plus souvent utilisés, sont difficiles à corréler avec les étages régionaux de Bohême et de la bordure du Gondwana nord-africain [3 (fig. 34)].



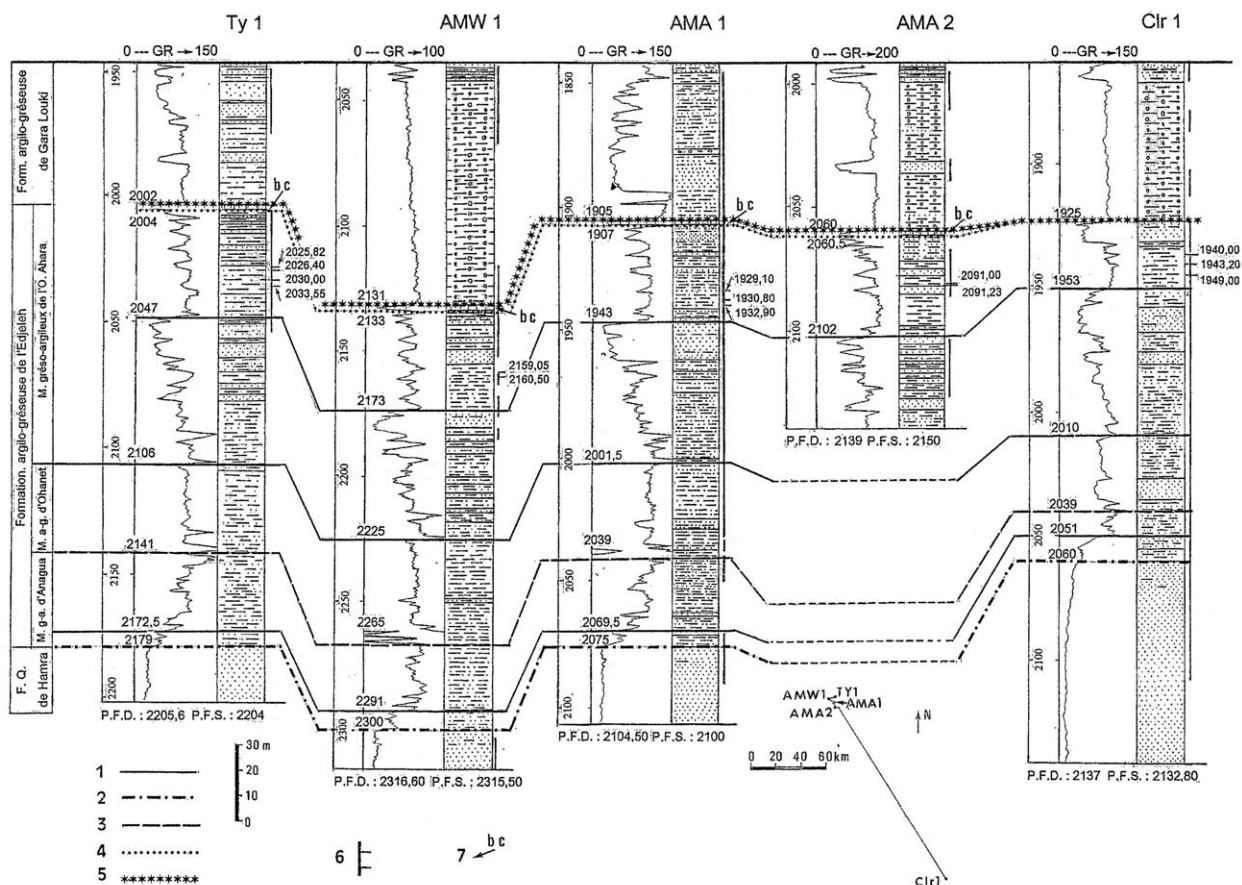


Fig. 2. Profil de corrélations entre les quatre forages où a été trouvé *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. **1** : Surface d'inondation mineure. **2** : Surface de transgression. **3** : Surface d'inondation maximale. **4** : Discordance cartographique, surface de transgression d'importance régionale (1<sup>re</sup> interprétation), ou discordance de ravinement, surface de transgression de très grande extension et début de la sédimentation périglaciaire (2<sup>e</sup> interprétation). **5** : Discordance de ravinement, surface de transgression de très grande extension et début de la sédimentation périglaciaire (1<sup>re</sup> interprétation) ou surface d'inondation maximale (2<sup>e</sup> interprétation). **6** : Position des zones carottées (trait noir épais vertical) et position des niveaux à *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. **7** : Niveau carbonaté.

Fig. 2. Cross-section showing the correlation relationships between the four bore-holes where *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. has been found. **1**: Minor flooding surface. **2**: Transgressive surface. **3**: Maximum flooding surface. **4**: Cartographic unconformity, regional transgressive surface (1<sup>st</sup> hypothesis), or erosional disconformity, very large transgressive surface and beginning of the periglacial sedimentation (2<sup>nd</sup> hypothesis). **5**: Erosional disconformity, very large transgressive surface and beginning of the periglacial sedimentation (1<sup>st</sup> hypothesis), or maximum surface flooding (2<sup>nd</sup> hypothesis). **6**: Cores (vertical thick black line) and levels with *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. **7**: Carbonated bed.

Par ailleurs, Hughes [5] a montré que *Diplograptus multidentis* (ELLES ET WOOD, 1907) pourrait être un *junior synonym* de *Diplograptus foliaceus* (MURCHISON, 1839), ce nom bénéficiant de l'antériorité. C'est donc la répartition verticale des deux espèces qui doit être considérée. Comme l'espèce *D. foliaceus* est seulement connue dans les îles Britanniques, c'est à l'échelle stratigraphique de cette région qu'il convient de se référer, mais donc avec une certaine prudence. Ainsi, l'ensemble *D. foliaceus*–*D. multidentis* apparaîtrait dans la biozone à *teretiusculus* et persisterait, plus ou moins, jusqu'au milieu de la biozone à *multidentis* (Soudliéen supérieur), bien que cette zone à *multidentis* soit consi-

dérée comme s'étendant jusqu'au milieu du Longvillien (soit à la limite des nouveaux étages V et VI de l'Ordovicien, récemment définis ou en cours de définition).

## 6. Contexte sédimentologique

Les graptolites sont récoltés dans une passée argileuse au sein d'alternances stratogranocroissantes d'argiles noires, silteuses, micacées, et de grès moyens à grossiers, gris, gris foncé et brun clair, puis brun rouge à rides et rares bioturbations à la base. À l'occasion d'un épisode d'inondation mineure, il y a une migration dans une partie un peu plus distale du plateau continen-

tal, ce qui permet l'arrivée des graptolites et leur conservation. Au-dessus, l'enchaînement des faciès indique une diminution progressive de la profondeur et une tendance à l'émersion proprement dite.

## 7. Signification de la découverte des graptolites caradociens du Tinrhert

Outre que c'est la première fois que le Caradocien est daté avec certitude par graptolites au Sahara algérien, cette découverte est intéressante à différents titres.

### 7.1. Au niveau du Tinrhert

La présence de ces graptolites permet une corrélation biostratigraphique entre les quatre forages où ils sont trouvés, soit sur une dizaine de kilomètres (Fig. 2). Cette corrélation confirme la validité des corrélations lithostratigraphiques précédemment admises, montrant la remarquable constance en épaisseur des différentes unités. Elle montre aussi que l'épaississement de la formation de Gara Louki sus-jacente (à AMW1) n'est pas dû à une compensation liée à une érosion plus profonde du membre de l'oued Ahara de la formation de l'Edjeleh, sous la discordance, mais que cet épaississement est synsédimentaire et qu'il est sans doute lié à la faille existant entre AMW1 et les autres puits. L'influence des failles initiant des « dépôts-centres » est un phénomène bien connu dans cette sédimentation glaciaire [1, 4].

### 7.2. Au niveau du bassin d'Illizi

Cette découverte lève définitivement le doute qui pouvait subsister quant à la position de ces mêmes graptolites, d'abord découverts à Clr1 et placés alors dans la formation de Gara Louki, c'est-à-dire au-dessus de la discordance limitant cette formation à la base, ce qui aurait pu être un argument pour dater le début de la glaciation du Caradocien. L'interprétation que l'un de nous avait retenue [11] et qui place cette faune dans la formation de l'Edjeleh, sous la discordance, se trouve donc confirmée. Par le fait même, on établit ainsi une corrélation biostratigraphique entre les deux régions, soit sur environ 200 km.

### 7.3. Au niveau du Sahara algérien

L'ensemble oriental des bassins sahariens se distingue par rapport aux bassins occidentaux, à l'Ordovicien supérieur, par cette présence de graptolites. Il se distin-

gue d'ailleurs également par la présence en plusieurs points d'une passée carbonatée, souvent à bryozoaires, dont la signification reste l'objet de discussions (voir ci-dessus). On ne connaît rien de semblable dans les bassins sahariens occidentaux, où le Caradocien est aussi identifié (membre supérieur de la formation de Bou M'haoud dans les monts d'Ougarta, gisement de Tin Srir dans la région d'In Debirene, au Tassili Oua-n Ahaggar) [7,8,10], mais qui, contenant brachiopodes et trilobites, n'a pas à ce jour livré de graptolites. On n'y observe pas non plus de développement carbonaté, ceci pouvant être dû toutefois, si l'on se réfère à la première interprétation concernant le niveau carbonaté, à une érosion plus profonde avant le dépôt de la série « glaciaire ». Il faut atteindre l'Anti-Atlas marocain pour retrouver des séries vraisemblablement comparables. Enfin, on doit noter que cette faune complète la zonation par graptolites de l'Ordovicien du Sahara algérien, en permettant de définir une association v VII pouvant caractériser une partie de l'étage régional n3 [6,7,11].

## 8. Conclusion

La découverte de graptolites caradociens dans le Tinrhert constitue une donnée importante pour la compréhension de la paléogéographie de la région à cette époque et apporte une contrainte supplémentaire pour la datation des événements fini-ordoviciens au Sahara algérien dans la région.

## 9. Annexe paléontologique (P. L.)

Description de *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. (Fig. 3)

Holotype : spécimen AMA1, c. 11, 1929,20, a2 (Fig. 3a)

Population type : AMA1, c. 11, 1929,20, a1–6

*Locus typicus* : forage AMA1, Tinrhert, Sahara Algérien.

*Stratum typicum* : partie supérieure du membre supérieur argilo-gréseux de l'oued Ahara.

*Derivatio nominis* : latinisation du nom de la région où sont implantés les forages ayant livré ces graptolites.

Échantillons : Deux cents spécimens environ, dont les deux tiers ont fait l'objet de mesures détaillées et quelques spécimens immatures. Les spécimens sont conservés sous forme d'une cuticule charbonneuse ; rares fragments pyritisés, généralement altérés. Les fragments isolés ne permettent pas l'observation des *fuselli*.

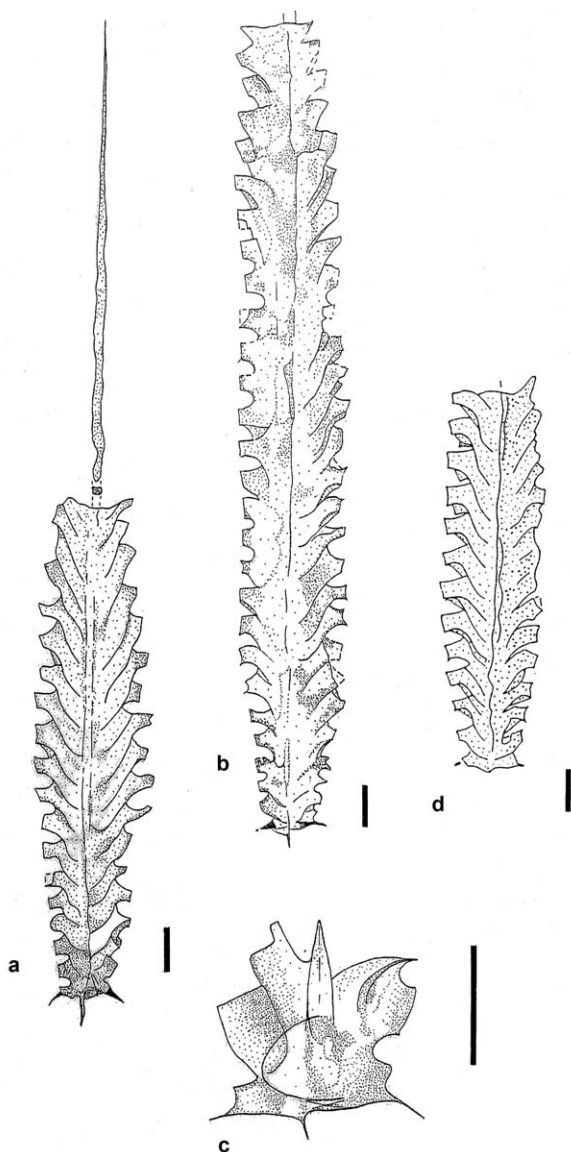


Fig. 3. *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. a : Spécimen AMA1, c11, 1929,20, a2 (Holotype). b : Spécimen AMA1, c11, 1929,40, a9. c : Spécimen AMA1, c11, 1929,30, b2. d : spécimen Clr1, c59, 1949, a4, (selon Legrand, non publié, 1999). Formation argilo-gréseuse de l'Edjeleh, partie supérieure du membre supérieur grésno-argileux de l'oued Ahara. Association v VII, zone à *Diplograptus foliaceus tinrherti*, sous-étage régional n3b Caradocien moyen. Échelle : chaque barre représente 1 mm. Ces spécimens sont déposés à l'université Lyon-1, laboratoire Paléoenvironnement et Paléobiosphère, pôle Collections, n<sup>os</sup> FSL 700001–700004.

Fig. 3. *Diplograptus foliaceus tinrherti* nov. subsp. a : Specimen AMA1, c11, 1929,20, a2 (Holotype). b : Specimen AMA1, c11, 1929,40, a9. c : Specimen AMA1, c11, 1929,30, b2. d : specimen Clr1, c59, 1949, a4, (according to Legrand, unpublished, 1999). Argillaceous–arenaceous Formation of the Edjeleh, upper part of the arenaceous–argillaceous Upper Member of the Oued Ahara. Assemblage v VII, *Diplograptus foliaceus tinrherti* biozone, regional sub-

Définition : Diplograptide généralement de petite taille, du groupe de *D. foliaceus*–*D. multidentis*, se différenciant par des thèques à géniculation plus abrupte, des largeurs moyennes plus élevées (1,18 mm au niveau de  $th1^1$ – $th1^2$ , 2,20 mm au niveau de  $th5^1$ – $th5^2$  et 2,84 mm au niveau de  $th10^1$ – $th10^2$ ), ainsi que par les valeurs moyennes plus fortes de l'indice 2TRD, tant dans la partie proximale (1,39) que dans la partie distale (1,58). Le nombre de thèques sur les dix premiers millimètres est généralement de 16 (14–17).

Description : Ce sont des Diplograptides, dont le rhabdosome est le plus souvent ovoïde-rectangulaire, mais qui peut être presque ovale ou presque rectangulaire. La longueur peut atteindre 24 mm, mais est le plus souvent voisine de 10 mm. La largeur au niveau de  $th1^1$ – $th1^2$  est le plus souvent de 1,1 à 1,2 mm (1–1,4 mm). Elle croît d'abord rapidement pour être de 2 à 2,4 mm au niveau de  $th5^1$ – $th5^2$ , puis plus lentement au-delà, atteignant 2,7 à 3 mm au niveau de  $th10^1$ – $th10^2$ , mais parfois moins. La largeur maximale dépasse rarement 3 mm. Du fait de rétrécissements distaux fréquents, la largeur au niveau de  $th15^1$ – $th15^2$  est souvent voisine de celle mesurée au niveau de  $th10$ . Dans de rares cas, un rétrécissement vers le milieu du rhabdosome est observé. Le septum médian, complet, apparaît large (0,2 mm) et parcouru par la partie interne de la virgula, dont la partie externe peut dépasser 10 mm. La partie proximale a un aspect très caractéristique, asymétrique. La sicula a une longueur réelle de 1,4 à 1,6 mm (longueur apparente : 0,8–1 mm). Elle semble s'élargir au niveau de l'ouverture de 0,3–0,4 mm. Elle présente une virgella le plus souvent forte, pouvant atteindre 0,6 mm.  $Th1^1$  prend naissance à 0,6 mm de l'apex de la sicula et se développe en direction aperturale avant de se recourber pour se développer d'abord latéralement, puis obliquement en direction apicale. Elle présente une forte épine en position géniculaire à subaperturale, pouvant dépasser 0,4 mm. Il n'est pas possible d'observer l'origine de  $th1^2$  sur le matériel considéré. Il semble cependant que  $th1^2$  se développe d'abord sur une très courte distance en direction aperturale, avant de se recourber pour se développer latéralement, en laissant visible, assez régulièrement, le bord anti-virgellaire de la sicula. Elle croît enfin en direction apicale, ce qui donne à la thèque un aspect géniculé ; une forte épine, pouvant dépasser 0,4 mm, se développe au niveau de la géniculation. Les

stage 3b, Middle Caradocien. Scale bars represent 1 mm. These specimens are deposited at the University Lyon-1, 'Paleoenvironment and Paleobiosphere' Laboratory, Pole 'Collections', Nos. 700001–700004.

thèques présentent un aspect qui évolue le long du rhabdosome. Dans la partie proximale à moyenne, elles se rapprochent du type climacograptide, avec une muraille géniculaire nette d'environ 0,4 mm. Cependant, elles sont inclinées à 35° par rapport à l'axe du rhabdosome et le bord de l'ouverture concave est oblique vers l'extérieur. Un collet souligne la bordure de la cavité aperturale, ce qui se traduit par l'apparence de minuscules épines à l'extrémité du bord apertural et au niveau de la géniculation sur les spécimens comprimés. La longueur de ces thèques est le plus souvent de 1,4 mm, avec un recouvrement des 4/7 et une largeur de 0,35 mm. L'indice 2TRD est le plus souvent de 1,4 à ce niveau (1,2–1,6; valeur moyenne 1,3962). Dans la partie moyenne à distale, il y a diminution de la géniculation, qui ne disparaît cependant jamais. Les thèques s'allongent pour atteindre 1,6 puis 2 mm et même plus, avec un recouvrement un peu plus important pour une largeur de 0,4 mm et une inclinaison un peu plus faible. L'indice 2TRD est alors le plus souvent de 1,6 (1,4–1,8 ; valeur moyenne 1,5857). À noter que, lorsqu'il y a rétrécissement distal, c'est l'angle d'inclinaison des thèques qui diminue encore d'environ 5°. Le nombre de thèques sur les dix premiers millimètres est généralement de 16 (14–17).

**Astogenèse :** Le matériel ne permet pas d'observer les différentes phases du développement de la partie proximale du rhabdosome. Cependant, l'observation des spécimens immatures et celle de quelques spécimens adultes permettent de supposer raisonnablement un développement semblable à celui admis chez *D. foliaceus* par Mitchell [14], c'est-à-dire de pattern C (mode 4 de Legrand, [11]).

**Rapports et différences :** La morphologie de ces spécimens est très semblable à celle des spécimens de *D. foliaceus* (MURCHISON) et de *D. multidentis* (ELLES ET WOOD) que Hughes [5] met en synonymie. Les spécimens sahariens en diffèrent cependant nettement par leurs thèques à géniculation plus marquée et au niveau des paramètres mesurables, outre leur longueur nettement plus modeste, si l'on se réfère au tableau I de Hughes. Pour un nombre de spécimens comparables, la largeur moyenne au niveau de la première paire de thèques est de 1,1783 pour l'ensemble des populations de *tinrherti*, contre 1,0811 pour *D. foliaceus* et 1,0304 pour *D. multidentis*, ou 1,06 pour l'ensemble des deux taxons. Cette différence s'observe aux autres niveaux de mesures. Au niveau de th5, la largeur moyenne de *tinrherti* est de 2,2073 contre 1,8250 et 1,8167, soit 1,8218 pour l'ensemble, et de même au niveau de th10, où les valeurs sont de 2,8393 contre 2,3409 et

2,4279 et pour l'ensemble 2,3747. Ceci n'apparaît plus vrai au niveau de th15, où la largeur moyenne pour *tinrherti* est de 2,6737, alors qu'elle est de 2,5888 pour *D. foliaceus* et de 2,8041 pour *D. multidentis* (moyenne 2,7006 pour l'ensemble), mais ceci paraît dû aux nombreux cas de rétrécissement distal qui se produisent précisément vers ce niveau chez *tinrherti*, vu la taille plus modeste des rhabdosomes, et moins souvent et plus tard chez *D. foliaceus* et *D. multidentis*, globalement plus longs. L'examen de la valeur de l'indice 2TRD proximal (entre th5 et th7) et distal montre également des différences sensibles. Ainsi 2TRD proximal, avons-nous vu, a une valeur moyenne de 1,3962, à comparer à la valeur moyenne de 1,19 chez *D. foliaceus* et de 1,22 chez *D. multidentis*. De même 2TRD distal a une valeur moyenne de 1,5857, à comparer à 1,40 chez *D. foliaceus* et 1,34 chez *D. multidentis*. En conclusion, si les populations sahariennes de *tinrherti* appartiennent à l'ensemble *D. foliaceus*–*D. multidentis*, les différences constatées au niveau des paramètres mesurables, ainsi que leur localisation, conduisent à y voir une sous-espèce géographique distincte. Du fait de la synonymie *D. foliaceus*–*D. multidentis*, la sous-espèce est rapportée automatiquement à l'espèce *foliaceus*. En revanche, si cette synonymie se trouvait ultérieurement abandonnée, il conviendrait de considérer *tinrherti* comme une sous-espèce de *D. multidentis*, dont elle est plus voisine, ou comme une espèce indépendante. La comparaison avec d'autres espèces est plus délicate, du fait de la conservation souvent médiocre des spécimens sur lesquels elles sont basées et dont les caractères peuvent avoir été mal perçus. Ainsi en est-il de *D. vulgatus* Perner, considéré à l'origine comme une variété de *D. foliaceus*. Cependant, d'après la révision de Pribyl [15], cette espèce apparemment ne présente pas d'épines à la première paire de thèques, s'élargit lentement et compte moins de thèques pour 10 mm, celles-ci ne présentant qu'une faible géniculation. *D. spinulosus* Sudbury [16] présente un aspect beaucoup plus voisin, mais seules les huit ou neuf premières thèques présentent une nette géniculation et le nombre de thèques pour 10 mm varie de 12 à 9.

## Remerciements

Ce travail fut initié lors d'une visite à la Sonatrach de l'un des auteurs (P. L.), sur invitation de son président-directeur général, M. Atar. Les auteurs remercient la direction du Centre de recherche et développement de la Sonatrach d'avoir facilité cette étude. Ils remer-



cient le Dr J. Riva pour son commentaire et la correction de la partie en anglais du texte.

## Références

- [1] S. Beuf, B. Biju-Duval, O. de Charpal, P. Rognon, O. Gariel, A. Bennacef, Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara, Publ. IFP, Coll. « Science et technique du pétrole », Paris, 1971 (464 p).
- [2] 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.
- [3] R.A. Fortey, D.A.T. Harper, J.K. Ingham, A.W. Owen, M.A. Parkes, A.W.A. Rushton, N.H. Woodcock, A revised correlation of Ordovician Rocks in the British Isles, Geol. Soc. Lond., Spec. Rep. 24 (2000) 83.
- [4] J.-F. Ghienne, M. Deynoux, G. Manatschal, J.-L. Rubino, Paleovalleys and fault-controlled depocentres in the Late-Ordovician glacial record of the Murzuq Basin (central Libya), C. R. Geoscience 335 (2000) 1091–1100.
- [5] R.A. Hughes, Llandeilo and Caradoc graptolites of the Builth and Shelve Inliers, Monogr. Palaeontogr. Soc., Publ. n° 577 (part of vol. 141 for 1987), London, 1989, 89 p.
- [6] P. Legrand, Essai sur la paléogéographie de l'Ordovicien au Sahara algérien, Compagnie française des pétroles, Notes et Mémoires 11 (1974) 121–138.
- [7] 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, Wiley & Sons, Chichester, UK, 1985, pp. 5–89.
- [8] P. Legrand, Nouvelles observations sur la formation de Bou M'haoud (Ordovicien) dans les monts d'Ougarta, Sixième séminaire national des sciences de la Terre, Alger, 1986, Résumés (supplément).
- [9] P. Legrand, Graptolites d'âge Ashgillien dans la région de Chirfa (Djado, république du Niger), Bull. Centres Rech. Explor.-Prod, Elf-Aquitaine 17 (2) (1993) 435–442.
- [10] P. Legrand, Evidence and concerns with regard to the Late Ordovician glaciation in North Africa, in: J.D. Cooper, M.L. Droser, S.C. Finney (Eds.), Ordovician Odyssey, Pacific, Sect. SEPM, Las Vegas, 77, 1995, pp. 165–169.
- [11] 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, Institut Egid, (892 p.)
- [13] D. Massa, Paléozoïque de Libye occidentale. Stratigraphie et Paléogéographie, 1988, thèse, université de Nice (514 p.)
- [14] C.E. Mitchell, Evolution and phylogenetic classification of the Diplograptacea, Palaeontology 30 (1987) 353–405.
- [15] A. Přibyl, Revision of the Diplograptidae and Glossograptidae of the Ordovician of Bohemia, Rozpravy II, tridy České akademien, Praha 59 (1949) 1–51 (paru 1951).
- [16] M. Sudbury, *Diplograptus spinulosus* sp. nov. from the Ordovician of Syria, Geol. Mag. 94 (1957) 503–506.