

Géodynamique  
Différenciation paléogéographique à l'Ordovicien supérieur dans le  
Tafilalt (Anti-Atlas oriental, Maroc) sous l'interaction de la  
glaciation et de la tectonique

Brahim El Maazouz, Naima Hamoumi \*

Laboratoire « Océanologie et géodynamique des bassins sédimentaires », université Mohammed-V-Agdal, BP 8844, Rabat, Maroc

Reçu le 11 novembre 2006 ; accepté après révision le 3 juillet 2007

Disponible sur Internet le 17 août 2007

Présenté par Michel Durand-Delga

---

## Résumé

Le domaine du Tafilalt, qui correspondait, à l'Ordovicien inférieur et moyen, à une plate-forme silicoclastique peu profonde, dominée par les tempêtes et/ou les marées et avec des isopaques de direction est–ouest à ENE–WSW, comme l'ensemble du bassin « Anti-Atlasique » du Maroc, a été le siège de grandes modifications paléogéographiques à l'Ordovicien supérieur. Un événement tectonique distensif majeur a abouti à l'individualisation de deux aires de sédimentation : le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar » et le « sous-bassin du Tafilalt occidental », où des environnements nouveaux se sont développés sous l'interaction de la tectonique distensive et de la glaciation fini-ordovicienne. Dans le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar » s'est installée une plate-forme carbonatée à bioconstructions à Bryozoaires et un littoral peritidal mixte silicoclastique/carbonaté de haute énergie, alors que, dans le « sous-bassin du Tafilalt occidental », la structuration de la plate-forme silicoclastique en demi-grabens a favorisé le développement de *fan deltas* qui étaient alimentés par les apports issus de l'érosion et du transport glaciaire à partir du continent et de la plate-forme carbonatée du « sous-bassin de Khabt-El-Hejar ». **Pour citer cet article : B. El Maazouz, N. Hamoumi, C. R. Geoscience 339 (2007).**

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**Palaeogeographic differentiation during the Upper Ordovician in Tafilalt (eastern Anti-Atlas, Morocco) under the interaction of the glaciation and tectonics.** The Tafilalt domain, which corresponded, during the Lower and Middle Ordovician, to a storm and/or tide-dominated epeiric shelf with east–west- to ENE–WSW-trending isopachs, such as the whole 'Anti-Atlasic basin', recorded major palaeogeographical changes during the Upper Ordovician. An extensional tectonic event resulted in the individualization of two sub-basins: the 'Khabt-El-Hejar sub-basin' and the 'western Tafilalt sub-basin', where new environments developed under the interplay between tectonics and glaciation. In the northeastern Tafilalt sub-basin took place an isolated carbonate platform, where Bryozoan mounds nucleated, and a mixed siliciclastic carbonate high-energy peritidal littoral. In the 'western Tafilalt sub-basin', the siliciclastic shelf was structured in half-graben, where sediments from the Saharan glacier and the carbonate platform of the Khabt-El-Hejar sub-basin accumulated in fan deltas. **To cite this article: B. El Maazouz, N. Hamoumi, C. R. Geoscience 339 (2007).**

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots clés :** Ordovicien supérieur ; Maroc ; Paléogéographie ; Bioconstructions à Bryozoaires ; Fan delta ; Tectonique distensive ; Glaciation

**Keywords:** Upper Ordovician; Morocco; Palaeogeography; Bryozoan mounds; Fan delta; Extensional tectonics; Glaciation

---

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [naimahamoumi@yahoo.fr](mailto:naimahamoumi@yahoo.fr) (N. Hamoumi).

## Abridged English version

### Introduction

The Upper Ordovician outcrops of Tafilalt-Taouz, in the eastern Anti-Atlas domain (Morocco), were subjected especially to geomorphological, biostratigraphical, and lithostratigraphical studies and mapping [4–6,20]. Sedimentological study of 11 representative successions of this Upper Ordovician, where Lower Ashgill has never been recognized [5,6], allows us to identify for the first time the sedimentary facies and environments, the mineralogical composition and sources, and the control of the sedimentation. It also highlighted the particularities of this Tafilalt Upper Ordovician, characterized by two typical successions that are clearly distinguished from those of the Moroccan Upper Ordovician and main regions of the North-Gondwanan platform. Indeed in the Khabt-El-Hejar domain (northeastern Tafilalt), where the oldest outcrops are of Lower Caradoc age, the successions of Rkint-Echih, northwestern Merzane, Merzane, Rosfa-El-Hamra and Khabt-El-Hejar (Figs. 1 and 2) are characterized by low thickness, limited extent, and high contents of carbonate and Bryozoans. In the western Tafilalt, the successions of Jbel Bou Legroun, Koudia-Mahi, Taklimt, Tabet-el-Khir, Imzizoui, and Hajra-El-Beida (Figs. 1 and 2) that outcrop above the Lower and Middle Ordovician deposits are mainly composed of siliciclastic sediments, and exhibit spectacular conglomeratic bodies.

### *The Khabt-El-Hejar domain (northeastern Tafilalt)*

#### *Facies and sedimentary environments*

*The Lower Caradoc.* The Lower Caradocian deposits are stacked into two facies sequences. The basal sequence is composed of argillites, siltites, calcareous sandstones, and lumachellic calcareous lenses, exhibiting typical facies and structures of wave- and tide-dominated subtidal environment. The second sequence exhibits various facies associations. They indicate a subtidal-intertidal environment in Rkint-Echih, an intertidal flat in Merzane, and a wave- and tide-dominated subtidal environment in Rosfa-El-Hamra and Khabt-El-Hejar.

*The Middle and Upper Caradoc.* The Middle and Upper Caradocian sediments consist of Bryozoan-rich siltites and argillites, Bryozoan limestones, mixed siliciclastic/carbonates sandwaves exhibiting typical

tidal structures and facies, often capped by frost cracks, microconglomeratic shales ('argile microconglomératique') and microconglomeratic coarse sandstones, exhibiting sometimes polyhedral pebbles. The coarse sandstones display shattering and topography in ruins, friction cracks soft sediments deformations. These deposits indicate sedimentation in a periglacial estuarine channel and sandy to muddy intertidal flat environments.

*The Upper Ashgill.* The Upper Ashgill sediments are similar to those of the Middle and Upper Caradoc, except in the succession of northwestern Merzane, which exhibits, in its lower part, carbonate mounds like 'reef mounds' [18]. The mounds are of lenticular shape; they can reach several centimetres in height and several centimetres to decimetres in width. They exhibit skeletons of Bryozoan in living position, weakly eroded, and unsorted skeleton of Bryozoan fragments whose organisation and distribution reflect living-colony morphology. The common preservation of these Bryozoans and the associated Brachiopods and Echinoderms indicate mound initiation and growth below fair-weather wave-base in the subtidal environment of an isolated platform where currents are able to induce high-energy circulation, high oxygenation rate, low turbidity, and sufficient nutrients' input.

### *The sediments and sources*

The deposits are composed of siliciclastic sediments (mudstones, siltstones, fine quartzites, and micaceous subarkoses), mixed siliciclastic/carbonates (subarkosic sandy micrites, subarkosic bioclastic sandy micrites, sandy allochemic limestones), and carbonates (bafflestones, rudstones). The siliciclastic phase corresponds to the limited terrigenous supply from the Panafrican shield and its old cover [15], realised by cold winds and glacial discharges during melt phases, as indicated by textural shapes and polymodal grain-size distribution related to quartz grains' glacial evolution. Indeed, the examination of sand grains by scanning electron microscopy allows us to recognize well-rounded quartz grains with dish-shaped concavities and an upturned cleavage plate and quartz grains exhibiting high relief, extreme angularity, and conchoidal fractures displaying a series of semi parallel steps, parallel steps, arcuate steps, parallel or acicular striations, often polished and polygonal breakage blocs and V-shaped mechanical features, sometimes anastomosed. The carbonate phase is dominated by Bryozoan skeletons or fragments ranging in size from fine sand to boulder, often well preserved, with accessory Brachio-

pod, Lamellibranch and Echinoderm intraclasts, and in some cases zoned dolomite rhombs, micritic and sparitic or microsparitic cement. This phase resulted from the abrasion of Bryozoan mounds and diagenetic processes.

#### *The western Tafilalt domain*

##### *Sedimentary facies and environments*

*The Lower Caradoc.* The Lower Caradocian sediments consist of argillites, siltites, and sandstones with minor carbonate intercalations. In the Bou Legroun and Koudia-Mahi successions, upward coarsening and thickening sequences exhibit typical facies associations of storm- and current-dominated delta. The Taklimt, Imzizoui and Hajra-el-Beïda successions exhibit typical facies associations that reflect sedimentation in storm-dominated offshore and tide-, wave- and storm-influenced shoreface.

*The Middle and Upper Caradoc.* The Middle and Upper Caradocian deposits outcropping to the west of Erfoud and in Imzizoui consist of conglomerates exhibiting slumps overlying an angular and erosional unconformity, microconglomerates, and coarse sandstones. The clasts correspond to Bryozoan fragments, calcareous sandstone, sandy limestone, sandstone, siltite, granite, and intraformational pebbles. These facies reflect a fan-delta environment [27]. In the Tabhet-el-Khir succession, the Middle Caradocian deposits correspond to six stacked coarsening and thickening-upward sequences of fluvial wave- and storm-influenced delta. The Upper Caradocian deposits consist of coarse sediments similar to those of Imzizoui, intercalated between deltaic sequences. The Hajra-el-Beïda and Taklimt successions exhibit facies of storm-dominated offshore.

*The Upper Ashgill.* The Upper Ashgill deposits outcrop only in the Imzizoui and Tabhet-el-Khir successions; they consist of estuarine red coarse sandstone.

##### *Sediments and sources*

The Upper Ordovician sediments are mostly siliciclastic (mudstones, siltstones, grauwackes, quartz-wackes, subarkoses, fine or coarse quartzarenites and microconglomeratic quartzarenites) with minor intercalations of mixed siliciclastic/carbonates, subarkosic sandy micrites, subarkosic dolomicritic sandstones, and micaceous silty micrites in the Lower Caradoc. However, in the Middle and Upper Caradocian of the

successions of Bou Legroune, Koudia-Mahi, Tabhet-el-Khir, and Imzizoui, Bryozoan-rich mixed siliciclastic/carbonates, micritic pebbly conglomerates, and micritic sandstones are predominant. The siliciclastic phase corresponds to the terrigenous influx from the Panafrican shield and its old cover [15], realised by glacial discharges during melt phase and cold winds, as in northeastern Tafilalt (exoscopy of quartz grains). The carbonate phase resulted from the degradation of Bryozoan mounds.

##### *Conclusion and discussion*

The facies and the trend of the Upper Ordovician successions reflect a complex history of this part of the Moroccan North-Gondwanan platform. The Tafilalt that corresponded to a storm- and/or tide-dominated epeiric shelf with east-west- to ENE-WSW-trending isopachs [6], such as the whole 'Anti-Atlas basin' [15], recorded major palaeogeographical changes during the Upper Ordovician. An extensional tectonic event induced the individualization of two sub-basins in the Tafilalt domain: the 'Khabt-El-Hejar sub-basin' and the 'western Tafilalt sub-basin', where the sedimentation was developed under the interplay between tectonics and glaciation. This extensional tectonics was recorded in Sahara [1,7,11], Morocco [15], the Armorican massif [14,17,24], and Portugal and Spain [12,34]. It is related to the beginning of the break up of the Gondwana and the creation of the Armorica plate [29]. The Upper Ordovician glacial event that lasted from Lower Caradoc to Lower Silurian [9,13,16] is well documented and was recorded in many areas of the North-Gondwanan platform.

During the Lower Caradoc, extensional tectonics related to the reactivation of the Panafrican faults movements according to a NE-SW direction (Fig. 1) leads to the creation of a ramp-type basin (the 'Khabt-El-Hejar sub-basin') at the northeastern edge of the Tafilalt domain and a change in the direction of isopachs that became NW-SE in the 'western Tafilalt sub-basin'. The sea-level rise related to the first glacier's retreat allows the development of a mixed siliciclastic carbonate peritidal system adjacent to a carbonate ramp, where Bryozoan mounds nucleate in the 'Khabt-El-Hejar sub-basin'. Bryozoan mounds may develop in a coldwater shallow platform with low siliciclastic flux and high input of nutrients [21]. Such biofacies are known in recent environments: the Three Kings Plateau in New Zealand [26], the South of Australia [2], and Tasmania [25]. They were described also in old coldwater carbonate successions: the Oligo-Miocene

of South Australia [19] and the Permian of Tasmania [30].

During the Middle and the Upper Caradoc, the ‘Khabt-El-Hejar sub-basin’ was controlled by subsidence and glaciation. Sea-level rise due to the glacier’s retreat allows the water depth over the ramp to be appropriate for the development of Bryozoan mounds and sedimentation in peritidal zones that were alimeted by biogenic gravels and sand derived from subtidal areas and glacial siliciclastic sediments originating from the Panafrican shield and its old cover. The sea-level fall induced the stop of the Bryozoan mounds’ build up and their degradation by mechanical erosion. The ‘western Tafilalt sub-basin’ was submitted to the glacial mass changes and extensional tectonics that initiated a longitudinal trough of NW–SE direction, where carbonates originating from the Khabt-El-Hejar ramp and terrestrial glacial clastic sediments were reworked and redeposited in fan-delta systems.

During the Upper Ashgill, both sub-basins were controlled by glaciation and subsidence. In the ‘Khabt-El-Hejar sub-basin’, the previous palaeogeography subsists in its most part, except in the central part (northwest of Merzane), where subsidence and sea-level

rise induced the development of Bryozoan mounds. In the ‘western Tafilalt sub-basin’, the sea-level rise induced the deposition of terrestrial glacial clastic sediments in estuarine environments.

The existence of a carbonate ramp adjacent to a mixed siliciclastic/carbonate peritidal system is a characteristic of the eastern Anti-Atlas region that may be correlated with other domains of the North-Gondwanan platform: Armorican massif [14,28,33], Thuringia [22], Carnic Alps [31], Buçaco syncline [34], Sierra Morena, and Celtibéria [8,10,32], southern and northern Ahaggar [23], and Tripolitania [3], where contemporaneous carbonate deposits are associated with glacial sediments.

### 1. Introduction

Les terrains de l’Ordovicien supérieur du Tafilalt-Taouz, dans l’Anti-Atlas oriental, Maroc (Fig. 1), ont fait l’objet de travaux axés essentiellement sur la géomorphologie [20], la cartographie, la biostratigraphie et la stratigraphie [4–6]. L’étude sédimentologique de 11 successions représentatives de cet Ordovicien supérieur, où l’Ashgill inférieur n’a jamais été identifié [5,6], a permis de reconstituer, pour la première fois, les

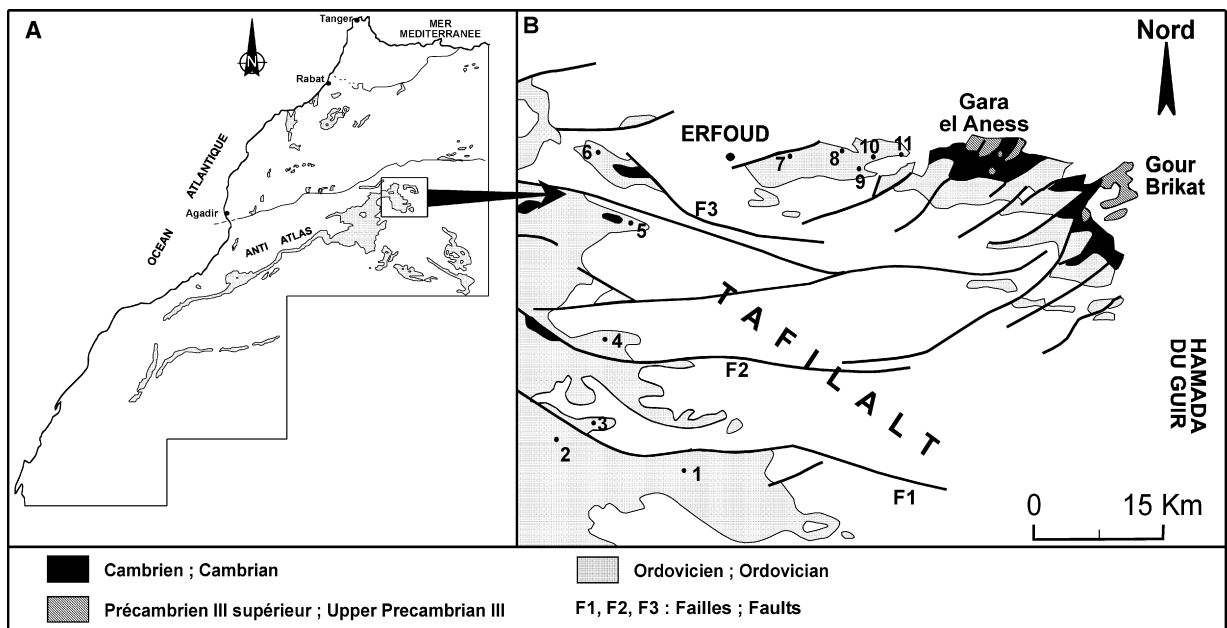


Fig. 1. Répartition des séries ordoviciennes du Maroc (A, d’après [5]) et localisation des successions ordoviciennes de Tafilalt (B, d’après [6]). 1, Imzizoui ; 2, Tabbet-el-Khir ; 3, Taklimt ; 4, Hajra-el-Beida ; 5, Bou Legroun ; 6, Koudia Mahi ; 7, Rkint-ech-Chich ; 8, Nord-Ouest de Merzane ; 9, Merzane, 10, Est de l’oued er-Rosfa-el-Hamra ; 11, Khabt-El-Hejar.

Fig. 1. Ordovician outcrops of Morocco (A, after [5]) and location of Tafilalt Upper Ordovician successions (B, after [6]). 1, Imzizoui ; 2, Tabbet-el-Khir ; 3, Taklimt ; 4, Hajra-el-Beida ; 5, Bou Legroun ; 6, Koudia Mahi ; 7, Rkint-ech-Chich ; 8, Northwest of Merzane ; 9, Merzane ; 10, East of the er-Rosfa-el-Hamra Oued ; 11, Khabt-El-Hejar.

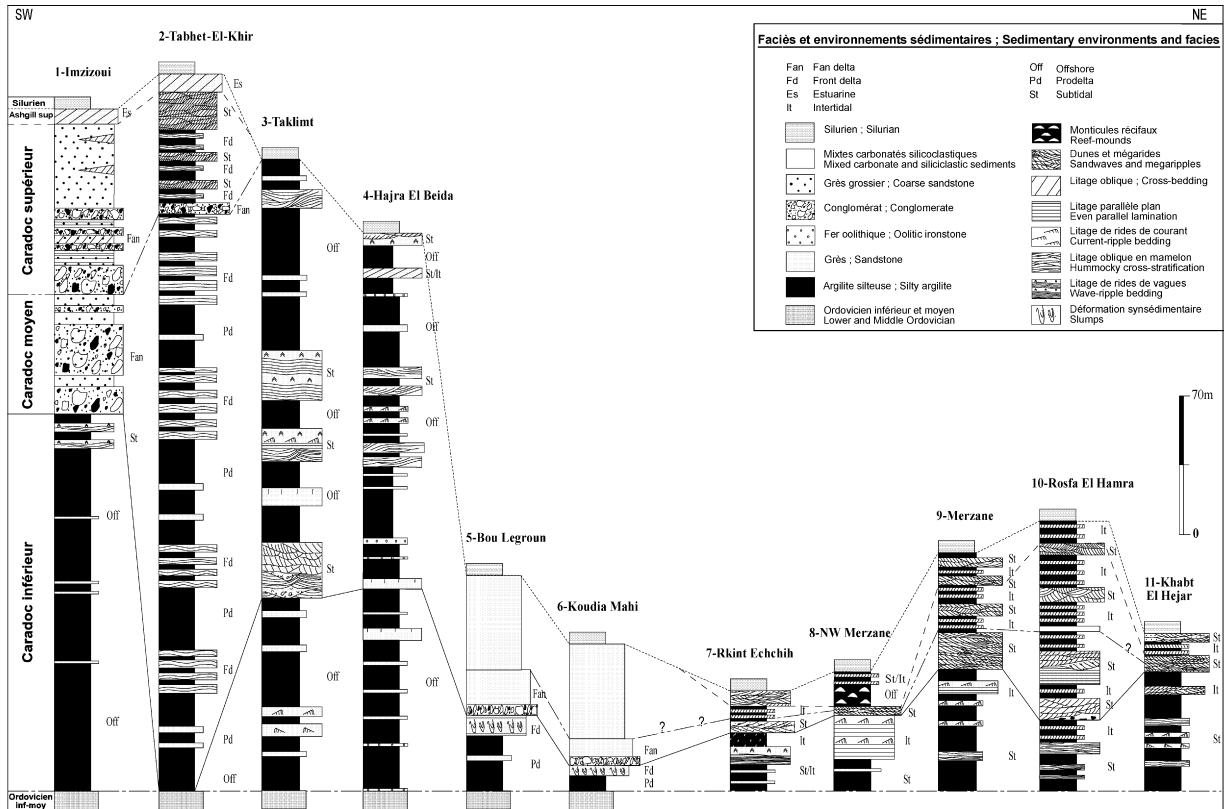


Fig. 2. Faciès et systèmes de dépôt de l'Ordovicien supérieur de Tafilalt.

Fig. 2. Facies and depositional systems of the Tafilalt Upper Ordovician.

faciès et les environnements sédimentaires, ainsi que les sources d'apport et les facteurs qui ont contrôlé la sédimentation. Elle a également permis de mettre en évidence les particularités de l'Ordovicien supérieur du Tafilalt, qui, d'une part, se caractérise par deux séries totalement différentes et, d'autre part, se distingue de l'Ordovicien supérieur du reste du Maroc et de la majeure partie de la plate-forme nord-gondwaniennne en général. En effet, dans le Tafilalt nord-oriental, où les terrains ordoviciens les plus anciens sont d'âge Caradoc inférieur, les successions de Merzane, du Nord-Ouest de Merzane, de Rkint-Echih, de Khbt-El-Hejar et de Rosfa-El-Hamra (Figs. 1 et 2) sont remarquables de par leur faible épaisseur, leur faible extension et leur richesse en dépôts carbonatés et en Bryozoaires, alors que, dans le Tafilalt occidental, les séries de Jbel Bou Legroun, Koudia-Mahi, Taklimt, Tabhet-el-Khir, Imzizoui et Hajra-El-Beida (Figs. 1 et 2), qui reposent sur les séries de l'Ordovicien inférieur et moyen, sont à dominante silicoclastique et comportent des niveaux conglomératiques remarquables de par leur épaisseur et leurs faciès.

## 2. Secteur de Khbt-El-Hejar (Tafilalt nord-oriental)

### 2.1. Faciès et environnements sédimentaires

#### 2.1.1. Caradoc inférieur

Les dépôts du Caradoc inférieur s'organisent en deux types de séquences. La séquence basale est argilo-silteuse, avec des intercalations de grès carbonaté et de calcaire lumachellique. Elle se caractérise par plusieurs faciès : litage oblique en mamelon, litage oblique faiblement incliné, litage parallèle plan à légèrement ondulé, litage de ride interférentes chevauchantes en phase, litage de rides de vagues, litage lenticulaire, litage ondulé, litage madré, litage de rides de courant unidirectionnel et chenaux de marée, qui indiquent une sédimentation dans un milieu subtidal dominé par l'action des tempêtes, des vagues permanentes et des courants de marée. La séquence sommitale présente des faciès différents selon les successions. À Rkint Echih, elle est constituée par des argilites, des siltites et des grès carbonatés fins à ichnofaciès *Diplocraterion*, qui

évoquent une sédimentation dans un milieu subtidal à intertidal. À Merzane, elle correspond à une barre de grès calcaire lenticulaire à stratification oblique sigmoïdale, litage parallèle plan ou légèrement ondulé, litage de rides de courant unidirectionnel, drapage d'argile, *wrinkle casts* et rides aplaties (*flat-topped ripples*), qui traduisent une sédimentation dans un milieu intertidal. À l'est de Rosfa-El-Hamra, elle est constituée par des grès argileux bioturbés à litage lenticulaire, litage madré et litage ondulé, surmontés par des grès grossiers riches en Bryozoaires, avec des faisceaux tidaux, qui reflètent une sédimentation dans un milieu intertidal. Enfin, à Khabt-El-Hejar, elle est composée par des grès argileux bioturbés à litage lenticulaire, litage madré et litage ondulé de replat intertidal, et des grès carbonatés lumachelliques de chenaux de marée.

### 2.1.2. Caradoc moyen-Caradoc supérieur

Les dépôts d'âge Caradoc moyen et supérieur sont constitués par des alternances gréso-argileuses qui peuvent être pétries de Bryozoaires, des calcaires à Bryozoaires, des barres de grès calcaire ou de calcaire gréseux à litage oblique arqué, litage sigmoïdal, litage oblique plan ou tangentiel, stratifications parallèle plane, cycles mortes-eaux/vives-eaux, surfaces de réactivation et drapages argileux, et dont la surface sommitale comporte souvent des polygones de dessiccation, des argiles microconglomératiques et des grès grossiers à granules et à rares galets polyédriques. Les grès grossiers à granules montrent une topographie en ruine (grès ruiniformes), des déformations glaciotectioniques, des gradins d'arrachement et des broutures glaciaires. Ces faciès traduisent une sédimentation dans le domaine subtidal et les replats intertidaux d'un milieu estuarien en bordure d'un glacier.

### 2.1.3. Ashgill supérieur

Les dépôts de l'Ashgill supérieur sont partout identiques à ceux du Caradoc supérieur, sauf dans la succession du Nord-Ouest de Merzane, où la partie basale de la succession comporte des monticules carbonatés. Ces monticules se présentent sous forme de dômes de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur et d'extension pluridécimétrique, qui rappellent les *reef mounds* [18]. Ils comportent des colonies de Bryozoaires, des Échinodermes et des Brachiopodes. Les colonies de Bryozoaires sont rarement en position de vie, mais celles qui ne le sont pas sont très peu usées. Par ailleurs, il existe également des édifices avec des fragments de Bryozoaires mal classés et très peu usés, en contact les uns avec les autres et dont le style de distribution semble souvent refléter la

morphologie d'une colonie vivante. Ces caractéristiques, ainsi que la bonne conservation des coquilles fragiles des Brachiopodes, suggèrent l'enfouissement in situ de colonies mortes, dont les squelettes sont restés sur place ou ont été faiblement déplacés. Le développement des Bryozoaires aboutit à la constitution de prairies de forme lenticulaire, où les colonies, petites et fragiles, sont de type branchu. Ces formes de croissance ne peuvent pas subsister dans les milieux soumis à une turbulence constante. Elles nécessitent un environnement situé au-dessous de la zone d'action des vagues, mais où le régime hydrodynamique est suffisamment énergétique pour assurer l'oxygénation, la transparence de l'eau et l'apport des nutriments, sans pour autant entraîner leur destruction. De telles conditions caractérisent le milieu subtidal d'une plate-forme isolée à l'abri des apports terrigènes et soumise à l'action des tempêtes.

### 2.2. Les sédiments et les sources d'apport

Dans l'ensemble des successions, les dépôts sont constitués par des sédiments silicoclastiques, des sédiments mixtes silicoclastiques/carbonatés et des sédiments carbonatés qui deviennent prépondérants à partir du Caradoc moyen. Les sédiments silicoclastiques sont essentiellement des argilites silteuses avec des intercalations de siltites, de quartzites fines et de subarkoses micacées. Les sédiments mixtes silicoclastiques/carbonatés sont des micrites sableuses subarkosiques (*subarkosic sandy micrites*), des micrites bioclastiques sableuses subarkosiques (*subarkosic bioclastic sandy micrites*) et des calcaires allochémiqes sableux (*sandy allochemic limestones*), tandis que les carbonates sont des *bafflestones* et des *rudstones*. La nature et les caractéristiques des constituants silicoclastiques indiquent un apport à partir de la chaîne panafricaine et les termes anciens de sa couverture [15], et un façonnement glaciaire lié à un transport par les glaciers et par les vents froids antérieurement à une sédimentation en milieu littoral ou marin. En effet, l'exoscopie des quartz a mis en évidence l'existence de grains arrondis, avec une pellicule écaillée et des traces de choc éolien, et de grains anguleux à relief tourmenté, avec des cassures conchoïdales comportant des figures de cisaillement parallèles ou en marche d'escalier, des traces de broyage, des stries polies, des cupules de choc et des figures de dissolution en V. La phase carbonatée est constituée par des bioclastes ou des organismes entiers de Bryozoaires de type branchus (les plus abondants), de Brachiopodes, de Gastéropodes, de Lamellibranches, de Crinoïdes et de

Trinucléidés, un ciment de calcite de recristallisation, de la micrite et de la dolomie, de forme losangique et zonée. Cette phase résulte, pour l'essentiel, des débris d'organismes et des boues carbonatées issues de la destruction des monticules carbonatés et, pour une faible part, des produits de la diagenèse.

### 3. Secteur du Tafilat occidental

#### 3.1. Faciès et environnements sédimentaires

##### 3.1.1. Caradoc inférieur

Les successions de Bou Legroun et Koudia Mahi sont constituées par l'alternance d'argilites, de siltites et de grès qui s'organisent dans une séquence granocroissante et stratocroissante. Elles se caractérisent par un litage oblique en mamelon, un litage parallèle plan faiblement ondulé, des rides de courant unidirectionnel, des rides chevauchantes en phase, des figures d'affouillement et des figures de déformation synsédimentaire, qui traduisent une sédimentation dans un delta dominé par le fleuve et influencé par les tempêtes. Les successions de Taklimt, d'Imzizoui et de Hajra-El-Beida sont constituées par l'alternance de bancs de grès d'épaisseur décimétrique et de barres gréseuses d'épaisseur plurimétrique. Les bancs de grès montrent un litage de rides chevauchantes en phase bioturbé, un litage oblique en mamelon et des miches grésocarbonatées. Les barres gréseuses à Imzizoui sont constituées par l'amalgame de bancs lenticulaires à surface basale érosive et surface sommitale modelée par des dômes et des dépressions, qui peuvent être massifs ou présenter un litage ondulé parallèle et un litage de rides de vagues. Celles de Taklimt se caractérisent par un litage de rides de courant unidirectionnel. Ces faciès indiquent une sédimentation dans un *offshore* influencé par les tempêtes et dans un *shoreface* où interfèrent les courants de vagues, de tempêtes et de marées.

##### 3.1.2. Caradoc moyen et supérieur

Les successions d'Imzizoui et de Bou Legroune sont constituées par des séquences dont la base peut correspondre à une discordance de ravinement ou une discordance angulaire et qui montrent le passage de conglomérats à des grès grossiers microconglomératiques, puis à des grès. Les niveaux conglomératiques dont l'épaisseur peut atteindre 20 m sont de forme lenticulaire ; ils sont le plus souvent massifs, mais peuvent présenter une stratification oblique. Ils sont, soit à matrice dominante, soit à clasts jointifs ; lorsque le granoclassement existe, il peut être normal ou inverse. Les clasts sont hétérométriques, de forme variable

arrondie à anguleuse, et ne montrent le plus souvent aucune imbrication. Ils correspondent à des fragments de Bryozoaires, des grès carbonatés, des calcaires gréseux, des calcaires lumachelliques, des grès, des siltites et des granites. Des éléments de taille centimétrique à pluridécimétrique affectés par la déformation synsédimentaire issue de l'auto-remaniement du conglomérat lui-même (cannibalisme) sont également présents. La matrice est également très mal classée ; elle est constituée par les mêmes composants minéralogiques et biologiques que les clasts et un ciment carbonaté. Les grès grossiers microconglomératiques sont d'épaisseur décimétrique, ils peuvent être massifs ou présenter des stratifications planes ou obliques de faible angle et, parfois, un litage parallèle diffus ou un litage oblique tangentiel. Les grès sont d'épaisseur centimétrique à décimétrique, avec un litage de rides de vagues. Ces séquences passent latéralement et/ou verticalement à des séquences deltaïques. Leurs faciès traduisent une sédimentation dans un *fan delta* [27], les conglomérats sont interprétés comme des *debris flows* en relation avec une instabilité tectonique, comme cela est indiqué par leurs faciès et leur organisation séquentielle, ainsi que par l'auto-remaniement et le remaniement de dépôts contemporains ou sous-jacents (Caradoc inférieur) et d'éléments du socle. Les bancs de grès grossiers microconglomératiques résultent du remaniement par les courants de traction et les bancs de grès représentent le produit de vannage par les vagues. Dans la succession de Tabet-El-Khir, le Caradoc moyen est constitué par l'empilement de six séquences grano- et stratocroissantes, composée chacune par l'alternance d'argilites, de siltites et de bancs de grès fin à moyen, qui montrent un litage de rides de courant unidirectionnel, un litage de rides de vagues, des rides interférentes polygonales chevauchantes en phase, un litage oblique en mamelon, des figures de courants unidirectionnels, des figures de déformation synsédimentaire et des brèches synsédimentaires. Ces séquences reflètent une sédimentation dans un delta où interfèrent les processus fluviaux et les courants de vagues et de tempêtes. Le Caradoc supérieur débute par des conglomérats qui passent à des séquences deltaïques similaires à celle du Caradoc moyen, puis à des barres quartzitiques à base ravinante, constituées par la superposition de *sandwaves* métriques qui montrent des faisceaux tidaux progradants, des cycles mortes-eaux/vives-eaux, des doublets d'argiles et des surfaces de réactivation. Il s'agit de barres subtidales de chenaux de marée au sommet des séquences deltaïques. Dans les successions de Taklimt et de Hajra-el-Beida (Fig. 2), les dépôts du Caradoc moyen et supérieur montrent des grès argileux bioturbés, des grès à litage oblique en mamelon

et à litage parallèle plan à légèrement ondulé, des miches et des sphéroïdes. Ils reflètent une sédimentation dans un *offshore* et un *shoreface* dominés par les tempêtes.

### 3.1.3. Ashgill supérieur

Les dépôts de l'Ashgill supérieur n'existent que dans les successions d'Imzizoui et de Tabhet-el-Khir, où ils sont constitués par une barre de grès grossiers rouges à litage oblique sigmoïdal, litage oblique en arêtes de poisson et traces d'obstacle (*crescent marks*), qui traduisent une sédimentation dans la partie proximale (à dominance fluviale) d'un estuaire.

### 3.2. Les sédiments et les sources d'apport

Les dépôts sont constitués par des sédiments silicoclastiques et des sédiments mixtes silicoclastiques carbonatés. Au Caradoc inférieur, les sédiments silicoclastiques sont des argilites silteuses, des siltites, des *grauwackes* feldspathiques, des *quartzwackes* micacés, des subarkoses et des quartzarénites fines ou grossières. Mais au Caradoc moyen et supérieur et à l'Ashgill, les argilites et les siltites disparaissent au profit des quartzarénites grossières et des quartzarénites grossières à granules, qui deviennent prédominantes. Les sédiments mixtes silicoclastiques carbonatés, qui sont rares au Caradoc inférieur, correspondent à des micrites sableuses subarkosiques (*subarkosic sandy micrites*), des grès dolomicritiques subarkosiques (*subarkosic dolomicritic sandstones*) et des micrites silteuses micacées (*micaceous silty micrites*). Au Caradoc moyen et supérieur, ils deviennent plus abondants et plus grossiers et correspondent à des conglomérats micritiques (*micritic pebbly conglomerates*) et des grès micritiques (*micritic sandstones*), avec des fragments de Bryozoaires et de Crinoïdes, mais à l'Ashgill, ils disparaissent. La nature et les caractéristiques des constituants de la phase silicoclastique indiquent un apport à partir de la chaîne panafricaine et des termes anciens de sa couverture [15], ainsi qu'un façonnement glaciaire identique à celui des sédiments silicoclastiques du Tafilalt nord-oriental (exoscopie des quartz), lié au transport par les glaciers et les vents froids antérieurement à une sédimentation en milieu marin. Les constituants de la phase carbonatée résultent de la dégradation des monticules carbonatés du « sous-bassin de Khabt-El-Hejar ».

## 4. Discussion et conclusion

Les résultats obtenus permettent de reconstituer l'histoire complexe de cette partie de la plate-forme

nord-gondwanienne. Le domaine du Tafilalt qui correspondait, à l'Ordovicien inférieur et moyen, à une plate-forme silicoclastique peu profonde dominée par les tempêtes et/ou les marées, comme dans l'ensemble du bassin « Anti-Atlasique » [15] avec des isopaques de direction est-ouest à ENE–WSW [6], enregistre des modifications paléogéographiques majeures à l'Ordovicien supérieur. L'avènement d'une distension a abouti à l'individualisation de deux aires de sédimentation dans le domaine du Tafilalt : le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar » et le « sous-bassin du Tafilalt occidental », où la sédimentation s'est développée par interaction de la tectonique distensive et de la glaciation fini-ordovicienne. L'événement tectonique distensif fini-ordovicien, reconnu dans le Sahara [1,7,11] et au Maroc [15], a été également enregistré par des manifestations volcaniques dans le Massif armoricain [14,17,24], au Portugal et en Espagne [12,34]. Il est en relation avec l'amorce de la fragmentation du Gondwana et la création de la plaque Armorica [29]. La glaciation fini-ordovicienne qui a régné du Caradoc à la base du Silurien [9,13,16] est bien documentée actuellement ; elle a été enregistrée dans de nombreux domaines de la plate-forme nord-gondwanienne.

Au Caradoc inférieur, la tectonique distensive liée au rejeu vertical de fractures panafricaines, selon une direction NW-SE (Fig. 1), aboutit à la création d'une nouvelle aire de sédimentation de type *ramp* (le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar »), à la bordure nord-est du domaine du Tafilalt, et à un changement de la direction des isopaques, qui devient NW–SE dans le « sous-bassin du Tafilalt occidental ». La montée eustatique liée au premier retrait du glacier a permis l'installation de deltas dans les bordures nord-orientales du « sous-bassin du Tafilalt occidental » et le développement, dans le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar », d'un système peritidal mixte carbonaté/silicoclastique adjacent à une plate-forme carbonatée, où ont proliféré des bioconstructions à Bryozoaires. Les bioconstructions à Bryozoaires peuvent se développer dans des eaux froides, dans un environnement de plate-forme peu profonde (200–300 m) où les apports terrigènes sont faibles à nuls et les nutriments activement renouvelés par les *upwellings* et les courants de tempêtes [21]. Ce type de bioconstruction est connu dans de nombreuses mers froides actuelles, telles que les « Three Kings Plateau » en Nouvelle-Zélande [26], le Sud de l'Australie [2] et la Tasmanie [25]. Ils ont été également décrits dans des séries carbonatées d'eaux froides anciennes, telles que l'Oligo-Miocène du Sud de l'Australie [19] et le Permien de Tasmanie [30].



Au Caradoc moyen et supérieur, le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar » est soumis à la subsidence et à la dynamique glaciaire. Les phases d'avancée du glacier se traduisent par une baisse du niveau marin, qui stoppe la croissance des bioconstructions à Bryozoaires et entraîne leur dégradation ; les phases de retrait du glacier induisent une élévation eustatique qui crée des profondeurs adéquates pour la reprise de la croissance de ces bioconstructions. La zone péritidale est ainsi alimentée à la fois par les débris d'organismes en provenance de la plate-forme carbonatée et par les apports terrigènes issus de la chaîne panafricaine et des termes anciens de sa couverture, qui sont transportés par les vents froids et les glaciers. Le « sous-bassin du Tafilalt occidental » est soumis également à la dynamique glaciaire, mais il est le siège d'une tectonique distensive qui s'est traduite par la création de demi-grabens le long de sa bordure orientale. Cette nouvelle configuration, conjuguée au glacio-eustatisme est à l'origine du développement de *fan deltas*, qui remanient à la fois les sédiments issus de la destruction des bioconstructions à Bryozoaires de la plate-forme carbonatée du « sous-bassin de Khabt-El-Hejar » et les apports terrigènes transportés par les glaciers et les vents froids à partir de la chaîne panafricaine et les termes anciens de sa couverture.

Durant l'Ashgill inférieur et une partie de l'Ashgill supérieur (formations supérieures des Ktaoua et du deuxième Bani), l'absence de sédimentation peut être expliquée par un régime très froid et une phase d'avancée importante du glacier. En effet, plusieurs phases d'avancée et de retrait du glacier et des variations fréquentes de son régime ont été mises en évidence entre le Caradoc et la base du Silurien [16]. Durant le reste de l'Ashgill supérieur, les deux sous-bassins ne sont plus soumis qu'à la subsidence et à la dynamique glaciaire. Dans le « sous-bassin de Khabt-El-Hejar », les bioconstructions à Bryozoaires continuent à se développer dans la partie centrale de la zone péritidale (Nord-Ouest de Merzane), sous l'effet de l'interaction d'une subsidence plus importante, et de la montée eustatique. Dans le « sous-bassin du Tafilalt occidental », qui n'est plus alimenté que par les apports terrigènes transportés par les glaciers et les vents froids à partir de la chaîne panafricaine et les termes anciens de sa couverture, la montée eustatique est à l'origine de l'installation d'un milieu estuarien.

L'existence, à l'Ordovicien supérieur, d'une plate-forme carbonatée adjacente à un système peritidal mixte carbonaté est une particularité de l'Anti-Atlas oriental.

Cependant, cette région peut être rapprochée de certains domaines de la plate-forme nord-gondwanienne : le Massif armoricain [14,28,33], la Thuringe [22], les Alpes Carniques [31], le synclinal de Buçaco [34], la Sierra Morena et la Celtibérie [8,10,32], le Sud et le Nord de l'Ahaggar [23] et la Tripolitanie [3], où des dépôts carbonatés de même âge sont associés à des dépôts glaciaires.

## Références

- [1] S. Beuf, B. Biju-Duval, O. de Charpal, P. Rognon, O. Gariel, A. Bennacef, Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara, Sédimentation et discontinuités, évolution structurale d'un craton, Publications de l'Institut français du pétrole, 1971 (664 p.).
- [2] T.D. Boreen, N.P. James, Holocene sediment dynamics on a cool-water carbonate shelf, southeastern Australia, *J. Sediment. Petrol.* 63 (1993) 574–588.
- [3] C. Buttler, D. Massa, Late Ordovician bryozoans from carbonate buildups, Tripolitania, Libya, in : *Bryozoans in space and time, Proceedings of the 10th International Bryozoology Conference*, Wellington, Nouvelle-Zélande, 1996, pp. 63–68.
- [4] L. Clariond, Étude stratigraphique sur les terrains du Sud marocain. La série primaire du Sargho, du Maider et de Tafilalt, *Publ. Assoc. Geol. Mediterr. Occident., Géologie des chaînes nord-africaines*, Barcelone 5 (12) (1935) 3–10.
- [5] J. Destombes, Notice explicative de la carte géologique au 200 000<sup>e</sup> : Tafilalt-Taouz, Rapport inédit du Serv. Geol. Maroc (1987) (87 p.).
- [6] J. Destombes, H. Hollard, S. Willefert, Lower Paleozoic rocks of Morocco, in : C.H. Holland (Ed.), *Lower Paleozoic of north-western and West Central Africa*, J. Wiley and Sons, Chichester, UK, 1985, pp. 91–336.
- [7] J. Fabre, Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines, SNED, Alger, 1976 (422 p.).
- [8] A.R. Fortuin, Late Ordovician glaciomarine deposits (Orea shale) in the Sierra De Albarracin, Spain, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 48 (1984) 245–261.
- [9] L.A. Frakes, J.E. Francis, J. Syktus, *Climate modes of the Phanerozoic, the history of the Earth's climate over the past 600 million years*, Cambridge University Press, 1992, p. 274.
- [10] S.A. Fuganti, E. Serpagli, Geological remarks on Urbana limestone and evidence for its Upper Ordovician age by means of Conodonts, Eastern-Sierra Morena, South Spain, *Boll. Soc. Geol. It.* 87 (1968) 511–521.
- [11] R. Guiraud, W. Bosworth, J. Thierry, A. Delplanque, Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview, *J. Afr. Earth Sci.* 43 (2005) 83–143.
- [12] J.C. Gutierrez Marco, J. Saavadea, I. Rabano (Eds.), *Paleozoico Inferior de Ibero-America*, 1992.
- [13] M.J. Hambrey, The Late Ordovician–Early Silurian glacial period, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 51 (1–4) (1985) 273–289.
- [14] N. Hamoumi, Analyse sédimentologique des formations de l'Ordovicien supérieur en presqu'île de Crozon (Massif armoricain), Comparaison des coupes du Veryarch et de l'Aber-Kergliuti, thèse 3<sup>e</sup> cycle, université de Bretagne occidentale, Brest, 1981 (224 p.).

- [15] N. Hamoumi, La plate-forme ordovicienne du Maroc : dynamique des ensembles sédimentaires, thèse d'État, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 1988.
- [16] N. Hamoumi, Upper Ordovician glaciation spreading and its sedimentary record in Moroccan North Gondwana margin, *Acta Univ. Carol. – Geol.* 43 (1–2) (1999) 111–114.
- [17] N. Hamoumi, F. Guillocheau, A. Pelhate, L'Ordovicien supérieur ouest-armoricain : une période complexe d'interaction climatiques (glaciation), volcaniques et tectoniques (distension), *Notes Mem. Serv. Geol. Maroc*, Rabat 335 (1989) 77–88.
- [18] N.P. James, Reef environment, in : P.A. Scholle, D.G. Bebout, C.H. Moore (Eds.), *Carbonate depositional environments*, Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 33, 1983, pp. 346–440.
- [19] N.P. James, Y. Bone, Origin of a cool-water, Oligo-Miocene deep shelf limestone, Eucla Platform, southern Australia, *Sedimentology* 38 (1991) 323–341.
- [20] F. Joly, Études sur le relief du Sud-Est marocain, *Travaux de l'Institut Chérifien. Géologie et Géographie physique*, Rabat, 10, 1962 (578 p.).
- [21] B. Jones, A. Desrochers, Shallow platform carbonates, in : R.G. Walker, N.P. James (Eds.), *Facies models response to sea level change*, 1992, pp. 277–301.
- [22] J. Knupfer, Zur Fauna und Biostratigraphie des Ordoviziums (grüfenthaler Schichten) in Thüringen, *Freiberg. Forschungsh. C* 220 (1967) 1–119.
- [23] P. Le Grand, Lower Paleozoic rocks of Algeria, in : C.H. Holland (Ed.), *Lower Paleozoic rocks of the world*, vol 4: Lower Palaeozoic of northwestern and west-central Africa, Wiley, New York, 1985, pp. 5–89.
- [24] P. Maillet, Étude géochimique de quelques séries spilitiques du Massif armoricain. Implications géotectoniques, thèse 3<sup>e</sup> cycle, Rennes, 1977.
- [25] J.F. Marshall, P.J. Davies, Skeletal carbonate variation on the continental shelf of eastern Australia, *BMR J. Aust. Geol. Geophys.* 3 (1978) 85–92.
- [26] C.S. Nelson, G.E. Hancock, P.J.J. Kamp, Shelf to basin, temperate skeletal carbonate sediments, Three Kings Plateau, New Zealand, *J. Sediment. Petrol.* 52 (1982) 717–732.
- [27] W. Nemec, R.J. Steel, Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravely mass-flow deposits, E.H. Koster, R.J. Steel (Eds.), *Sedimentology of gravels and conglomerates*, *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 10 (1984) 1–31.
- [28] F. Paris, A. Pelhate, M. Weyant, Conodontes ashgilliens dans la formation de Rosan, coupe de Lostmarc'h (Finistère, Massif armoricain), *Conséquences paléogéographiques*, *Bull. Soc. géol. mineral. Bretagne (c) XIII (2)* (1981) 15–35.
- [29] H. Perroud, R. Van Der Voo, N. Bonhomme, Paleozoic evolution of the Armorica plate on the basis of paleomagnetic data, *Geology* 12 (1984) 579–582.
- [30] C.P. Rao, Criteria for recognition of cold-water carbonate sedimentation, Berriedale limestone (Lower Permian), Tasmania, Australia, *J. Sediment. Petrol.* 51 (1981) 491–506.
- [31] H.P. Schonlaub, Stratigraphy, biogeography and paleoclimatology of the Alpine Paleozoic and its implications for plate movements, *Jahrb. Geol. Bundesanst.* 135 (1992) 381–418.
- [32] E. Villas Pedruelo, Braquiopodos del Ordovícico Medio y Superior de las Cadenas Ibericas Orientales, *Memorias del museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, 1, 1985.
- [33] M. Weyant, F. Dore, J. Le Gall, J. Poncet, Un épisode calcaire ashgillien dans l'Est du Massif armoricain ; incidence sur l'âge des dépôts glacio-marins fini-ordoviciens, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 284 (1977) 1147–1149.
- [34] T.P. Young, The lithostratigraphy of Upper Ordovician of central Portugal, *J. Geol. Soc. Lond.* 145 (1988) 377–392.