

Le passage Ordovicien–Silurien et la partie inférieure du Silurien (Sud-Est du Massif armoricain, France)

José Manuel Piçarra^a, Michel Robardet^{b,*}, Ahmed Bourahrouh^b, Florentin Paris^b, Zélia Pereira^c, Jean Le Menn^d, Rémy Gourvennec^d, Tomás Oliveira^e, Hubert Lardeux^b

^a Instituto Geológico e Mineiro, Ap. 104, 7802-902 Beja, Portugal

^b Géosciences-Rennes, UMR 6118 CNRS, université Rennes-1, campus de Beaulieu, bât. 15, 35042 Rennes cedex, France

^c Instituto Geológico e Mineiro, rua da Amieira, 4465 S. Mamede de Infesta, Portugal

^d Domaines océaniques, UMR 6538 CNRS, université de Bretagne occidentale, UFR Sciences, 6, av. Victor-Le-Gorgeu, BP 809, 29285 Brest cedex, France

^e Instituto Geológico e Mineiro, Ap. 7586, 2720 Alfragide, Portugal

Reçu le 14 juin 2002 ; accepté le 22 octobre 2002

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – The Ordovician–Silurian transition and the lower part of the Silurian (southeastern Armorican Massif, France). A new section in the Silurian graptolitic ‘phtanites’ (black cherts) of Les Fresnaies at Chalonnes-sur-Loire (SE Armorican Massif) shows for the first time that these rocks (1) succeed conformably to Uppermost Ordovician (Hirnantian) glaciomarine deposits and (2) contain successive graptolite assemblages that characterise the base of the Silurian, the whole Rhuddanian and Aeronian stages and the lower part of the Telychian. *To cite this article: J.M. Piçarra et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 1177–1183.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Upper Ordovician / Silurian / Armorican Massif / France / graptolites / stratigraphy

Résumé – L’étude d’une nouvelle coupe dans les phtanites à graptolites du Silurien des Fresnaies à Chalonnes-sur-Loire (Sud-Est du Massif armoricain) montre, pour la première fois, que ces phtanites (1) succèdent en concordance à des niveaux glaciomarins de l’Ordovicien terminal (Hirnantien) et (2) livrent des assemblages successifs de graptolites, qui caractérisent la base du Silurien, l’ensemble des étages Rhuddanien et Aéronien et la partie inférieure du Telychien. *Pour citer cet article : J.M. Piçarra et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 1177–1183.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Ordovicien supérieur / Silurien / Massif armoricain / France / graptolites / stratigraphie

Abridged version

1. Introduction

The famous locality of Silurian graptolite-bearing ‘phtanites’ (black cherts) of Les Fresnaies, at Chalonnes-sur-Loire, is situated in the southeastern part of the Armorican Massif, about 20 km southwest of Angers, within the Ancenis Unit of the Ligerian Domain. The new palaeontological and stratigraphical data collected at this locality,

in a recent artificial section, allow the Ordovician–Silurian transition and a large part of the Lower Silurian (Llan-doverly) to be studied in detail for the first time.

2. The Ligerian domain

In the present-day structure of the Armorican Massif (Fig. 1), the northern branch of the South-Armorican Shear Zone separates the Mid-North Armorican Domain and the

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : michel.robardet@univ-rennes1.fr (M. Robardet).

South Armorican Domains, which comprise southern Brittany, the Ligerian and the Vendean Domains [16, 17, 25].

Within the Ligerian units of Saint-Julien-de-Vouvantes, Saint-Georges-sur-Loire and Ancenis, the pre-Carboniferous Palaeozoic rocks occur in the form of small outcrops, dispersed within formations whose age remains uncertain in the first two units, but is Early Carboniferous in the Ancenis Unit [2, 23]. The most satisfactory interpretation [9–11] considers these small outcrops as olisthostromes and olistholiths re-deposited within Early Carboniferous basins. The original succession of the pre-Carboniferous Palaeozoic, reconstructed from the isolated blocks, clearly differs from that of the Mid-North Armorican Domain, although both show North-Gondwanan characteristics. The Ligerian formations have more argillaceous lithologies, more abundant pelagic faunas and benthonic faunas with strong Bohemian affinities [13–16]. The absence of any transitional area between the southern part of the Mid-North Armorican Domain and the Ligerian units indicates that their present juxtaposition along the Northern Branch of the South-Armorican Shear Zone was established during the Variscan (Hercynian) Orogeny.

3. The Silurian of the Ligerian domain

The Ligerian units comprise numerous outcrops of Silurian graptolite-bearing black cherts (phtanites), which do not exist in the Mid-North Armorican Domain [14, 16]. These black siliceous rocks constitute rather thin beds (a few centimetres to a few decimetres) interbedded with black shales. Their outcrops are generally discontinuous, only a few metres thick, and the relations with the surrounding rocks have never been observed clearly. These phtanites and their graptolite faunas have been known for a long time [1, 6], and it was admitted that they represented the middle part of the Llandovery. Other Silurian rocks, of different ages, were also identified locally within the Ligerian units, but they are much more rare [13].

4. The Silurian phtanites at Les Fresnaies

Les Fresnaies (ESE of Chalonnes-sur-Loire) is certainly the most famous locality of graptolite-bearing phtanites, owing to the abundance, diversity, and good preservation of the graptolites. This locality is situated in the southeastern part of the Ancenis Unit, in the so-called ‘Tombeau-Leclerc Unit’, which is a fault-bounded narrow band that stretches out for 20 km between Montjean-sur-Loire and Chaudfond-sur-Layon. This unit, already identified by Davy [7], was regarded successively as an anticline [4], a horst [5], and, since Dubreuil [9, 10], as a complex olisthostrome re-deposited in the lowermost part of the Dinantian of the Ancenis Basin.

The fossiliferous locality was discovered by Davy [6, 7] and the graptolite faunas were first studied by Barrois and later revised on several occasions. In the most recent revision, Philippot [21] identified 17 species (see full list in the French text) and concluded that the graptolite fauna was indicative of the ‘middle and upper Birkill and lower

Gala’, which corresponds, in modern terminology [12], to the ‘middle’ part of the Llandovery (Aeronian and Basal Telychian), from the *Demirastrites triangulatus* Biozone up to the *Spirograptus turriculatus* Biozone. Philippot [21] considered also that the fauna was the same in the whole outcrop and that subdivision into distinct biozones was not possible, contrary to the idea ventured previously by Péneau [20].

In the vicinity of Les Fresnaies, isolated occurrences of fossiliferous Wenlock and Ludlow shales were later identified [4]. On another hand, several authors [4, 5, 8, 10] noted the occurrence of siltstones containing abundant millimetre-scale quartz grains, always cropping out close to the phtanites, but the precise relations between the two types of rocks could be observed nowhere.

5. Les Fresnaies locality: new data on the Ordovician–Silurian transition and the lower Silurian

The new data exposed below come from an artificial section in a new commercial area (Fig. 2) to the southeast of Chalonnes-sur-Loire (Lambert coordinates $X = 366.1$, $Y = 265.25$, topographic map 1:50 000 Chalonnes-sur-Loire XIV-22). The new section (Fig. 3) shows about 10 m of interbedded phtanites and black shales and the contact with grey shales (2 m) that succeed to brown and grey siltstones (about 30 m) containing dispersed rock fragments and abundant quartz grains.

The clast-bearing siltstones show the typical lithofacies of the glaciomarine sediments that occur in the uppermost part of the Ordovician in most North-Gondwanan regions [24] where they have yielded, in several areas, chitinozoan assemblages of the Hirnantian *Tanuchitina elongata* Biozone [18]. Micropalaeontological investigations at Les Fresnaies [3] have shown that the clast-bearing siltstones and the lower half of the grey shales contain also chitinozoan assemblages of the *Tanuchitina elongata* Biozone. It thus appears that the rock sequence is overturned and the siltstones that apparently overlie the phtanites are actually older.

The lowermost part of the phtanites (between 5 and 110 cm above the base; Nos. 24–29, Figs. 3 and 4) has yielded the graptolites *Akidograptus ascensus*, *Parakidograptus acuminatus*, *Neodiplograptus elongatus*, *N. lanceolatus*, *Normalograptus angustus*, *N. trifilis*, *N. normalis*, *Cystograptus ancestralis* and *Glyptograptus* sp. This assemblage is characteristic of the *Parakidograptus acuminatus* Biozone that constitutes the base of the Silurian (base of the Rhuddanian stage of the Llandovery). These levels have also yielded chitinozoans of the *Spinachitina fragilis* Biozone, which is the lowermost chitinozoan biozone of the Rhuddanian.

The whole phtanite sequence is fossiliferous and has yielded graptolite assemblages characterising different successive biozones of the Llandovery (Nos. 30 to 43, Figs. 3 and 4). The presence of a fault has not disturbed strongly the sequence, since a normal and complete succession of

the Rhuddanian, Aeronian and lower Telychian graptolite biozones is observed, with graptolite assemblages characteristic of:

- the *Cystograptus vesiculosus* Biozone between 125 and 175 cm above the base (Nos. 30, 31),
- the *Coronograptus cyphus* Biozone (uppermost biozone of the Rhuddanian) in samples 32 to 35,
- the *Demirastrites triangulatus*–*Demirastrites pectinatus* Biozone in samples 36 and 37,
- Aeronian assemblages in samples 38–41, with possibly sample 38 in the *Monograptus argenteus* Biozone and samples 39 to 41 in the Middle Aeronian,
- the Latest Aeronian *Stimulograptus sedgwickii* Biozone in sample 42,
- finally, the Early Telychian in sample 43.

6. Conclusions

These new data show that, at Les Fresnaies:

- (1) the Silurian black cherts and black shales overlie directly a sequence of siltstones that comprises mainly clast-

bearing lithofacies typical of the Hirnantian glaciomarine diamictites, and ends with 2 m of clast-free shales;

(2) contrary to what was supposed up to now, the graptolite assemblages found in the black cherts allow identification of several distinct graptolite biozones;

(3) these black cherts are not restricted to the middle part of the Llandovery, but include the base of the Silurian and correspond to the whole Rhuddanian and Aeronian stages, and at least to the base of the Telychian;

(4) chitinozoans give the most precise information on the position of the Ordovician–Silurian boundary.

Finally, it must be noted that the identification of the Basal Silurian *Parakidograptus acuminatus* graptolite biozone, at Les Fresnaies and also at Gouarec (Fig. 1), in the southeastern part of the Châteaulin Synclinorium of the Mid-North Armorican Domain [22], contradicts the currently accepted idea that, in the whole Armorican Massif, the Ordovician and the Silurian Systems were separated by an important hiatus, including the lower part of the Llandovery Series.

1. Introduction

Le célèbre gisement de phanites à graptolites du Silurien des Fresnaies, à Chalonnes-sur-Loire (Maine-et-Loire), se situe dans la partie sud-est du Massif armoricain, à une vingtaine de kilomètres au sud-ouest d'Angers, au sein de l'unité d'Ancenis du Domaine ligérien. Les nouvelles données paléontologiques et stratigraphiques recueillies dans une coupe récente, d'une qualité exceptionnelle pour la région, permettent l'étude détaillée de la transition Ordovicien-Silurien et d'une partie importante du Silurien inférieur (Llandovery), toutes deux jusqu'à présent très mal connues dans l'ensemble des unités ligériennes.

2. Le Domaine ligérien

Dans la structure actuelle du Massif armoricain (Fig. 1), la branche nord de la Zone de cisaillement sud-armoricaine, qui s'étend de la Pointe-du-Raz à l'ouest jusqu'à Angers à l'est, sépare deux ensembles géologiques sensiblement différents, avec, au nord, le Domaine médio-nord-armoricain et, au sud, l'ensemble des domaines sud-armoricains, qui comprennent la Bretagne méridionale, le Domaine ligérien et le Domaine vendéen [13, 16, 17, 25].

Dans les trois unités ligériennes de Saint-Julien-de-Vouvantes, de Saint-Georges-sur-Loire et d'Ancenis, les affleurements du Paléozoïque ante-Carbonifère constituent des « pointements » isolés, dispersés au sein de formations d'âge incertain dans les deux premières unités, mais en partie datées du Carbonifère

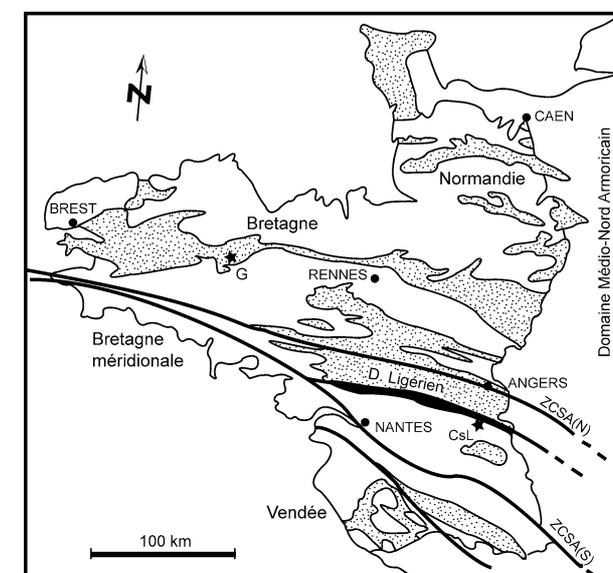


Fig. 1. Les principaux domaines paléozoïques (pointillés) du Massif armoricain (en noir : Unité d'Ancenis). ZCSA : Zone de cisaillement sud-armoricaine, (N) branche nord, (S) branche sud. CsL : Chalonnes-sur-Loire ; G : Gouarec.

Fig. 1. Main Palaeozoic (dotted) domains in the Armorican Massif (Ancenis Unit in black). ZCSA: South-Armorican Shear Zone, (N) northern branch, (S) southern branch. CsL: Chalonnes-sur-Loire; G: Gouarec.

inférieur dans celle d'Ancenis [2, 23]. L'interprétation jusqu'à présent la plus satisfaisante a été proposée par Dubreuil [9–11], qui considérait ces éléments comme des olistholites et olisthostromes, redéposés dans des bassins d'âge Carbonifère inférieur.

La succession ante-Carbonifère du Domaine ligérien, reconstituée à partir de l'inventaire de ces blocs, est sensiblement différente de celle qui existe dans l'ensemble du Domaine médio-nord-armoricain, bien que toutes deux présentent des caractères nord-gondwaniens. Elle se caractérise par des formations originales, aux lithologies nettement plus argileuses, par des faunes pélagiques plus fréquentes et par des faunes benthiques présentant de fortes affinités avec celles du Domaine barrandien de Bohême en République tchèque [13–16]. Il n'existe pas de transition progressive entre le Domaine médio-nord-armoricain et le Domaine ligérien ; leur juxtaposition, le long de la branche nord de la Zone de cisaillement sud-armoricaine, s'est faite au cours de la tectonique hercynienne.

3. Le Silurien du Domaine ligérien

Les trois unités ligériennes de Saint-Julien-de-Vouvantes, de Saint-Georges-sur-Loire et d'Ancenis comportent de nombreux affleurements de « phtanites » à graptolites du Silurien, faciès qui sont totalement inconnus dans le Domaine médio-nord-armoricain, et qui apparaissent ainsi comme une des caractéristiques propres au Domaine ligérien [14, 16]. Ces phtanites sont des roches siliceuses noires, à texture compacte et à cassure esquilleuse ou conchoïdale, qui constituent généralement des bancs peu épais, de quelques centimètres à quelques décimètres, interstratifiés avec des schistes noirs ampéliteux. Leurs affleurements, de faible continuité latérale, ne montrent généralement pas plus de quelques mètres d'épaisseur et leurs relations avec les roches avoisinantes n'ont jamais été clairement observées [4, 10]. Ces phtanites et leurs faunes de graptolites sont connus depuis longtemps [1, 6] ; il était admis jusqu'à présent que ces roches correspondaient uniquement à la partie moyenne du Llandovery.

D'autres faciès siluriens, d'âges différents, ont également été reconnus dans les unités ligériennes, mais leurs affleurements, très ponctuels, sont beaucoup plus rares [13].

4. Les phtanites des Fresnaies

La plus célèbre des localités de phtanites à graptolites du Domaine ligérien est, sans aucun doute, en raison de l'abondance, de la diversité et de la bonne conservation des graptolites, celle des Fresnaies, à l'ESE de Chalonnes-sur-Loire (Fig. 2). Elle se situe dans la partie sud-est de l'unité d'Ancenis et, plus précisément, dans « l'unité du Tombeau-Leclerc », qui constitue un étroit compartiment, d'orientation WNW–ESE, individualisé entre deux longues failles

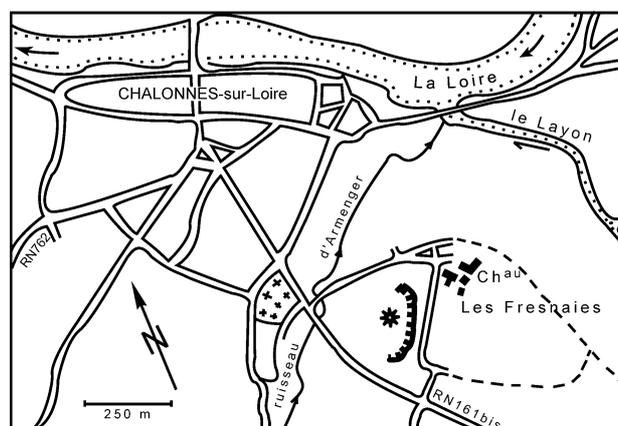


Fig. 2. Localisation de la nouvelle coupe des Fresnaies à Chalonnes-sur-Loire.

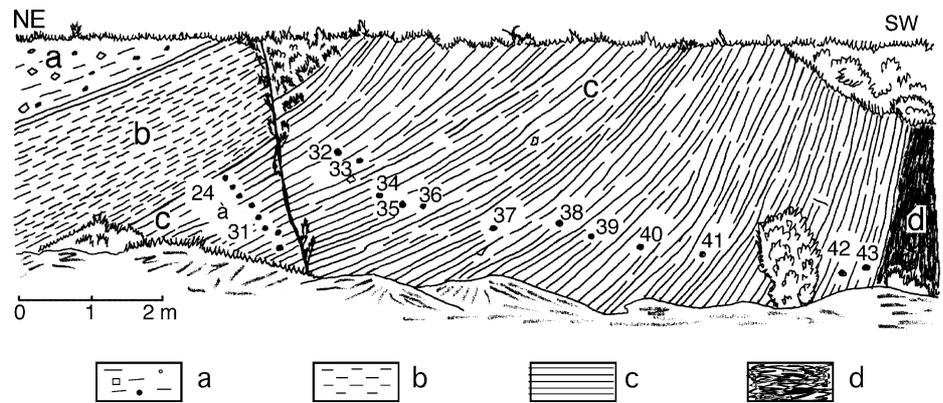
Fig. 2. Localisation of the new section of Les Fresnaies at Chalonnes-sur-Loire.

et qui s'étend sur environ 20 kilomètres entre Montjean-sur-Loire et Chaudefonds-sur-Layon. Cette « unité du Tombeau-Leclerc » est constituée d'un « complexe » (épaisseur 400 ? à 500 ? m) de schistes et grès, d'âge indéterminé (« Siluro-Dévonien » ?), au sein duquel des affleurements ponctuels ont livré des faunes permettant d'affirmer la présence de phtanites à graptolites du Llandovery, de schistes à graptolites et calcaires du Wenlock et du Ludlow et de calcaires du Dévonien inférieur [4, 5, 9]. Cette unité, dont l'individualité avait déjà été reconnue par Davy [7], a successivement été considérée comme un anticlinal [4], un horst [5] et, depuis Dubreuil [9, 10], comme un olisthostrome, mis en place à la base du Dinantien du bassin d'Ancenis.

La localité fossilifère des Fresnaies fut découverte par Davy [6, 7], qui en rapporta les faunes de graptolites à l'« horizon de Malville-en-Saffré », sur la base des déterminations de Barrois, qui correspondaient aux faunes déjà connues dans d'autres gisements de phtanites sud-armoricains [1]. Elle fut ensuite réétudiée à plusieurs reprises ; la révision la plus récente de sa faune fut celle de Philippot [21], qui y détermina les 17 espèces de graptolites suivantes : « *Monograptus jaculum* Lapw., *M. Renaudi* Philippot, *M. Sedgwicki* Portl., *M. gemmatus* Barr., *M. lobiferus* M'Coy, *M. Barrandei* Suess, *M. Clingani* Carr., *M. triangulatus* Harkn., *M. convolutus* Hising., *M. urceolus* Richt., *M. decipiens* Tornq., *M. spiralis* Geinitz, *Rastrites peregrinus* Barr., *Climacograptus Törnquisti* Elles-Wood, *Orthograptus bellulus* Tornq., *Glyptograptus tamariscus* Nich. et *Retiolites obesus* Lapw ». Pour cet auteur, les phtanites des Fresnaies étaient d'âge « Gothlandien inférieur ou Valentien », c'est-à-dire Llandovery, et correspondaient dans leur ensemble « aux zones 19 à 22 des îles Britanniques, c'est-à-dire au Birkill moyen, au

Fig. 3. Coupe de l'Ordovicien terminal et du Silurien inférieur (Llandovery) dans la localité des Fresnaies et position des échantillons (24 à 43) étudiés (d'après photographie). **a** : « Pélites à fragments » ; **b** : shales gris ; **c** : phtanites et ampélites ; **d** : niveaux écrasés.

Fig. 3. Uppermost Ordovician and Lower Silurian (Llandovery) section at Les Fresnaies, with position (24 to 43) of studied samples (after photograph). **a**: Clast-bearing siltstones; **b**: grey shales; **c**: black cherts and black shales; **d**: tectonised levels.



Birkill supérieur et au Gala inférieur», ce qui, dans la terminologie actuelle [12], correspond à la partie « moyenne » du Llandovery (Aéronien et Telychien basal), depuis la Biozone de *Demirastrites triangulatus* jusqu'à celle de *Spirograptus turriculatus*. Par ailleurs, Philippot [21] considérait qu'il était « impossible de diviser la masse des phtanites en plusieurs zones » et que ce gisement ne présentait pas l'intérêt stratigraphique que Péneau [20] avait cru pouvoir envisager. Cet âge Llandovery « moyen » fut ensuite adopté pour tous les phtanites ligériens, le plus souvent désignés sous le nom de « phtanites à *Monograptus lobiferus* » dans les travaux de géologie régionale et les notices explicatives des cartes géologiques.

Aux environs immédiats du gisement des Fresnaies furent ensuite reconnus ponctuellement des schistes bruns du Wenlock et du Ludlow [5]. Enfin, plusieurs auteurs [4, 5, 8, 10] avaient noté l'existence de faciès terrigènes particuliers, grès argileux ou pélites, riches en grains de quartz sphériques de 1 à 2 mm dispersés au sein de la roche. Ces faciès, reconnus dans toute la partie orientale de l'unité d'Ancenis, affleuraient toujours au voisinage des phtanites à graptolites et même apparemment en étroite association avec ceux-ci [8], mais sans que leurs relations précises puissent réellement s'observer. L'âge de ces faciès restait inconnu et leur interprétation supposait « un ou plusieurs épisodes d'émergence survenus au cours du Silurien et du Dévonien tout à fait inférieur » [5].

5. Le gisement des Fresnaies : données nouvelles sur la transition Ordovicien–Silurien et le Llandovery

Les travaux accompagnant l'installation d'une « zone artisanale et commerciale » au sud-est de Chalonnes-sur-Loire ont mis à jour, au voisinage immédiat des Fresnaies (Fig. 2), une séquence constituée d'une dizaine de mètres de phtanites et ampélites et d'un ensemble de *siltstones* bruns à gris, mal stratifiés, dont

l'épaisseur visible avoisine 30 m (coordonnées Lambert X = 366,1, Y = 265,25 feuille topographique 1:50 000 Chalonnes-sur-Loire XIV-22). Cette coupe (Fig. 3) est donc d'une qualité exceptionnelle pour la région, puisqu'elle montre une épaisseur de phtanites bien supérieure à celle visible antérieurement et que le contact avec les *siltstones* est, pour la première fois, clairement observable.

Les deux derniers mètres de l'ensemble silteux, au contact des phtanites, montrent des faciès fins, homogènes, de couleur grise (**b**, Fig. 3). La plupart des niveaux silteux sous-jacents contiennent des grains de quartz dispersés au sein de la matrice argilo-micacée et certains d'entre eux des fragments de roche pluricentimétriques (**a**, Fig. 3). Ils présentent ainsi le faciès typique des « pélites à fragments » (ou « argiles microconglomératiques »), caractéristique des dépôts glaciomarins reconnus dans la partie sommitale de l'Ordovicien de nombreuses régions nord-gondwaniennes [22]. Dans plusieurs de ces régions, ces « pélites à fragments » ont livré des assemblages de chitinozoaires correspondant à la Biozone à *Tanuchitina elongata*, d'âge Ordovicien terminal, Hirnantien [17]. L'étude des chitinozoaires [3] a permis de dater avec précision les « pélites à fragments » de la coupe des Fresnaies qui livrent *Tanuchitina elongata*, *Lagenochitina baltica*, *Calpichitina lenticularis* et *Armoricochitina nigerica* et appartiennent également à la Biozone à *Tanuchitina elongata*. Ceci, comme la succession des biozones de graptolites reconnue dans les phtanites (voir ci-dessous), montre que les couches, orientées N 150 à 160° sont déversées vers l'ouest (pendages 40°E) et que les *siltstones*, qui semblent reposer sur les phtanites, sont en fait plus anciens.

La partie basale des phtanites, entre 5 et 110 cm au-dessus de la base (n^{os} 24–29, Figs. 3 et 4), a livré les graptolites *Akidograptus ascensus*, *Parakidograptus acuminatus*, *Neodiplograptus elongatus*, *N. lanceolatus*, *Normalograptus angustus*, *N. trifilis*, *N. nor-*

malis, *Cystograptus ancestralis* et *Glyptograptus* sp. Cet assemblage est caractéristique de la Biozone à *Parakidograptus acuminatus*, qui est la zone de base du Rhuddanien. Il comprend les espèces qui sont les plus importantes du point de vue stratigraphique et qui sont largement présentes dans l'ensemble des régions nord-gondwaniennes. *N. lanceolatus* caractérise les parties inférieure et moyenne de la biozone, alors que *N. trifilis* et *Cystograptus ancestralis* caractérisent la partie moyenne. L'espèce nominale de la biozone, *Parakidograptus acuminatus*, a été identifiée à 30 cm au-dessus de la base des phtanites. Ces premiers niveaux de phtanites ont également livré [3] des chitinozoaires (*Cyathochitina caputoi*, *Ancyrochitina* gr. *ancyrea*, *Spinachitina fragilis*) de la Biozone à *Spinachitina fragilis*, première biozone de chitinozoaires du Rhuddanien [26]. Aucun graptolite n'a été observé dans l'ensemble pélitique et le dernier mètre de shales gris n'a livré aucun chitinozoaire. Ceci laisse persister une légère incertitude sur l'emplacement exact de la limite Ordovicien–Silurien, et on doit noter que la dernière des biozones de chitinozoaires de l'Ordovicien nord-gondwanien, la Biozone à *Spinachitina oulebsiri* [19], n'a pas été identifiée dans cette coupe des Fresnaies. Toutefois, compte tenu de ce qui est connu dans d'autres régions nord-gondwaniennes, le plus vraisemblable est que la limite entre les deux systèmes se situe à la base des phtanites.

Le reste de la séquence de phtanites et ampélites a livré des faunes de graptolites abondantes et variées (environ 40 espèces), dont l'inventaire exhaustif n'est pas achevé. Néanmoins, l'étude des assemblages de graptolites a déjà permis d'identifier différentes biozones du Llandovery. L'existence d'une faille, visible à l'affleurement, n'a pas perturbé de manière importante la séquence, puisque les assemblages de graptolites récoltés montrent une succession normale et complète des biozones de graptolites de la partie inférieure et moyenne du Llandovery correspondant à l'ensemble du Rhuddanien, à l'Aéronien et à la base du Telychien. Les phtanites compris entre 125 et 175 cm au-dessus de la base (n^{os} 30 et 31, Figs. 3 et 4) livrent un assemblage de graptolites caractéristique de la Biozone à *Cystograptus vesiculosus*. Les niveaux 32 à 35 appartiennent à la Biozone à *Coronograptus cyphus* du sommet du Rhuddanien et les niveaux 36 et 37 à la Biozone à *Demirastrites triangulatus–Demirastrites pectinatus* de la base de l'Aéronien. Les niveaux 38 à 41 livrent des formes appartenant encore à l'Aéronien ; toutefois, l'attribution du niveau 38 à la Biozone à *Monograptus argenteus* reste incertaine, en raison de la mauvaise conservation du matériel. Les espèces présentes dans les niveaux 39 à 41 correspondent à la partie moyenne de l'Aéronien, bien que l'espèce index de biozone, *Lituigraptus convolutus*, n'ait pas été reconnue. Le niveau 42

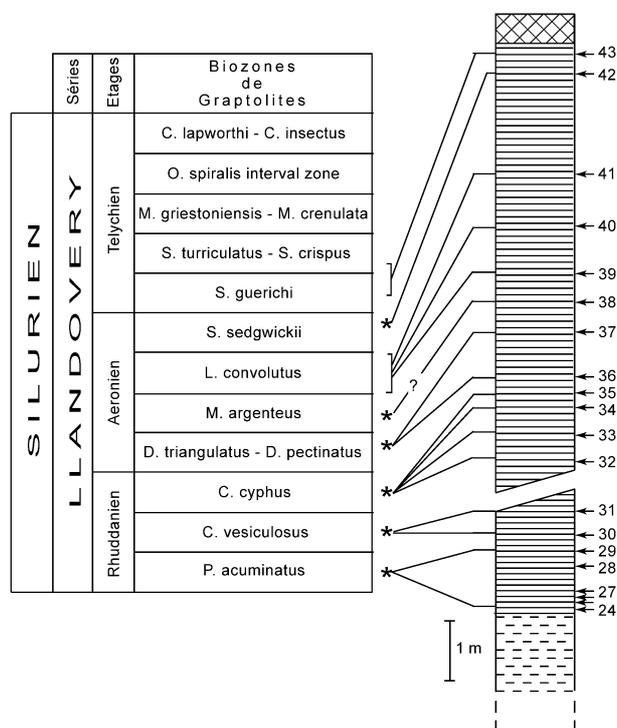


Fig. 4. Les biozones de graptolites du Llandovery identifiées dans les phtanites de la coupe des Fresnaies. Biozonation d'après Koren et al. [12] ; numérotation des échantillons comme sur la Fig. 3 ; tirets : shales gris ; rayures horizontales : phtanites et ampélites ; croisillons : niveaux écrasés.

Fig. 4. Llandovery graptolite biozones identified in the black cherts at Les Fresnaies. Biozonation after Koren et al. [12]; sample numbering as in Fig. 3; dashed: grey shales; horizontal stripes: black cherts and black shales; crosshatched: tectonised crushed levels.

a livré un assemblage correspondant à la Biozone à *Stimulograptus sedgwickii* du sommet de l'Aéronien. Enfin, le niveau 43 contient un assemblage de la partie inférieure du Telychien.

6. Conclusions

Ces données nouvelles montrent que :

- (1) les phtanites à graptolites succèdent directement à un ensemble essentiellement silteux comportant les faciès typiques des dépôts glaciomarins de l'Ordovicien terminal nord-gondwanien et livrant des chitinozoaires de la Biozone de *Tanuchitina elongata*, d'âge Hirnantien ;
- (2) contrairement à ce qui était admis jusqu'à présent, il est possible d'identifier diverses biozones de graptolites dans les phtanites du Domaine ligérien ;
- (3) ces phtanites ne correspondent pas seulement à la partie « moyenne » du Llandovery ;
- (4) l'ensemble du Rhuddanien, l'Aéronien et la partie inférieure du Telychien y sont représentés ;

(5) ce sont les chitinozoaires qui fournissent les meilleures indications sur la position de la limite Ordovicien–Silurien.

Enfin, comme cela a déjà été souligné [22], la mise en évidence de la Biozone à *Parakidograptus acuminatus*, biozone basale du Llandovery, et donc du Silurien, dans la localité des Fresnaies mais égale-

ment à Gouarec (Fig. 1), dans la partie sud-est du synclinorium de Châteauain du Domaine médio-nord-armoricain, remet en cause l'idée jusqu'à présent admise que, dans l'ensemble du Massif armoricain, l'Ordovicien et le Silurien étaient séparés par une lacune importante comprenant la partie inférieure du Llandovery.

Remerciements. La présente étude a été réalisée dans le cadre du projet 061-BO (1997–1999) de la coopération scientifique et technique entre la France (ambassade de France au Portugal) et le Portugal (ICCTI). Les figures ont été réalisées par Danièle Bernard (Géosciences-Rennes). Par leurs remarques constructives, J. Chantraine (Orléans) et A. Le Hérisse (Brest) ont permis d'améliorer le texte de cet article. Nous remercions René et Stéphane Thuleau pour les facilités d'accès aux affleurements.

Références

- [1] C. Barrois, Mémoire sur la distribution des Graptolites en France, Ann. Soc. Géol. Nord 20 (1892) 75–191.
- [2] C. Beaupère, Contribution à l'étude de la flore fossile du «Culm» du synclinal d'Ancenis, thèse de 3^e cycle, université Paris-6, 1973, 111 p.
- [3] A. Bourahrouh, Chitinozoaires et palynomorphes de l'Ordovicien supérieur nord-gondwanien : impact de la glaciation ashgillienne, thèse, université Rennes-1, 2002 (n^o d'ordre 2602), 300 p.
- [4] P. Cavet, A. Arnaud, L. Barbaroux, J. Blaise, R. Brossé, L. Chauris, M. Gruet, H. Lardeux, L.-M. Rivière, Notice explicative de la feuille Chalonnnes-sur-Loire à 1:50 000 (n^o 453), Éditions BRGM, 1970, 32 p.
- [5] P. Cavet, H. Lardeux, A. Philippot, Ordovicien et Silurien aux environs de Montjean et Chalonnnes (Maine-et-Loire, Sud-Est du Massif armoricain), Mém. BRGM 73 (1971) 199–212.
- [6] L.P. Davy, Contribution à l'étude géologique des environs de Chalonnnes-sur-Loire (Maine-et-Loire). Terrain Silurien supérieur, Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest de la France, 5^e année (1895) 199–204.
- [7] L. Davy, Ce que l'on croit savoir aujourd'hui sur la constitution géologique des environs de Chalonnnes-sur-Loire, Bull. Soc. Et. Sci. Angers, 35^e année (1905) 91–125.
- [8] H. Diot, Recherches structurales dans la partie orientale du Domaine ligérien (Massif armoricain), thèse 3^e cycle, université de Nantes, 1980, 154 p.
- [9] M. Dubreuil, Hypothèse sur la mise en place, au Dinantien, du complexe du Tombeau-Leclerc (Bassin d'Ancenis, sud-est du Massif armoricain) sous forme d'un olistostrome. Conséquences géodynamiques, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 290 (1980) 1455–1458.
- [10] M. Dubreuil, Évolution géodynamique du Paléozoïque ligérien (Massif armoricain), thèse d'État, université de Nantes, 1986, 258 p.
- [11] M. Dubreuil, Le bassin en décrochement de Saint-Julien-de-Vouvantes-Angers (Carbonifère inférieur du Sud-Est du Massif armoricain), Bull. Soc. géol. France (8) III (2) (1987) 215–221.
- [12] T.N. Koren, A.C. Lenz, D.K. Loydell, M.J. Melchin, P. Storch, L. Teller, Generalized graptolite zonal sequence defining Silurian time intervals for paleogeographic studies, Lethaia 29 (1996) 59–60.
- [13] H. Lardeux, P. Cavet, Paleozoic of the Ligerian Domain, in: J.D. Keppie (Ed.), Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas, Springer Verlag, 1994, pp. 152–156.
- [14] H. Lardeux, J.-J. Chauvel, J.-L. Henry, P. Morzadec, F. Paris, P. Racheboeuf, M. Robardet, Évolution géologique du Massif armoricain au cours des temps ordoviciens, siluriens et dévoniens, Colloques internationaux CNRS 243 (1977) 181–192.
- [15] C. Le Corre, B. Auvray, M. Ballèvre, M. Robardet, Le Massif armoricain, in: A. Piqué (Ed.), Les Massifs anciens de France, Sci. Géol. Bull. 44 (1991) 31–103.
- [16] F. Paris, M. Robardet, Paléogéographie et relations ibéro-armoricaines au Paléozoïque ante-Carbonifère, Bull. Soc. géol. France (7) 19 (1977) 1121–1126.
- [17] F. Paris, M. Robardet, The Variscan Orogeny in the Armorican Massif, Introduction, in: J.D. Keppie (Ed.), Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas, Springer Verlag, 1994, pp. 133–135.
- [18] F. Paris, Z. Elaouad-Debbaj, J.-C. Jaglin, D. Massa, L. Oulebsir, Chitinozoans and Late Ordovician Glacial events on Gondwana, in: J.C. Cooper, M.L. Droser, S. Finney (Eds.), in: Ordovician Odyssey: short papers for the 7th ISOS, Las Vegas, Vol. 77, Pacific Section Society for Sedimentary Geology, 1995, pp. 171–176.
- [19] F. Paris, A. Bourahrouh, A. Le Hérisse, The effects of the final stages of the Late Ordovician glaciation on marine palynomorphs (chitinozoa, acritarchs, leiospheres) in well NI.2 (NE Algerian Sahara), Rev. Palaeobot. Palynol. 113 (2000) 84–104.
- [20] J. Péneau, Présence du genre Retiolites (Graptolithidés) dans les phanites de l'Anjou, Bull. Soc. Et. Sci. Angers, n.s. 64 (1934) 48–52.
- [21] A. Philippot, Les Graptolites du Massif armoricain. Étude stratigraphique et paléontologique, Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne 11 (1950) 1–295.
- [22] J.-M. Piçarra, M. Robardet, F. Paris, H. Lardeux, J.-C. Gutiérrez-Marco, First evidence of the basal Llandovery *Parakidograptus acuminatus* graptolite Biozone in the Armorican Massif (western France). Palaeontology Down Under 2000, Geol. Soc. Austr. Abstr. 61 (2000) 86–88.
- [23] J.-M. Rivière, Le Culm frasnien-dinantien du synclinal d'Ancenis (SE du Massif armoricain) au nord de la Loire, Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne C 9 (1977) 19–57.
- [24] M. Robardet, F. Doré, The Late Ordovician diamictic formations from southwestern Europe: north-Gondwana glaciomarine deposits, Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 66 (1988) 19–31.
- [25] M. Robardet, J. Verniers, R. Feist, F. Paris, Le Paléozoïque anté-varisque de France, contexte paléogéographique et géodynamique, Géol. France (1994) 3–31.
- [26] J. Verniers, V. Nestor, F. Paris, P. Dufka, S. Sutherland, G. Van Grootel, A global Chitinozoa biozonation for the Silurian, Geol. Mag. 132 (1995) 651–666.