

Taphonomie et pétrogenèse des nodules « silico-alumineux » phosphatés de l'Ordovicien (Llanvirnien/Llandeilien) du Massif armoricain *

Jean-François BECQ-GIRAUDON⁽¹⁾, Frédéric TRAUTMANN⁽¹⁾

Mots-clés : Structure diagénétique, Nodule, Composition phosphatée, Llanvirn, Llandeilo, Chlorite, Oolite (Pseudo oolite), Taphonomie, Houle, Milieu haute énergie, Massif armoricain.

Résumé

Les formations grésopélitiques de l'Ordovicien inférieur du Massif armoricain (formations de Traveusot, d'Andouillé et des schistes d'Angers) sont riches en nodules phosphatés souvent fossilifères : constitués de pseudo-oolithes de chlorite (probablement primaires) avec apatite et micas, ils présentent la même composition minéralogique que le minerai de fer oolithique arénigien. Leur genèse intervient très tôt, après le dépôt, à l'interface eau/sédiment : les argiles originelles, à l'état plus ou moins colloïdal, sont mises en mouvement sur le fond, en zone infratidale, sous l'effet de forces hydrodynamiques développées par des vagues de haute énergie. C'est pendant cette translation que sont inclus les fossiles que l'on y retrouve. Leur abondance en fonction de leur localisation géographique et stratigraphique, ainsi que la présence d'une phase détritique plus ou moins abondante, sont reliées à des éléments paléogéographiques.

Abstract

The shale bearing formations of the Lower Ordovician of Brittany (France) are rich in phosphatic nodules : mainly made up of chloritic oolites, with a few apatites and mica, they have the same mineralogic composition as the oolitic iron ore of arenigian age : they appear to have been formed at an early stage of deposition, at the interface water/sediment, as an argillaceous colloïdal deposit which was moved over the bottom by the action of high energy waves. It is during this stage that fossils were included within the nodule. Their relative abundance, both geographic and stratigraphic, is linked with paleogeography.

1. Cadre géologique et géographique de l'étude

1.1. Généralités

Le Paléozoïque anté-carbonifère du domaine centre-armoricain contient, dans l'Ordovicien, plusieurs séquences argilo-silteuses à nodules phosphatés, silteux ou gréseux. Le contenu paléontologique parfois très riche de ces nodules a fait l'objet de nombreuses études (voir Henry, 1980) sans que leur pétrologie et leur genèse soient prises en compte. Leur nature phosphatée n'a été signalée que de façon incidente alors qu'elle présente un caractère systématique et que les sédiments encaissants en sont dépourvus.

Pour leur étude, faite dans le cadre du levé de la

carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Janzé (Ille-et-Vilaine), le choix s'est porté sur les faciès silteux de l'Ordovicien (Llanvirnien-Llandeilien et Caradocien proparte) des formations d'Angers (synclinal de Saint-Julien-de-Vouvantes/Angers), de Traveusot (synclinal de Martigné-Ferchaud) et d'Andouillé (synclinal de Laval), dans la mesure où celles-ci représentent la même séquence sédimentaire chronologique et spatiale (fig. 1 et 2).

1.2. Cadre stratigraphique

Les sédiments llanvirniens, assez uniformes, bien que contenant parfois quelques nodules dispersés, sont, du point de vue faunistique, caractérisés par la présence de graptolites didymograptidés et, localement, par des trilobites à affinités bohémiennes (Henry, 1980). Ce sont généralement des pélites chlorito-micacées grisâ-

* Manuscrit reçu le 19 juillet 1988, accepté le 20 décembre 1989.

(1) Service géologique national, BRGM, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2.

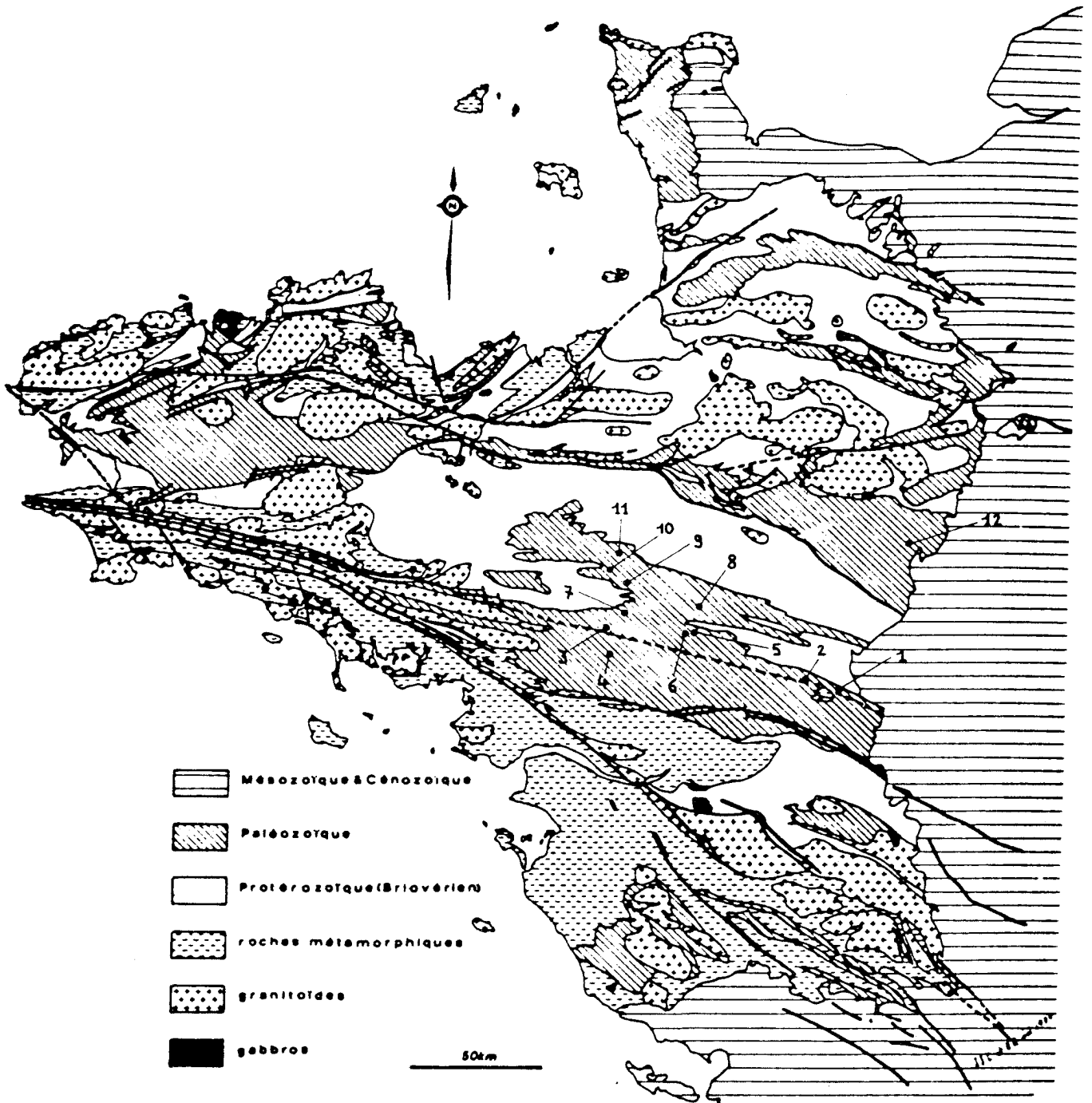


Fig. 1. - Localisation des sites étudiés.

tres à noirâtres, contenant une importante proportion de matière carbonée très fine ; elles sont souvent ardoisières, surtout vers la base, et précédées par de fines alternances gréso-silteuses sombres, termes de passage de l'Arénigien au Llanvirnien. La puissance du niveau llanvirnien est d'environ 170 mètres dans le synclinal de Martigné-Ferchaud, d'après les levés en cours sur la feuille Janzé par l'un des auteurs (Trautmann).

Aux schistes llanvirniens, et après une zone transitoire de pélites micacées, exemptes de nodules, succèdent des faciès silto-micacés gris bleuâtre se chargeant progressivement en nodules, de plus en plus abondants

dans les cent derniers mètres de la série. La faune trilobitique trouvée dans ces nodules correspond au niveau classique à *Neseuretus tristani* (Brongniart) du Llandeilien, en particulier à proximité du mur de la Formation du Châtellier. Ce fait ne peut donc être considéré comme accidentel, mais constitue bien un phénomène majeur à l'échelle du domaine centre-armoricain.

Tous les affleurements étudiés ont permis de vérifier la constance de la répartition verticale et horizontale des nodules ; ils sont statistiquement plus nombreux dans le Llandeilien, en particulier à proximité du mur de la Formation du Châtellier. Ce fait ne peut donc être considéré comme accidentel, mais constitue bien un phénomène majeur à l'échelle du domaine centre-armoricain.

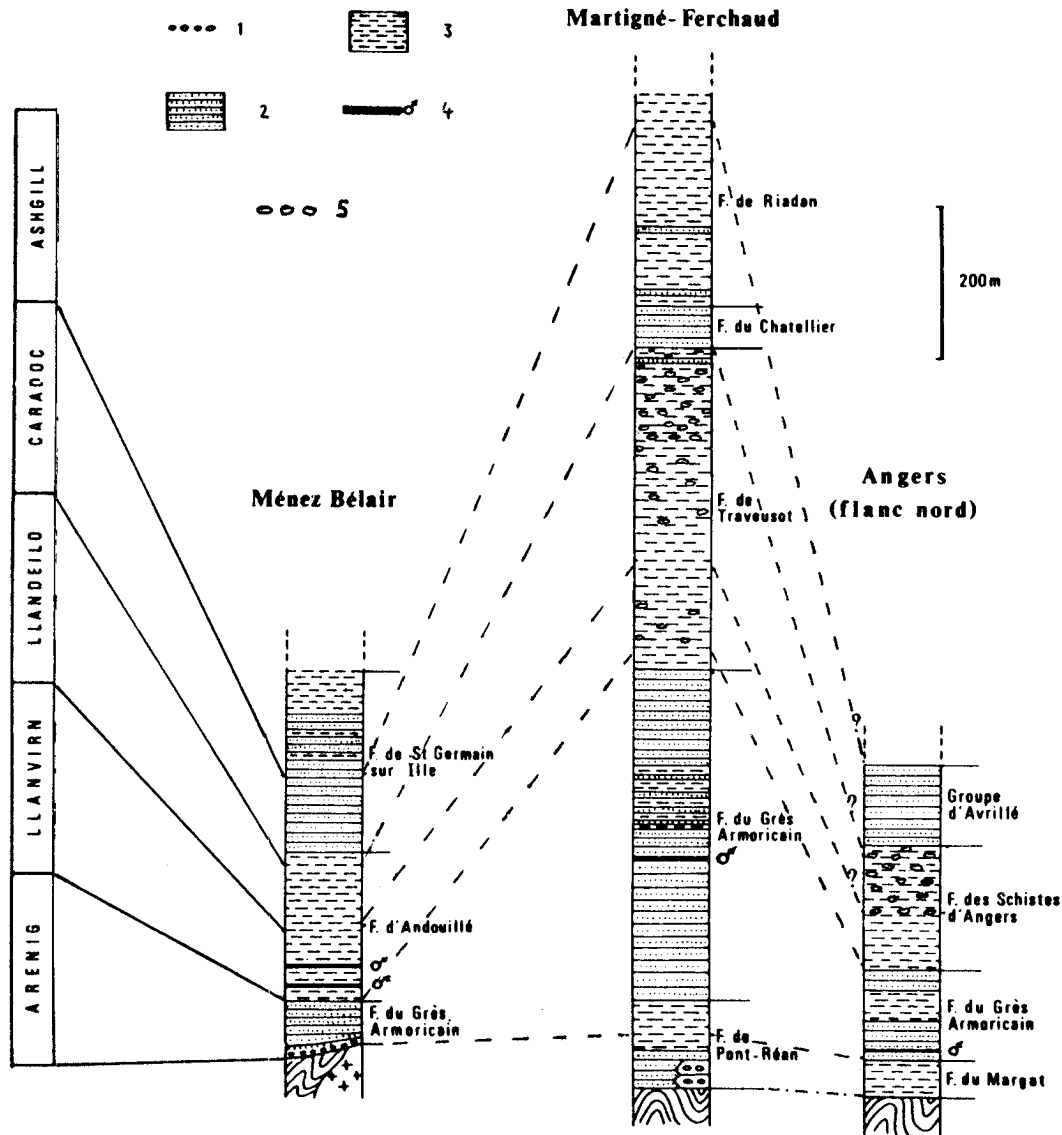


Fig. 2. - Les formations ordoviciennes à nodules (d'après Chauvel et al., 1980, modifié).
1 : conglomérats ; 2 : grès ; 3 : schistes ; 4 : niveaux ferrifères ; 5 : nodules.

2. État du problème

En 1983, F. Guillocheau a décrit trois types morphologiques de nodules (ou « sphéroïdes » selon sa terminologie) dans les faciès à tempestites de la formation de Postolonnec (presqu'île de Crozon) :

- des nodules gréseux, à lamines, représentant des remplissages remaniés d'anciens chenaux,
- des nodules grésocalcaireux, de même origine et de structure identique,
- des nodules « silico-alumineux », qui font l'objet de la présente note.

Ces derniers sont les plus abondants et constituent de 60 à 70 % de tous les sphéroïdes recensés par Guillocheau (1982 et 1983).

Ils peuvent également représenter jusqu'à 40 % du volume de la roche en place (Arnaud et Pillet, 1972).

Macroscopiquement, ce sont des masses de forme plus ou moins ovoïde, dont le plan principal est dans le plan de la schistosité et est allongé selon la linéation régionale (Henry, 1980) (fig. 3). Leurs dimensions moyennes sont de l'ordre de 6 cm × 3 cm × 1,5 cm, bien que des tailles supérieures soient fréquentes (20 cm et plus). Leur surface, très lisse, est régulière et le plus souvent recouverte d'une pellicule d'oxyde de fer de teintes variées, rouge à rouille. Ils sont très durs, sans structure interne visible et sont assez souvent fossilifères. Leur couleur est bleu-noir très profond et la cassure, irrégulière, est très rarement esquilleuse.

Leur grain est silteux. Toutefois, les nodules de Traveusot-en-Guichen ont un grain plutôt gréseux fin et sont plus riches en micas blancs.

Enfin, on les rencontre également dans les faciès ardoisiers (Juzé-en-Guémené-Penfao, par exemple) contrairement à ce qui a été écrit par ailleurs (Arnaud, Pillet, 1972).

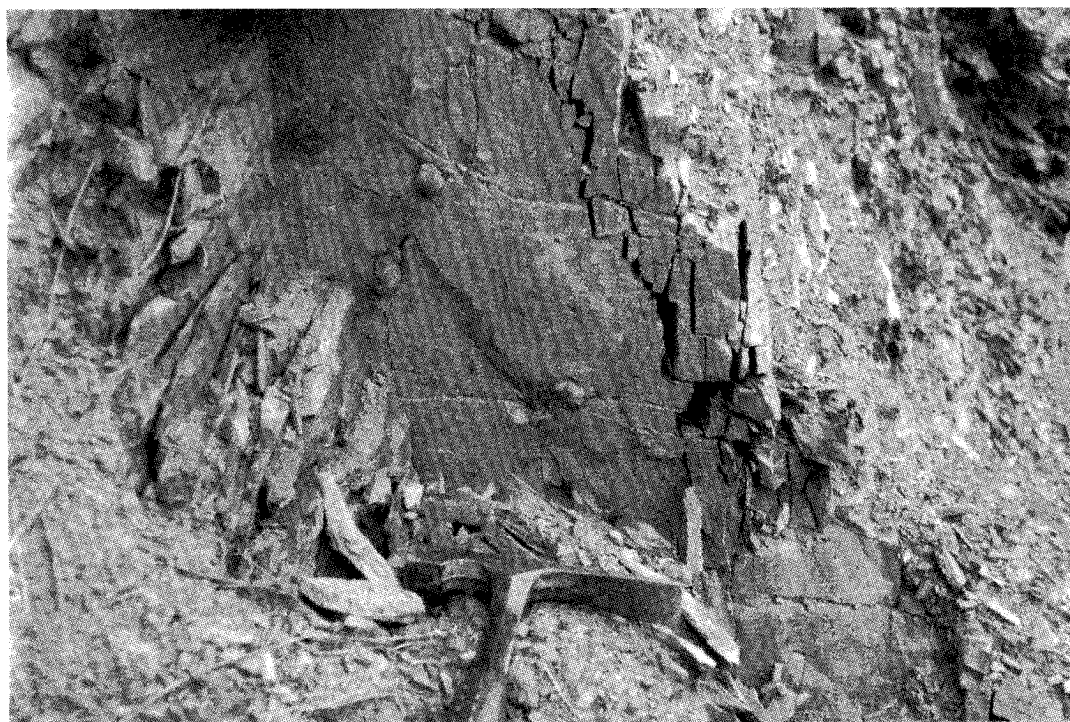


Fig. 3. - Nodules « in-situ ». La schistosité est verticale et normale au plan de la photo. Noter l'aplatissement principal dans le plan de schistosité (carrière de La Praic, pt 7, fig. 1).

Ils se seraient formés à l'interface eau/sédiments, de façon quasi instantanée à l'échelle des temps géologiques (moins de 3 000 ans) et aux dépens de strates représentant des termes distaux d'épandages détritiques (Guillocheau, 1982 et 1983).

Néanmoins, leur nature pétrographique et minéralogique, ainsi que leur genèse, restaient encore inconnues et, pour apporter quelques éléments de réponses, nous avons effectué des observations et des récoltes systématiques (environ 500 nodules) dans les sites suivants (du sud au nord - fig. 1) :

- La Meignanne (1), La Pouëze (2), Amézeul-en-Pierric (3) (synclinal de Saint-Julien-de-Vouvantes/Angers).
- Juzet-en-Guémené-Penfao (4) (flanc sud de l'anticlinorium de Lanvaux).
- La Butte (5) et La Hunaudière (6) en Saint-Aubin-des-Châteaux et secteur du Grand-Fougeray (7) (anticlinal du Grand-Fougeray).
- Bassin de décantation de la minière de Rougé (8) (synclinal de Segré).
- Déviation de la RN 137 entre Poligné et Bain-de-Bretagne (9) et affleurements de l'oratoire de Plé-châtel (10) (synclinal de Martigné-Ferchaud).
- Labours du site de Traveusot-en-Guichèn (11) (synclinal de Guichen).
- Saint-Denis-d'Orques (12) (flanc nord du synclinorium de Laval).

3. Résultats

Cette étude a été effectuée selon deux voies distinctes :

1. une approche taphonomique, par considération des relations entre fossiles et nodules ;
2. une approche pétrographique et minéralogique.

3.1. Aspects taphonomiques

Plusieurs constatations peuvent être faites à propos de la taphonomie des fossiles inclus dans les nodules :

1. tous les taxons composant la faune ordovicienne sont représentés ainsi que, dans deux cas, par de la flore (algues) ;
2. la nature du fossile va du simple débris (par exemple, anneau thoracique de trilobite) à la carapace ou la coquille entière. Des lumachelles à lamelli-branches, gastéropodes, brachiopodes et trilobites sont aussi fréquemment incluses dans les nodules ;
3. le nombre de fossiles présents dans un nodule est quelconque, depuis l'exemplaire unique (débris simple ou carapace entière) jusqu'à un rassemblement de plusieurs individus (jusqu'à 15 trilobites dans un nodule de 5 cm sur 4 cm de Traveusot-en-Guichen !) ;

4. leur localisation dans le nodule est également quelconque ; les fossiles se situent au hasard, depuis le centre du nodule, jusqu'à sa périphérie et, dans un même horizon à nodules fossilifères, on peut récolter des fossiles en dehors des nodules ; de même, tous les nodules observables ne sont pas fossilifères (environ 60 % de notre récolte totale, quelque 500 nodules, étaient dépourvus de macrofossiles).

Cet ensemble d'observations indique que la liaison fossile-nodule résulte plus d'une coïncidence spatiale, que d'une quelconque nucléation d'une « matière nodulaire » siliceuse (Arnaud et Pillet, 1972) autour du fossile, selon un processus, complexe et non élucidé, de fixation de silice par la matière organique (plus ou moins libérée lors de la décomposition des cadavres) : cette hypothèse ne peut rendre compte, en effet, de l'indépendance taxonomique, numérique et spatiale du fossile par rapport au nodule.

3.2. Pétrographie et minéralogie des nodules

Un examen au microscope polarisant, appuyé par une analyse minéralogique par diffractométrie de rayons X, montre que ces nodules sont presque exclusivement constitués de chlorite : ce minéral se présente sous forme de pseudoolithes, voire d'oolithes vraies, du type oolithes superficielles, de 10 à 14 µ de diamètre, très bien calibrées et très peu déformées (planches photo I et II). La matrice est peu abondante et essentiellement constituée de phyllites (smectite et illite, d'après une analyse par diffractométrie de rayons X).

Le quartz y est très rare (sauf, semble-t-il, à Traveusot-en-Guichen, planche photo II) ; la pyrite, très bien cristallisée, est également présente ainsi que la sidérose (rare) et des oxydes de fer. Par ailleurs, le test des fossiles est souvent chloritisé et, parfois, albitisé. La nature des chlorites n'est pas connue mais la quantité d'oxyde de fer dégagée par l'altération du nodule laisse penser à des chlorites ferrifères (du type chamosite).

Une autre caractéristique de ces roches est leur nature phosphatée : elles réagissent toutes de façon positive au réactif molybdénique à froid. Un titrage par la méthode colorimétrique, sur 10 échantillons, a donné des valeurs variant entre 2,7 et 4,8 % de P₂O₅ (tabl. I). La diffractométrie de rayons X montre qu'il s'agit d'apatite mais celle-ci n'a pas été observée en lame mince.

4. Discussion

Ce type de roche est loin d'être inconnu dans le Massif armoricain ; il constitue le minerai de fer oolithique associé au Grès armoricain (Chauvel, 1971) ainsi que les différents bancs à oolithes chloriteuses, plus ou moins ferrifères, signalés dans l'ensemble de l'Ordovicien du Massif armoricain (voir Chauvel et Robardet,

Provenance	Localisation fig. 1	P ₂ O ₅ (%)
La Butte en Saint-Aubin-des-Châteaux (44)	5	3,4
La Butte en Saint-Aubin-des-Châteaux (44)	5	2,8
Bassin de décantation de la mine de Fer de Rougé (44)	8	4,8
Carrière de la Praie, Nord du Grand-Fougeray (35)	7	2,6
Côte 41, Ouest de La Glévardais Nord du Grand-Fougeray (35)	7	2,6
La Métairie, La Meignanne (49)	1	4,0
Le Bois-du-Creux, Saint-Denis-d'Orques (72)	12	4,1
Amézeul-en-Pierric (44)	3	3,9
Traveusot-en-Guichen (35)	11	2,7
La Pouëze (49)	2	4,2

Tabl. I. - Teneur en P₂O₅ de nodules. Titrage par colorimétrie.

1970 ; Clément, 1987 ; Courty, 1987 ; Dadet *et al.*, 1988 ; Henry, 1968 ; Sagon, 1976, etc.). Elle se présente sous un faciès sédimentologique différent, dont il reste à discuter le mode de formation et de mise en place.

Fondamentalement, la formation de ces roches doit avoir suivi les mêmes étapes que celles du minerai de fer arenigien, décrites par Chauvel (1971) (voir aussi Millot, 1964 ; Dunoyer de Ségonzac, 1969). Très schématiquement, le processus serait le suivant :

Il y a dépôt préalable d'argiles ferrifères, ou de composés ferro-phosphatés, plus ou moins riches en matière organique, associés à des particules argileuses (Chauvel envisage même un dépôt direct sous forme de chamosite).

La « nodulisation » intervient alors : ils sont mis en place, dans la zone infratidale, sous l'action de vagues à haute énergie. Le processus de nodulisation peut se décrire comme suit : les argiles ferrifères, évoquées précédemment, se déposent sous forme d'amas plus ou moins réguliers, de nature probablement colloïdale (Fox, 1988) ; ces amas sont mis en mouvement sur le fond sous l'action des vagues et, durant cette translation, s'ébauchent les formes sphériques ou ellipsoïdales qui les caractériseront. C'est également à ce stade que les fossiles sont inclus dans le futur nodule : la masse colloïdale en mouvement, en balayant le fond, va rencontrer des débris organiques et les entraîner après les avoir englobés. La liaison nodule-fossile s'explique

donc par un phénomène mécanique d'inclusion des débris organiques par une masse argileuse mise en mouvement sous l'effet de forces hydrodynamiques.

La suite du processus est l'enfouissement de cette masse argileuse et son évolution diagénétique qui se confond avec celle du minerai de fer oolithique (Chauvel, 1971).

5. Conclusion

En complément aux observations de Arnaud et Pillet (1971) sur la formation des nodules, de Guillocheau (1982 et 1983) sur la dynamique de la zone tidale et grâce aux comparaisons pétrologiques avec les minerais de fer du Grès armoricain, on peut faire les constatations suivantes :

a) la genèse des nodules est syn-sédimentaire et anté-tectonique, l'axe d'allongement des nodules étant parallèle à la linéation ;

b) la chlorite ferrifère, ainsi que la matière organique et le phosphore, sont présents dans tout l'Ordovicien, depuis les corpuscules chlorito-phosphatés du minerai de fer arénigien jusqu'aux nodules llanvirnien/llandeiliens, formés d'un agglomérat de corpuscules pseudo-oolithiques chlorito-phosphatés ;

c) l'apparition progressive, de plus en plus dense, de nodules chlorito-phosphatés au Llandeilien, associés à des faciès terrigènes (siltites micacées) indique une modification des conditions dynamiques, en particulier le brassage par les vagues de gels colloïdaux organiques visqueux sous forme de boules dispersées en « nuages » à l'instar du pétrole brut rejeté lors des « marées noires » actuelles (Javey, Tirat, 1971) ;

d) au début de l'Ordovicien moyen, le milieu de dépôt, très chargé en matière organique, est marin peu profond et peu agité : il correspond à une période de stabilisation à la fin d'un cycle transgressif (cycle arénigien). L'émersion d'un haut-fond proximal, attesté par la sédimentation terrigène immature du grès du Châtelier correspondant à une reprise de l'érosion au Caradocien est précédée d'un abaissement progressif du niveau marin et d'une reprise de l'agitation du milieu au Llandeilien.

Dans ce contexte, on remarque que les nodules deviennent plus abondants à l'approche de l'axe de Lanvaux, dans les synclinaux de Saint-Julien-de-Vouvantes et de Segré, que dans le synclinal de Martigné-Ferchaud. Par contre, ils abondent au nord, dans le synclinal de Guichen, mais présentent un faciès différent, grés-micacé, riche en éléments détritiques, associé à une variation dans le domaine des espèces trilobitiques. Ce faciès, plus proximal, suggère une alimentation terrigène par le nord, à partir de hauts-fonds issus du domaine cadomien.

En conclusion, la répartition des nodules chlorito-phosphatés du Llandeilien du domaine centre-armoricain peut être liée à l'émersion de deux zones, socle cadomien au nord, axe de Lanvaux au sud, bien que pour cette dernière, le doute subsiste sur sa réelle influence.

Références bibliographiques

- ARNAUD A., PILLET J. (1971). - Sur l'existence de Caradocien à trilobites dans le synclinal de Saint-Julien-de-Vouvantes-Angers (Sud-Est du Massif armoricain). C.R. « Colloque Ordovicien-Silurien », Brest, 1971. *Mém. BRGM Fr.*, Orléans, n° 73, pp. 151-161.
- CHAUVEL J.-J. (1971). - Contribution à l'étude des minerais de fer de l'Ordovicien inférieur de Bretagne. *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, Rennes, n° 16, 243 p.
- CHAUVEL J.-J., ROBARDET M. (1970). - Le minerai de fer de Saint-Sauveur-le-Vicomte (Manche). Position stratigraphique, étude pétrographique, signification paléogéographique. *Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, Rennes, Série C, 2, n° 2, pp. 61-71.
- CHAUVEL J.-J., ROBARDET M., LEFORT J.-P. (1980). - Le Massif armoricain. In : « Introduction à la Géologie de l'Ouest ». Livret-Guide, 26^e CGI, Paris, 1980. *Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, Rennes, 1979, Série C, n° 1-2, pp. 1-48.
- CLÉMENT J.-P. coord. (1987). - Carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille de Loué, n° 357, BRGM éditions, Orléans.
- COURTY G. (1987). - Pétrographie d'un minerai de fer dans le Caradoc de la presqu'île de Crozon. C.R. 8^e Cong. Nat. Soc. Savantes, Lyon, 112, pp. 225-233.
- DADET P. coord. (1988). - Carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille de Pontivy. Feuille n° 313, BRGM éditions, Orléans.
- DUNOYER de SÉGONZAC G. (1969). - Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. Thèse état, Strasbourg, 339 p. *Mém. Serv. Carte Géol. Alsace-Lorraine*, n° 29.
- FOX L.E. (1988). - Solubility of Colloïdal ferric hydroxide. *Nature*, Londres, 333, n° 6172, pp. 442-444.
- GUILLOCHEAU F. (1982). - Les nodules de la formation de Postolonnec (Arénig moyen-Caradoc inférieur, presqu'île de Crozon, Finistère), C.R. 107^e Cong. nat. soc. Savantes, Brest, Sciences, n° 3, pp. 31-37.
- GUILLOCHEAU F. (1983). - Les dépôts de tempêtes. Le modèle de l'Ordovicien moyen ouest-armoricain. Thèse 3^e cycle, Brest, 223 p.
- HENRY J.-L. (1968). - Micro-organismes incertae sedis (Acritarches et chitinozoaires) de l'Ordovicien de la presqu'île de Crozon (Finistère) : gisements de Mort-Anglaise et de Kerglinton. *Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, nlle série, juillet 1969, Rennes, pp. 59-100, 9 fig., 13 pl. h.-t.
- HENRY J.-L. (1980). - Trilobites ordoviciens du Massif armoricain. *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, Rennes, n° 22, 250 p.
- JAVEY C., TIRAT M. (1971). - Marée noire sur les côtes de la Manche et du Calvados. Rapport BRGM n° 71 SGN 221 GTC.
- MILLOT G. (1964). - Géologie des argiles. Masson édit., Paris, 499 p.
- SAGON J.-P. (1976). - Contribution à l'étude géologique de la partie Orientale du bassin de Châteaulin (Massif Armoricain) : stratigraphie, volcanisme, métamorphisme, tectonique. Thèse état, Paris, 1 vol., 615 p.

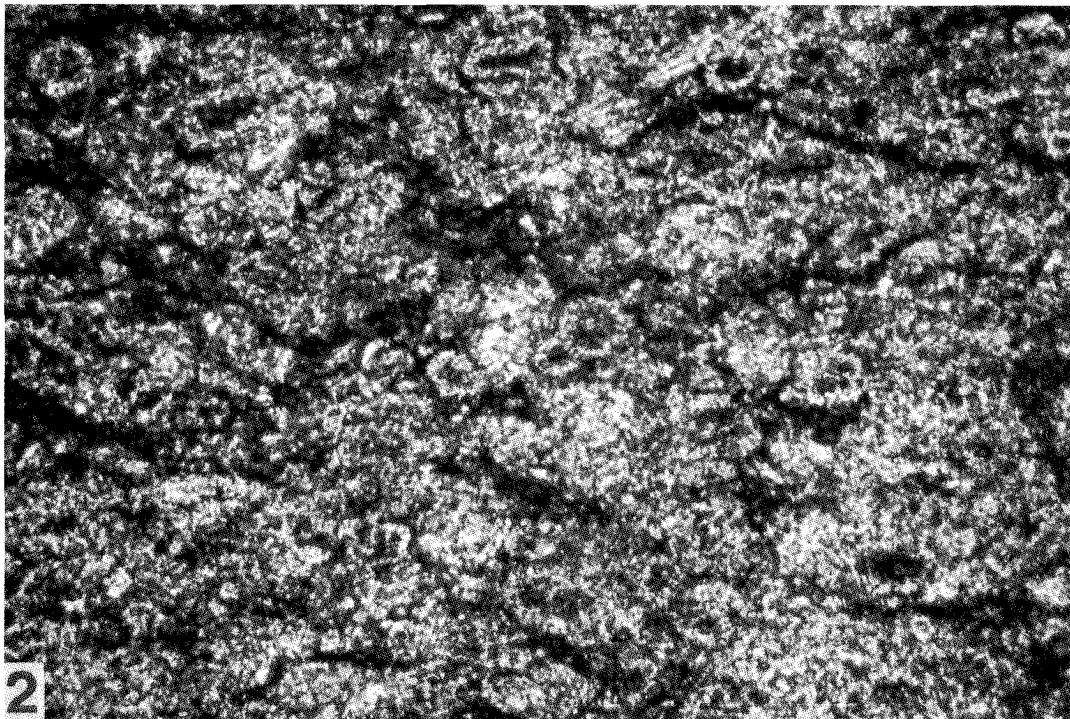
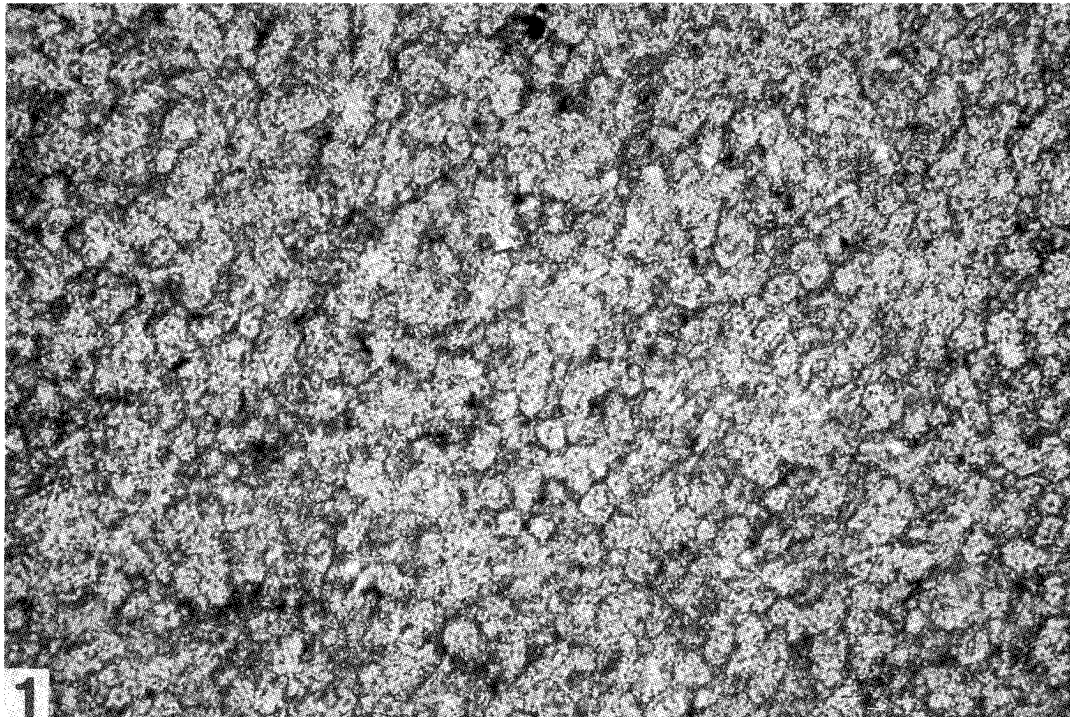


PLANCHE I

- 1. Pseudo-oolithes de chlorites** - B 84635 - L.N. \times 112.
Cote 41, La Glévardais, Nord du Grand-Fougeray, Ille-et-Vilaine), noter la faible quantité de matrice et le caractère jointif des pseudo-oolithes.
- 2. Oolithes de chlorites** - B 84636 - L.N. \times 280.
(Bassin de décantation - Mine de fer de Rougé, Loire-Atlantique).

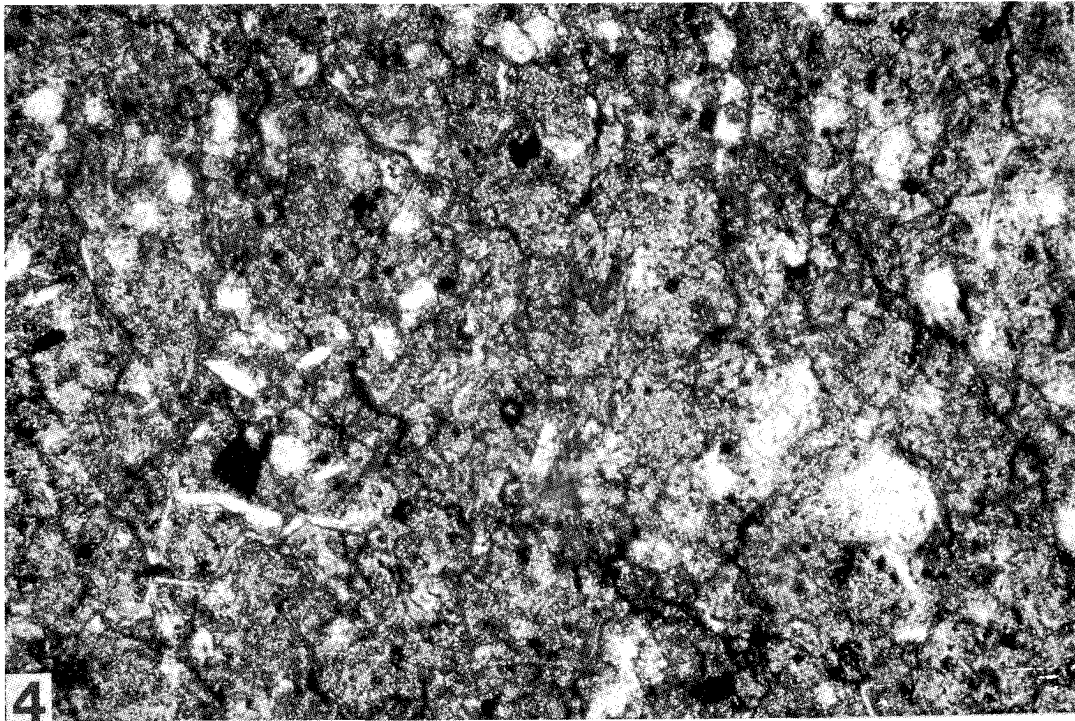
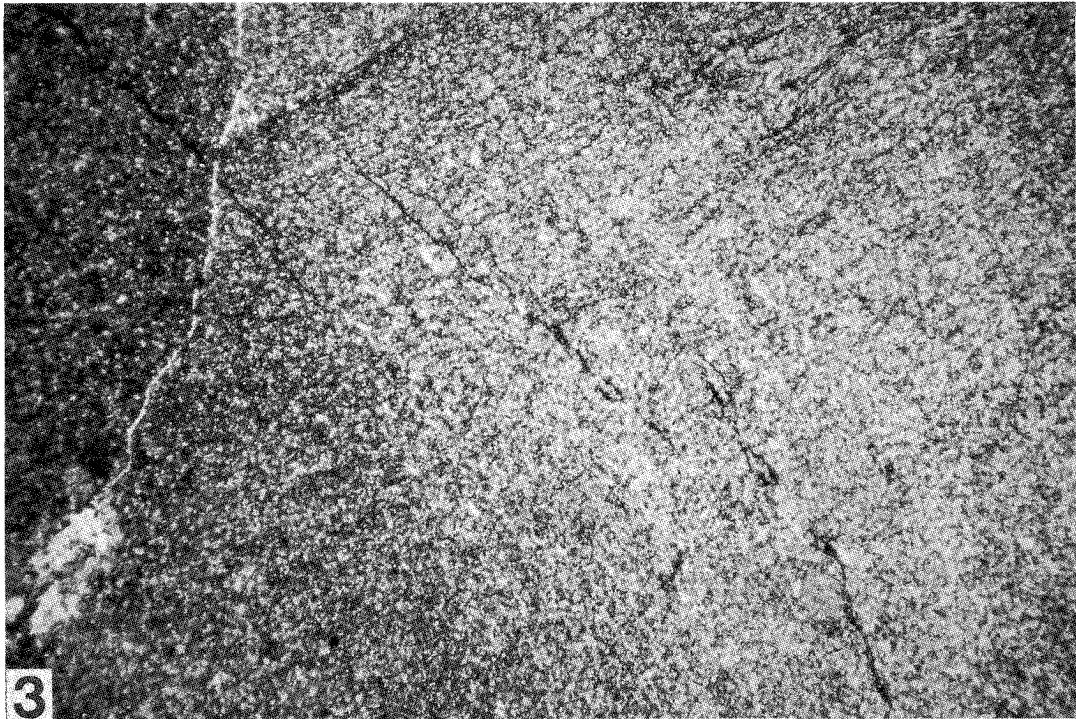


PLANCHE II

3. Relations nodules/encaissant - L.N. $\times 28$ - B 84435.

(Carrière de la Praie, La Glévardais, Nord du Grand-Fougeray - Ille-et-Vilaine). La différence de compétence entre le nodule et son encaissant induit une sorte de schistosité secondaire qui moule l'enveloppe extérieure du nodule.

4. Nodule de Traveusot-en-Guichen (35) - B 83637 - L.N. $\times 112$.

Noter l'importance de la phase détritique quartzreuse.