



**Dennielou, E., Chenot, E., Lathuilière, B.**

**(2023)**

**Villers-lès-Nancy : coupe géologique du spéléodrome de  
Nancy**

***Contribution ORAGE originale à la Banque de données  
du sous-sol n°34.***

**Coordonnées SRS : Latitude : 48.650      Longitude : 6.100**

**Département : Meurthe-et-Moselle    Commune : Villers-lès-Nancy**

**Nature : Galerie souterraine**

# Villers-lès-Nancy : coupe géologique du spéléodrome de Nancy

Nature : Galerie souterraine

Coordonnées SRS : Latitude : **48.650** Longitude : **6.100**

Citation : Dennielou, E., Chenot, E. & Lathuilière, B.(2023) Villers-lès-Nancy : coupe géologique du spéléodrome de Nancy *Contribution ORAGE originale à la Banque de données du sous-sol* n° 34, p. 1-38.

## 1 – Le spéléodrome de Nancy

### 1.1. Notes historiques : de l'ouvrage de Hardeval au spéléodrome de Nancy

L'ouvrage de Hardeval est un ancien aqueduc souterrain, d'environ 4 600 m de longueur ([Service des eaux de la ville de Nancy et al., 1909](#)). Il a été creusé dans la formation de la Minette de Lorraine, sur une période de sept ans, allant de 1898 jusqu'à 1904<sup>2</sup>, afin de récupérer les eaux souterraines du plateau de Haye (aquifère du Dogger) sus-jacent, et fournir une nouvelle source d'approvisionnement en eau potable à la ville de Nancy ([Imbeaux, 1897](#)). Après une vingtaine d'années d'utilisation, la galerie est abandonnée en 1932 pour des raisons d'obstructions des arrivées d'eau par calcification engendrant des débits insuffisants. Finalement, le lieu sera réhabilité par l'USAN (Union Spéléologique de l'Agglomération Nancéienne) à la fin des années 1980, qui inaugurera le premier spéléodrome<sup>1</sup> de France en 1991 ([Delacôte, 2021](#)) ; l'ouvrage Hardeval sera ainsi rebaptisé « Spéléodrome de Nancy ». Depuis, l'accès au spéléodrome est encadré par la LIGES (Ligue Grand Est de spéléologie), comme ce fut le cas pour cette excursion du mercredi 12 octobre 2022 réalisée avec la bienveillance de Christophe Prévot.

### 1.2. Structure du spéléodrome

La galerie a été creusée à flanc de coteau dans la formation de la Minette de Lorraine, principalement dans des faciès à oolithes ferrugineuses, mais aussi localement dans des faciès plus marneux. Les faciès plus marneux ont nécessité une consolidation des parois par des murs ou tunnels en béton.

En partant du puits de Hardeval vers le puits de Clairlieu ([Figure 1](#)), le premier tronçon prend une première orientation quasi est-ouest puis change de direction nord-sud en raison de la présence d'une grande faille.

La galerie horizontale comporte plusieurs puits verticaux communiquant avec la surface. Ils sont au nombre de cinq : le puits de Hardeval, le puits de Saint Julien, le puits de Clairlieu, le puits de la Haute Borne et le puits de la Vierge ([Service des eaux de la ville de Nancy et al., 1909](#)). Il existe un sixième puits qui n'est pas relié au spéléodrome : le puits de la Croix Grand Colas. Il se situe plus à l'est dans l'alignement d'un prolongement avorté de la première portion est-ouest ([Figure 1](#)).

L'eau de la nappe du Dogger était drainée via de petits forages verticaux qui aboutissaient au toit de la galerie du spéléodrome. La plupart de ces forages a été rapidement obstruée par la précipitation de calcite, diminuant ainsi les débits.

Pendant l'avancement des travaux, [Imbeaux et Villain \(1902\)](#) ont produit une note d'information où ils ont décrit les formations géologiques des puits de Hardeval, de St Julien et de Clairlieu dans leur ouvrage ([Figure 2](#)).

---

<sup>1</sup> Nom donné aux cavités artificielles utilisées comme lieu d'entraînement pour la spéléologie et jouissant pour la même occasion d'une volonté de conservation.

<sup>2</sup> Erratum : 1906 au lieu de 1904 (erratum de janvier 2024 relevé par C. Prévot)

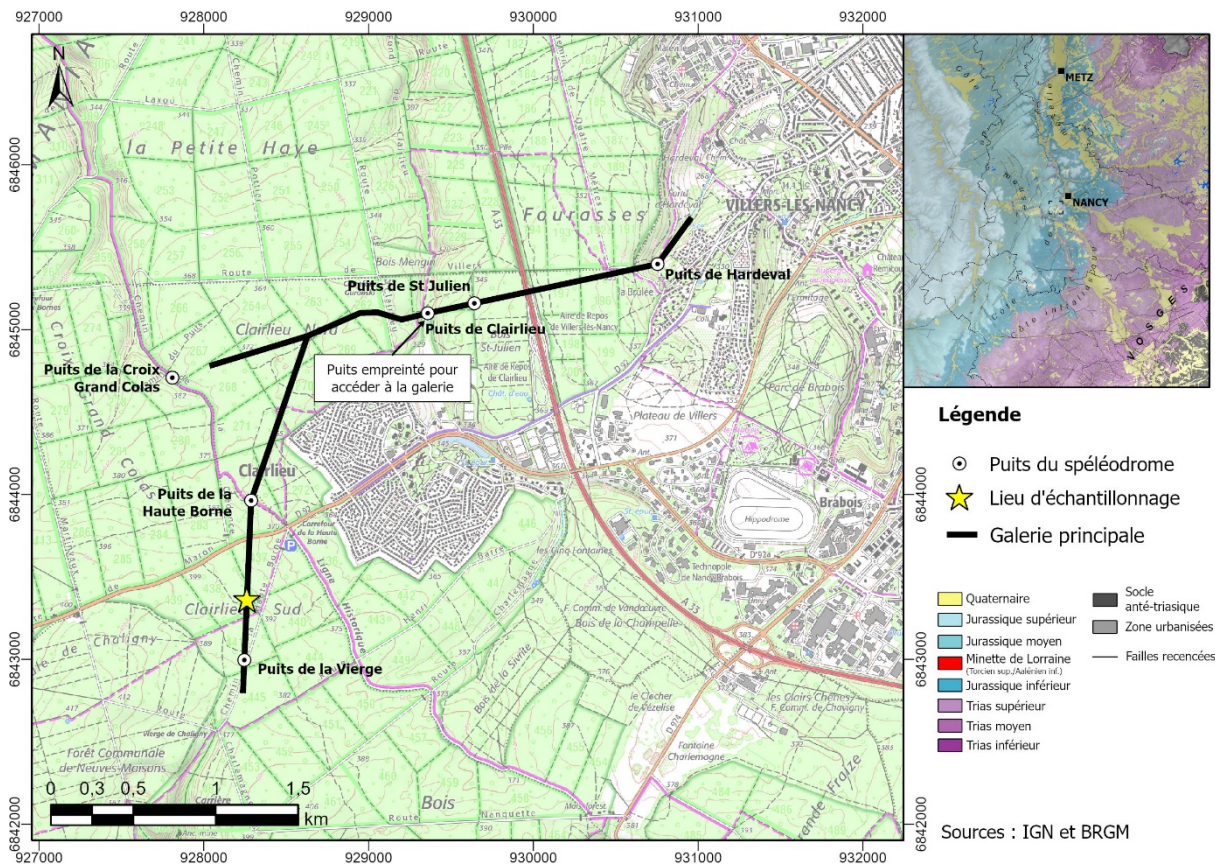


Figure 1 : Localisation de la galerie du spéléodrome et des deux lieux de prélèvement.

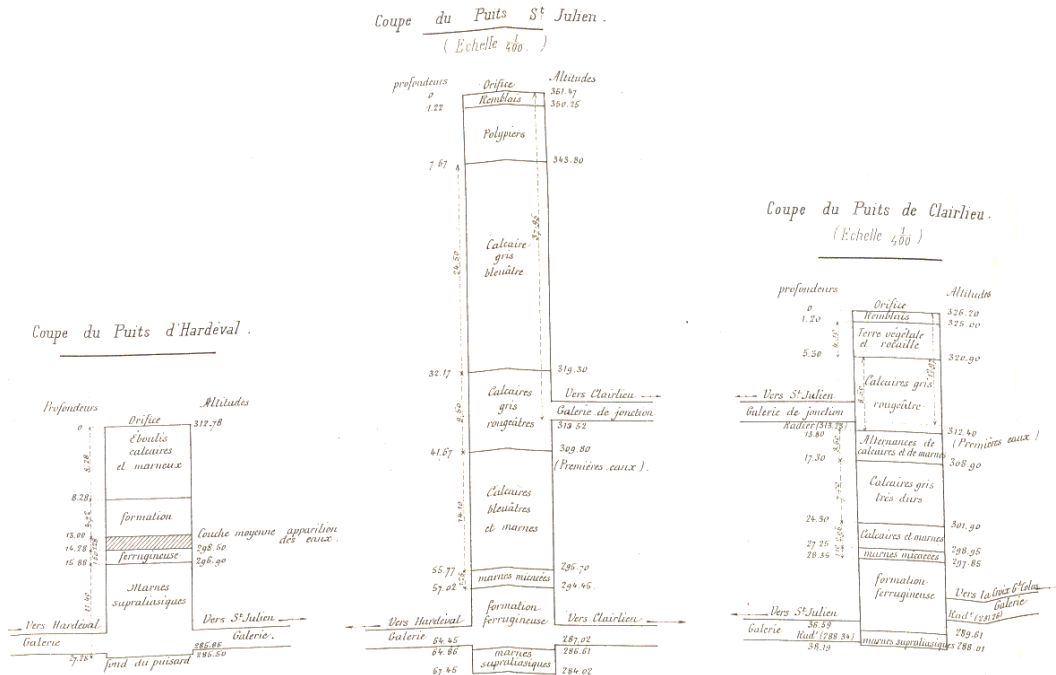


Figure 2 : Synthèse des formations géologiques rencontrées dans les puits Hardeval, St Julien et Clairlieu selon Imbeaux et Villain, (1902)

Afin de pouvoir récupérer les eaux de la nappe sus-jacente, les forages ont traversé (du bas vers le haut) un premier horizon de marnes micacées imperméables qui constituent probablement aujourd'hui la formation des Marnes micacées (dont la puissance avoisine localement la dizaine de centimètres d'épaisseur) puis un second ensemble d'alternance de calcaires (décrit comme bleuâtres à gris) et de marnes (Hilly & Haguenauer, 1979), dans lesquelles se trouvent les premières eaux sur une épaisseur avoisinant les 15 mètres.

Dans la nomenclature de Hilly et Haguenauer (1979) illustrée en Figure 3, régionalement, la formation de la Minette de Lorraine est surmontée par les Marnes micacées, elles-mêmes surmontées par les calcaires du Bajocien (comprenant notamment les Calcaires à entroques, les Calcaires à polypiers, les Marnes de Longwy et l'Oolithe miliare inférieure) qui constituent l'aquifère du Dogger, le réservoir d'eau visé (Vaute, 2007).

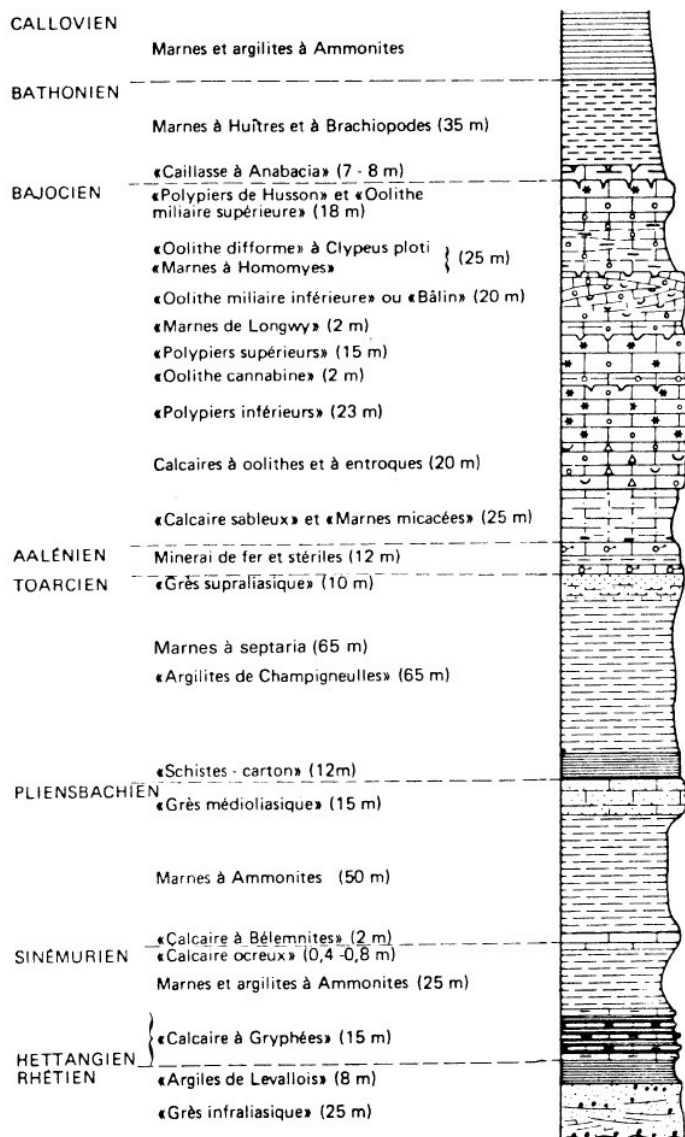


Figure 3 : Coupe géologique régionale du Lias et du Dogger de Lorraine centrale. (Hilly & Haguenauer, 1979 ; à noter que la formation ferrugineuse est aujourd'hui considérée comme principalement toarcienne). Les unités lithostratigraphiques formelles sont encadrées par des guillemets.

## 2 – Coupe géologique du spéléodrome de Nancy

### 2.1. Localisation de la coupe dans la galerie et accessibilité

Les puits sont aujourd’hui renforcés au niveau des parois par des moellons ne permettant pas de visualiser les formations décrites par Imbeaux et Villain (1902) en Figure 2. Pour accéder à un affleurement de la roche et tenter une approche géologique à échelle plus fine, il nous aura fallu descendre dans la galerie pour trouver une portion de succession géologique la plus continue possible.

Lors de notre excursion du 12 octobre 2022, l’accès à la galerie du spéléodrome s’est fait depuis le puits de Clairlieu (38 m de profondeur ; Figure 1). La descente s’effectue par paliers puisque le puits est équipé d’une succession d’échelles reliant des plateformes intermédiaires. L’accès à la galerie peut aussi s’effectuer par le puits de la Vierge, mais la descente s’effectue ici en rappel.

Notre site d’étude se situe à 300 m au nord du puits de la Vierge (Figure 1). Il s’agit d’une galerie annexe qui servait d’abri aux ouvriers, lors de la désobstruction à la dynamite. Nous l’avons choisie car cette galerie recoupe les formations qui surplombent le spéléodrome de Nancy sur une épaisseur de 12 mètres (Figure 4).



Figure 4 : Aperçu en contre-plongée de la galerie annexe, à 300 mètres au nord du puits de la Vierge, dans laquelle la coupe géologique a été levée.

## 2.2. Description sédimentologique de l'affleurement

L'excursion au spéléodrome a permis de lever un log sédimentologique de 12 mètres d'épaisseur, représenté en Figure 5. Les unités élémentaires sont délimitées à chaque changement lithologique ou joint sédimentaire. Ces unités élémentaires peuvent être regroupées en trois grandes unités lithologiques.

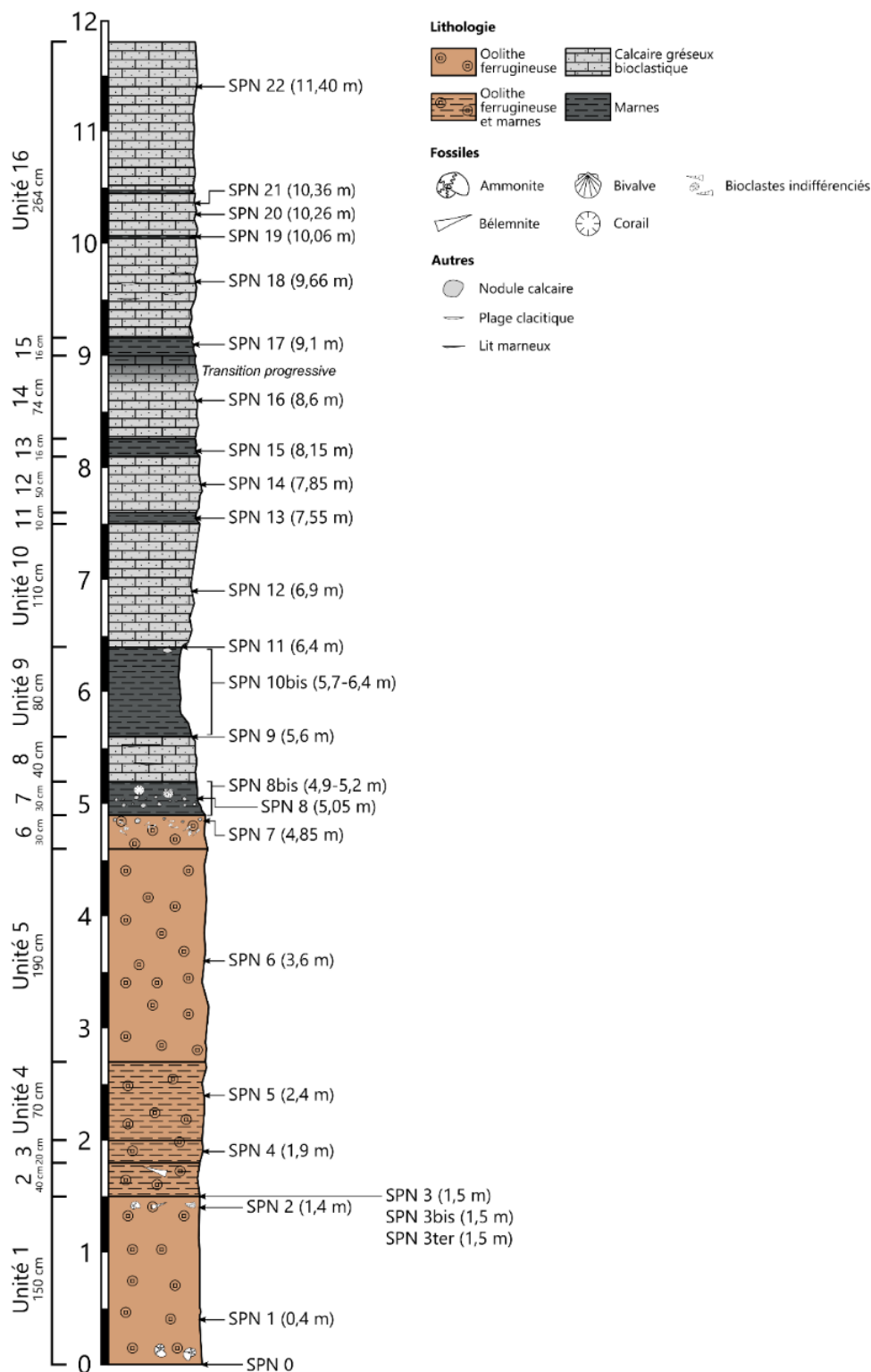


Figure 5 : Coupe sédimentologique de la galerie du spéléodrome à 300 mètres au nord du puits de la Vierge

La partie inférieure de la coupe (0 à 5 mètres) est une oolithe ferrugineuse, d'une couleur brune caractéristique du minerai de fer traduisant la présence de fer oxydé. Les oôides ferrugineuses, de taille inférieure au millimètre, sont liées entre elles par une matrice argileuse. Un niveau bioclastique a été observé au sommet de cette couche ferrugineuse (unité 6).

Une partie intermédiaire de la coupe (5 à 6,5 mètres) est constituée de marnes meubles riches en muscovite, interrompue par un niveau de calcaire bioclastique argileux de 80 cm d'épaisseur (unité 8).

La partie supérieure est un calcaire bioclastique gréseux (6,5 à 12 mètres) de couleur grise, interrompue par quelques niveaux de marnes. Il est possible de noter la présence de quelques plages calcitiques stratiformes pour la partie inférieure de l'unité 16.

Les seules figures sédimentaires observées sont des lamines à l'échelle des échantillons. La cavité était étroite, de l'ordre de 1,50 m de large tout au plus, peu éclairée, en escalier et les parois parfois recouvertes de drapages calcifiés ou argileux voire de tapis bactériens. Toutes ces conditions réunies ne constituaient pas un lieu favorable pour l'observation de grandes figures sédimentaires à l'affleurement (Figure 4).

Au total 27 échantillons ont été prélevés sur l'intégralité de cette coupe. Leur liste est synthétisée dans le [Tableau 1](#), leur emplacement sur le log est indiqué en [Figure 5](#). Une planche photo de chaque échantillon induré (oolithe ferrugineuse et calcaire bioclastique) est présentée en [Figure 6](#).

| Nom       | Type  |
|-----------|---|
| SPN 0     | Fossiles : 2 ammonites (photo en <a href="#">Figure 7</a> )                                     |
| SPN 1     | Oolithe ferrugineuse (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                       |
| SPN 2     | Fossile : 1 ammonite (photo en <a href="#">Figure 7</a> )                                       |
| SPN 3     | Fossiles : 1 bélemnite + 1 bivalve (photo en <a href="#">Figure 7</a> )                         |
| SPN 3bis  | Fossile : 1 bélemnite (photo en <a href="#">Figure 7</a> )                                      |
| SPN 3ter  | Oolithe ferrugineuse (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                       |
| SPN 4     | Oolithe ferrugineuse (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                       |
| SPN 5     | Oolithe ferrugineuse  |
| SPN 6     | Oolithe ferrugineuse (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                       |
| SPN 7     | Oolithe ferrugineuse (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                       |
| SPN 8     | Fossiles : 1 bivalve + 1 corail<br>Nodule calcaire perforé (photo en <a href="#">Figure 7</a> ) |
| SPN 8bis  | Marne   |
| SPN 9     | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 10bis | Marne   |
| SPN 11    | Nodule calcaire   |
| SPN 12    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 13    | Marne   |
| SPN 14    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 15    | Marne   |
| SPN 16    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 17    | Marne   |
| SPN 18    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 19    | Marne   |
| SPN 20    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |
| SPN 21    | Marne   |
| SPN 22    | Calcaire bioclastique (photo en <a href="#">Figure 6</a> )                                      |

Tableau 1 : Détail des échantillons prélevés le long de la coupe du spéléodrome de Nancy

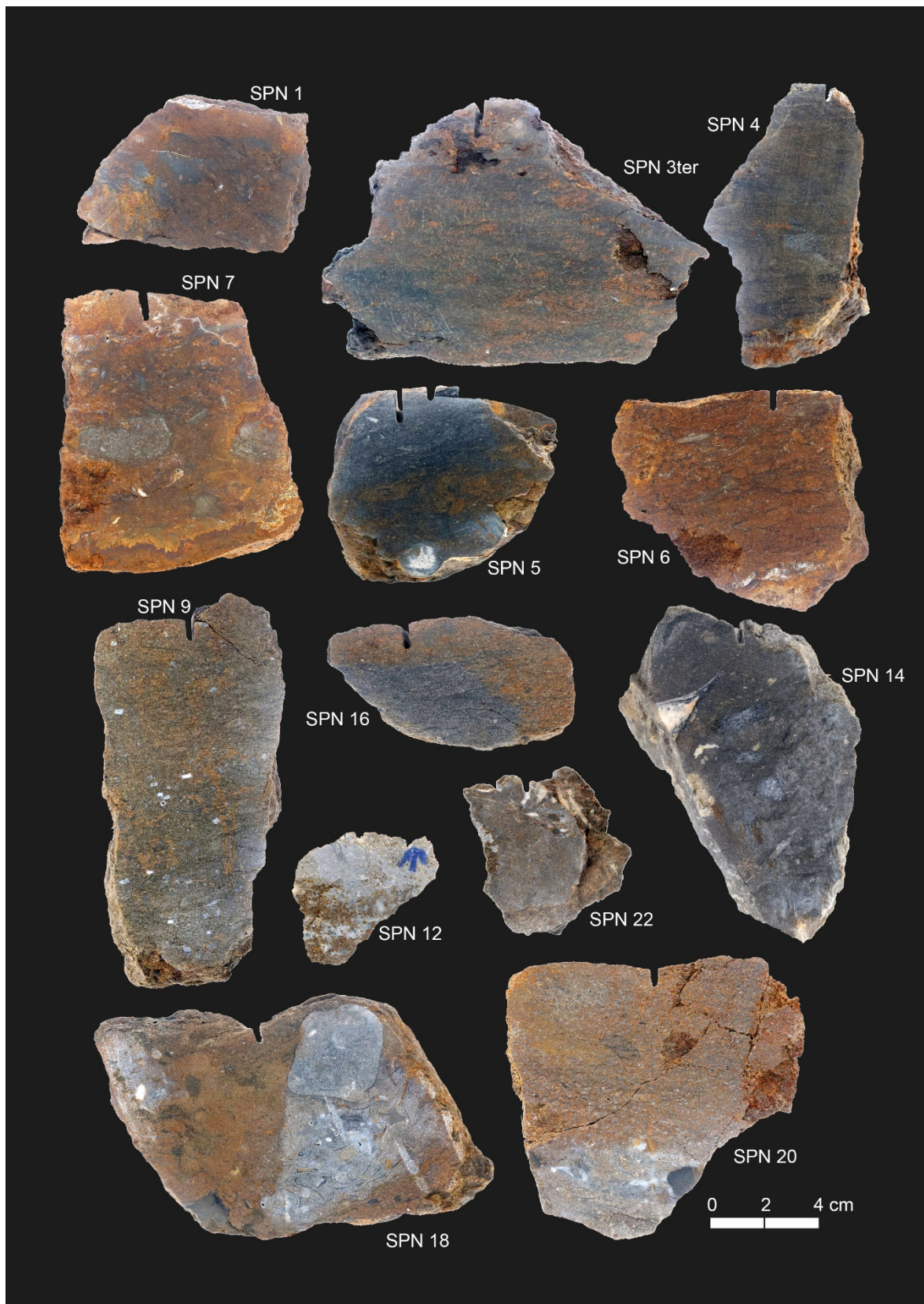


Figure 6 : Planche photo des 13 échantillons indurés prélevés le long de la coupe.



### 2.3. Description de la macrofaune

L'essentiel de la macrofaune a été collecté dans les faciès à oolithes ferrugineuses et une minorité dans une unité marneuse (SPN 8 ; [Tableau 1](#) & [Figure 5](#)).

Les spécimens d'ammonites identifiés sont tous du genre *Pleydellia* ([Figure 7](#)) : *Pleydellia lugdunensis* Elmi et al. 1997 (SPN 0), *Pleydellia cf. subcompta* (Branco) (SPN 0) et *Pleydellia buckmani* Maubeuge 1950 (SPN 2). Sur la base de leur distribution dans la zonation toarcienne de [Elmi et al. \(1997\)](#), la coupe commence déjà dans la dernière zone du Toarcien (Aalensis) et même dans la dernière sous-zone (Lugdunensis).

Deux bélemnites ont été échantillonnées, dont une identifiée en *Mesoteuthis rhenana* (Oppel, 1857) (SPN 3bis ; [Figure 7](#)).

Deux bivalves ont été identifiés ([Figure 7](#)) : *Scaphotrigonia navis* (Lamarck, 1819) (SPN 3) et *Gryphaea (Bilobissa) dewalquei* (Rollier) (espèce identifiée selon les illustrations de Charles & Maubeuge 1951) (SPN 8). Cette dernière gryphée était située dans un niveau marneux.

Un corail identifié comme étant du genre *Montivaltia* sp était attaché à une gryphée ([Figure 7](#)). Ce niveau SPN 8 contient bien davantage de fossiles mais n'a pas été exploité comme il pourrait l'être dans des conditions d'accès plus favorables.

Enfin, des nodules calcaires remaniés et perforés ont été observés et échantillonnés ([Figure 7](#)). Ils ne font pas partie de la faune à proprement parler, mais ils marquent, avec les *Montivaltia*, la limite entre la Minette de Lorraine et le début du Bajocien comme il est décrit dans la littérature ([Maubeuge 1955](#), p. 601).



Figure 7 : Macrofaune du spéléodrome prélevée dans le Spéléodrome de Nancy.

## 2.4. Description macroscopique des échantillons

Treize des 27 échantillons prélevés sont représentés sur la planche photo en Figure 6. Il s'agit des échantillons indurés dans les oolithes ferrugineuses et dans les calcaires bioclastiques.

Les couleurs des échantillons ont été déterminées d'après le code Munsell. Elles sont résumées dans le Tableau 2 ci-dessous. Pour les échantillons comportant des zones de couleurs clairement différentes, les couleurs sont citées à la suite. L'équivalent en RGB est complété dans la dernière colonne.

| Échantillon | Couleur(s) du code Munsell | Équivalent RGB | Péetrographie sédimentaire |
|-------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| SPN 1       | 10YR 3/2                   |                | Oolithe ferrugineuse       |
|             | 10YR 3/4                   |                |                            |
| SPN 3ter    | 2,5Y 2,5/1                 |                |                            |
| SPN 4       | 5Y 4/1                     |                |                            |
| SPN 5       | 5G 4/1                     |                |                            |
| SPN 6       | 10YR 4/4                   |                |                            |
| SPN 7       | 10YR 5/6                   |                |                            |
| SPN 9       | 5Y 6/2                     |                | Calcaire bioclastique      |
| SPN 12      | N 8.5                      |                |                            |
|             | 7.5YR 5/4                  |                |                            |
| SPN 14      | N 5                        |                |                            |
| SPN 16      | 5Y 4/1                     |                |                            |
| SPN 18      | 5Y 7/1                     |                |                            |
| SPN 20      | 5Y 7/1                     |                |                            |
| SPN 22      | 5Y 6/2                     |                |                            |

Tableau 2 : Couleur des échantillons d'après le code Munsell

## 2.5. Description minéralogique

### 2.5.1. Appareillage et conditions expérimentales

Les 6 échantillons d'oolithes ferrugineuses, les 7 échantillons de marnes, les 7 échantillons de calcaires bioclastiques ainsi qu'un nodule ont été étudiés par diffraction des rayons X (DRX) afin d'identifier les phases minéralogiques en présence, sur poudre de roche totale et sur la fraction argileuse, afin d'en obtenir une estimation semi-qualitative et semi-quantitative.

L'analyse par DRX de la poudre de roche totale permet l'identification et la caractérisation semi-qualitative et semi-quantitative des phases minéralogiques cristallines d'une roche si celles-ci représentent au moins 5 % de l'échantillon. Ce seuil de détection peut varier en fonction de la nature des différentes phases. La phase dite amorphe (non cristallisée) ou cryptocristalline, n'est pas détectée aux rayons X.

La caractérisation de la nature des minéraux est donc semi-qualitative car elle ne prend en compte ni les phases amorphes ou cryptocristallines, ni les phases minéralogiques cristallisées en trop faibles proportions (< 5 %).

*De facto*, la caractérisation des phases minéralogiques cristallines est donc semi-quantitative car elle détermine la proportion relative (pourcentage relatif) de chaque minéral cristallisé au sein de l'échantillon si ces phases sont en proportions suffisantes (> 5 %).

Les analyses minéralogiques de la poudre de roche totale et de la fraction  $<2 \mu\text{m}$  sont réalisées par diffraction des rayons X sur le diffractomètre du campus de l'Institut UniLaSalle (plateforme Géosciences), de type XD8 Advance "BRUKER" AXS (Siemens) en géométrie  $\theta/2\theta$  ( $\theta$  se réfère à l'angle d'incidence du rayon X ; en réalité, le rayon X est diffracté d'un angle  $2\theta$ ) muni d'un détecteur Lynxeye. L'appareil est équipé d'un tube de rayon X au cuivre ( $\lambda_{\text{K}\alpha 1} \approx 1,5406 \text{ \AA}$ ) et d'un filtre au nickel. Les mesures se font dans les conditions expérimentales 40 kV et 40 mA pour l'excitation du tube, avec une fente primaire de  $2,5^\circ$  et une fente de divergence de 0,6 mm.

Les échantillons de poudre de roche sont balayés sur la gamme 3 à  $70^\circ 2\theta$ , avec un pas de  $0,014^\circ 2\theta$  et un temps de comptage de 0,5 secondes par pas. L'échantillon tourne. Pour chaque échantillon sont réalisés un essai et un essai de contrôle.

Si l'analyse de roche totale en révèle au moins 15 % et/ou si le spectre est de bonne qualité, les échantillons font l'objet d'une séparation de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$ .

Les échantillons de poudre sur lames orientées (fraction fine) sont balayés sur la gamme 3 à  $35^\circ 2\theta$ . La vitesse de balayage est de  $0,01^\circ 2\theta$  par seconde avec un temps de comptage de 0,5 seconde par pas. L'échantillon est fixe. Trois types d'essais classiques ont été réalisés :

- Standard (séché à l'air) ;
- Après chauffage à  $550^\circ\text{C}$ , pour séparer les argiles type kaolinite ;
- Après glycolage, pour distinguer les argiles gonflantes ;

Dans la littérature, [Caillère & Kraut \(1957\)](#) ont déterminé la présence de berthiérine dans les échantillons de minerai. La berthiérine est cependant un phyllosilicate qui se comporte en diffraction comme la kaolinite. Pour discriminer la berthiérine de la kaolinite dans les échantillons d'oolithes ferrugineuses, nous avons donc, pour les 6 échantillons d'oolithe ferrugineuse (SPN 1, SPN 3ter, SPN4, SPN 5, SPN 6, SPN 7), ajouté une étape chimique au préalable sur la fraction fine ; un traitement à l'acide acétique (1N) d'une heure à  $60^\circ\text{C}$  dans de l'acide acétique sur 33 mg de poudre inférieure à  $2 \mu\text{m}$  ([Kameda et al., 2011](#)). La berthiérine ne résiste pas à ce traitement, à l'inverse de la kaolinite.

### **2.5.2. Identifications minéralogiques**

Les analyses DRX ont mis en évidence plusieurs phases minéralogiques et des différences entre les échantillons d'oolithes ferrugineuses, de marnes et de calcaires bioclastiques.

Le pourcentage moyen des phases cristallines est cohérent avec leur nombre d'occurrences dans les diffractogrammes ([Tableau 3](#); [Figure 8](#)).

- Calcite : première phase la plus représentée avec 32 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les calcaires (65 %) que dans les oolithes ferrugineuses (16 %) et les marnes (15 %). À noter que considérant ce taux moyen de calcite, ces faciès appelés ici « marnes » tendent vers des argiles calcaires ;
- Quartz : deuxième phase la plus représentée avec 27 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les marnes (36 %) que dans les calcaires (22 %) et les oolithes ferrugineuses (21 %) ;
- Muscovite : troisième phase la plus représentée avec 25 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les faciès marneux (32 %) que dans les oolithes ferrugineuses (21 %) et les calcaires (6 %).
- Dolomite : quatrième phase la plus représentée avec 15 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les calcaires (20 %) que dans les oolithes ferrugineuses (10 %) et les marnes (9 %).
- Feldspaths : cinquième phase la plus représentée avec 9 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les oolithes ferrugineuses (13 %) que dans les marnes (7 %) et les calcaires (5 %).

- Chlorite : sixième phase la plus représentée avec 9 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les oolithes ferrugineuses (12 %) que dans les marnes (6 %) et les calcaires (5 %).
- Chamosite : septième phase la plus représentée avec 6 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les oolithes ferrugineuses (11 %) que dans les calcaires et les marnes (4 % les deux).

Les phases suivantes sont absentes dans au moins une des trois lithologies (Tableau 3; Figure 8) :

- Apatite : 9 % en moyenne. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans le seul échantillon de marne (17 %) que dans les oolithes ferrugineuses (7 %). Elle n'est pas présente dans les calcaires bioclastiques ;
- Berthiérine (voire de la kaolinite) : 11 % en moyenne dans les oolithes ferrugineuses. Sa présence est plus marquée, en moyenne, dans les oolithes ferrugineuses (11 %). Les diffractogrammes sur roche totale n'étant pas assez précis pour pouvoir la distinguer de la kaolinite, des lames orientées ont été réalisées pour affiner la composition de la fraction argileuse des échantillons. La Figure 9 est un exemple de diffractogramme de l'échantillon SPN 1 pour la fraction inférieure à 2 µm.
- Kaolinite (stricte) : 5 % en moyenne dans les marnes (5 %). Elle n'est pas présente dans les calcaires ;
- Goethite : 7 % en moyenne, uniquement dans les oolithes.

Les autres phases ne sont présentes que dans un seul échantillon (Tableau 3; Figure 8) :

- Hématite à hauteur de 5 % dans de l'oolithe ferrugineuse ;
- Pyrite et cristobalite en traces < 5 % dans le même échantillon de marnes.

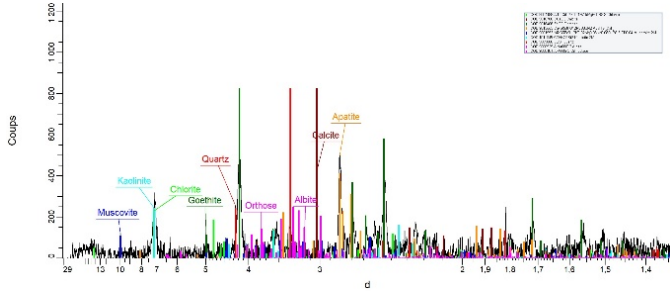
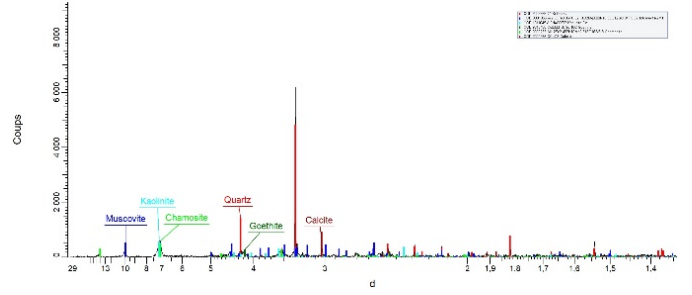
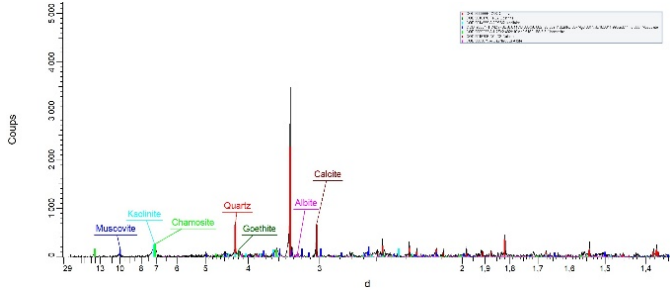
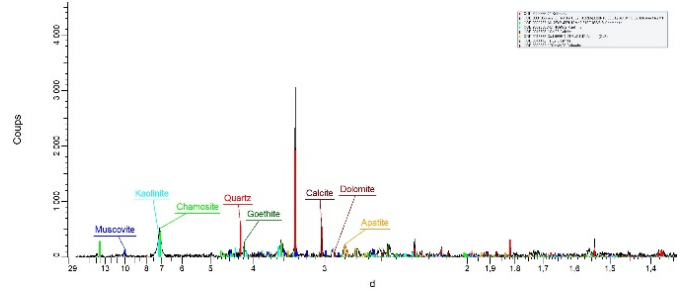
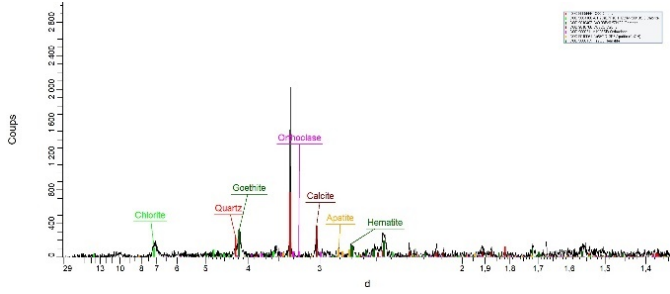
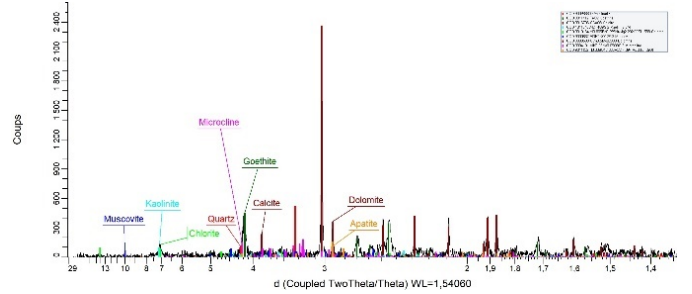
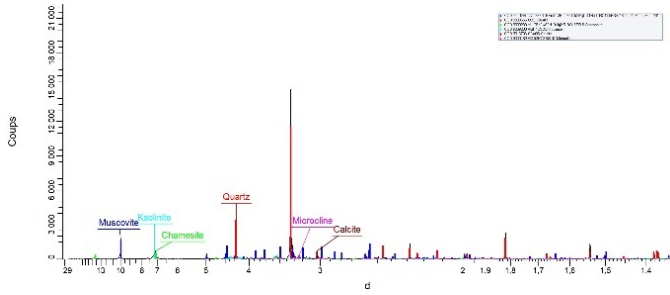
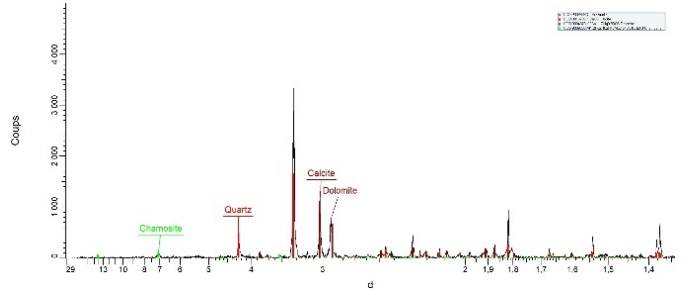
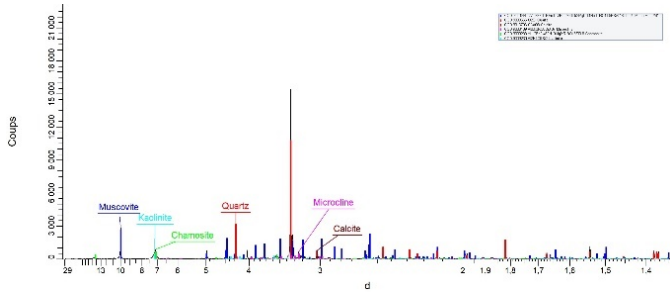
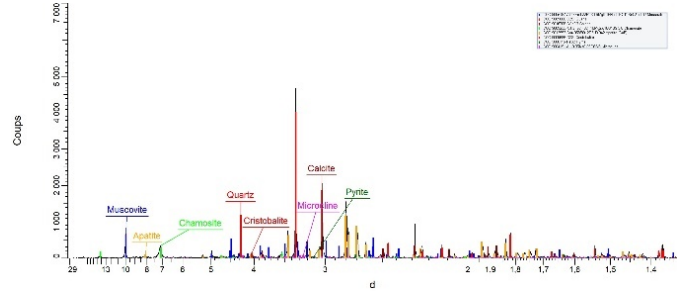
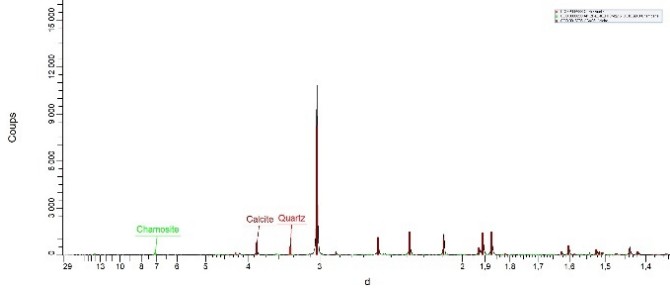
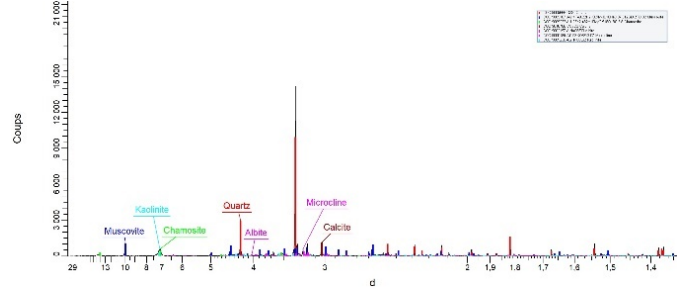
Les analyses DRX permettent de faire ressortir les assemblages minéralogiques qui caractérisent chaque lithologie (Tableau 3; Figure 8).

- Les **oolithes ferrugineuses sont dominées par le quartz et la muscovite**, les deux à hauteur de 21 % (respectivement de 9 à 31,0 %, et de 0 à 37 %), puis la **calcite** à hauteur de 16 % (de 8 à 34 %), puis les **feldspaths** à hauteur de 13 % (0 à 16 %), puis la **chlorite** à hauteur de de 12 % (0 à 18 %), puis la **berthiérine** et la **chamosite** à hauteur de 11 % les deux (respectivement de 0 à 15 %, et de 0 à 16 %), puis la **dolomite** à hauteur de 10 % (de 0 à 18,7 %), puis la **goethite** à hauteur de 7 % (de 2 à 13 %), puis l'**apatite** à hauteur de 7 % (de 3 à 11 %).
- Les **marnes sont dominées par le quartz** à hauteur de 36 % (de 23 à 52 %) et la **muscovite** à hauteur de 32 % (de 10 à 56 %). On retrouve ensuite l'**apatite** avec une mesure à 17 %, puis la **calcite** à hauteur de 15 % (3 à 39 %), puis la **dolomite** à hauteur de 9 % (de 8 à 9 %), puis les **feldspaths** à hauteur de 7 % (4 à 14 %), puis la **chlorite** avec une mesure à 6 %, puis la **kaolinite** à hauteur de 5 % (de 4 à 7 %), puis la **chamosite** à hauteur de 4 % (de 3 à 5 %), et enfin une mesure de **pyrite** et de **cristobalite** à moins de 1 %.
- Les **calcaires sont dominés par la calcite** à hauteur de 65 % (de 21 à 93 %), puis le **quartz** à hauteur de 22 % (de 4 à 48 %), puis la **dolomite** à hauteur de 20 % (7 à 30 %), puis la **muscovite** à hauteur de 6 % (de 3 à 9 %), puis les **feldspaths** avec une mesure à 5 %, puis la **chlorite** avec une mesure à 5 %, puis la **chamosite** à hauteur de 4 % (de 1 à 7 %).

| TOTAL | Minéraux ferriques |          |        | Minéraux carbonatés |          | Quartz | Cristobalite | Apatite | Feldspaths |            |         |       | Minéraux argileux |          |                          |           |                             | ← Code couleur |
|-------|--------------------|----------|--------|---------------------|----------|--------|--------------|---------|------------|------------|---------|-------|-------------------|----------|--------------------------|-----------|-----------------------------|----------------|
|       | Goethite           | Hématite | Pyrite | Calcite             | Dolomite |        |              |         | Albite     | Microcline | Orthose | SOMME | Chamosite         | Chlorite | Berthiérite (+kaolinite) | Kaolinite | Muscovite                   |                |
| 100   |                    |          |        | 93,1                | 6,9      |        |              |         |            |            |         |       |                   |          |                          |           | SPN 22                      |                |
| 100   |                    |          |        | 32,7                | 9,4      | 36,7   |              |         |            |            |         |       |                   | 11       | 7,1                      |           | SPN 21                      |                |
| 100   |                    |          |        | 69,4                | 30,6     |        |              |         |            |            |         |       |                   |          |                          |           | SPN 20                      |                |
| 100   |                    |          |        | 38,6                |          | 38,9   |              |         |            |            |         |       |                   | 10,0     | 4,0                      |           | SPN 19                      |                |
| 100   |                    |          |        | 71,5                | 24,4     | 4,1    |              |         |            |            |         |       |                   |          |                          |           | SPN 18                      |                |
| 100   |                    |          |        | 11,5                | 8,2      | 51,5   |              |         |            |            |         |       |                   | 22,6     |                          |           | SPN 17                      |                |
| 100   |                    |          |        | 21,2                | 16,9     | 48,1   |              |         |            |            |         |       |                   | 8,7      |                          |           | SPN 16                      |                |
| 100   |                    |          |        | 8,4                 |          | 36,2   |              |         |            |            |         |       |                   | 43,4     | 4,7                      |           | SPN 15                      |                |
| 100   |                    |          |        | 72,5                |          | 18,2   |              |         |            |            |         |       |                   | 3,7      |                          |           | SPN 14                      |                |
| 100   |                    |          |        | 6,0                 |          | 35,7   |              |         |            |            |         |       |                   | 34,8     | 4,5                      |           | SPN 13                      |                |
| 100   |                    |          |        | 92,8                |          | 4,2    |              |         |            |            |         |       |                   |          |                          |           | SPN 12                      |                |
| 100   |                    | 0,8      |        | 15,7                |          | 23,2   | 0,7          | 17,1    |            |            |         |       |                   | 34,2     |                          |           | SPN 11                      |                |
| 100   |                    |          |        | 2,7                 |          | 25,8   |              |         |            |            |         |       |                   | 55,7     | 3,9                      |           | SPN 10bis                   |                |
| 100   |                    |          |        | 34,7                | 23,1     | 35,3   |              |         |            |            |         |       |                   |          |                          |           | SPN 9                       |                |
| 100   |                    |          |        | 3,1                 |          | 37,3   |              |         |            |            |         |       |                   | 44,5     | 4,4                      |           | SPN 8bis                    |                |
| 100   | 6,1                |          |        | 33,7                | 18,7     | 7,3    |              | 2,7     |            |            |         |       |                   | 10       | 5,4                      | 3,6       | SPN 7                       |                |
| 100   | 13,2               | 5,1      |        | 17,5                |          | 24,5   |              | 9,2     |            |            |         |       |                   |          | 18,1                     |           | SPN 6                       |                |
| 100   | 5,1                |          |        | 10,4                | 1,6      | 25,0   |              | 7,1     |            |            |         |       |                   | 19,3     |                          |           | SPN 5                       |                |
| 100   | 2,5                |          |        | 12,8                |          | 30,1   |              |         |            |            |         |       |                   | 27,9     |                          |           | SPN 4                       |                |
| 100   | 2,4                |          |        | 7,7                 |          | 31,0   |              |         |            |            |         |       |                   | 36,5     |                          |           | SPN 3ter                    |                |
| 100   | 11,8               |          |        | 12,5                |          | 8,5    |              | 10,8    |            |            |         |       |                   | 11,2     |                          |           | SPN 1                       |                |
|       | 7                  | 5        | 1      | 32                  | 15       | 27     | 1            | 9       | 6          | 7          | 9       |       |                   | 6        | 9                        |           | Moyenne totale <sup>1</sup> |                |
|       | 7                  | 5        | -      | 16                  | 10       | 21     | -            | 7       | 6          | 13         | 13      |       |                   | 11       | 12                       |           | Moyenne Oolithes            |                |
|       | -                  | -        | 1      | 15                  | 9        | 36     | 1            | 17      | 6          | 6          | 6       |       |                   | 4        | 6                        |           | Moyenne Marnes              |                |
|       | -                  | -        | -      | 65                  | 20       | 22     | -            | -       | -          | -          | 5       |       |                   | 4        | 5                        |           | Moyenne Calcaire            |                |

Tableau 3 : Pourcentage des phases minéralogiques identifiées par diffraction de rayons X sur poudre de roche totale des échantillons du spéléodrome.

<sup>1</sup> Arrondies à l'unité

**SPN 1****SPN 3ter****SPN 4****SPN 5****SPN 6****SPN 7****SPN 8bis****SPN 9****SPN 10bis****SPN 11****SPN 12****SPN 13**

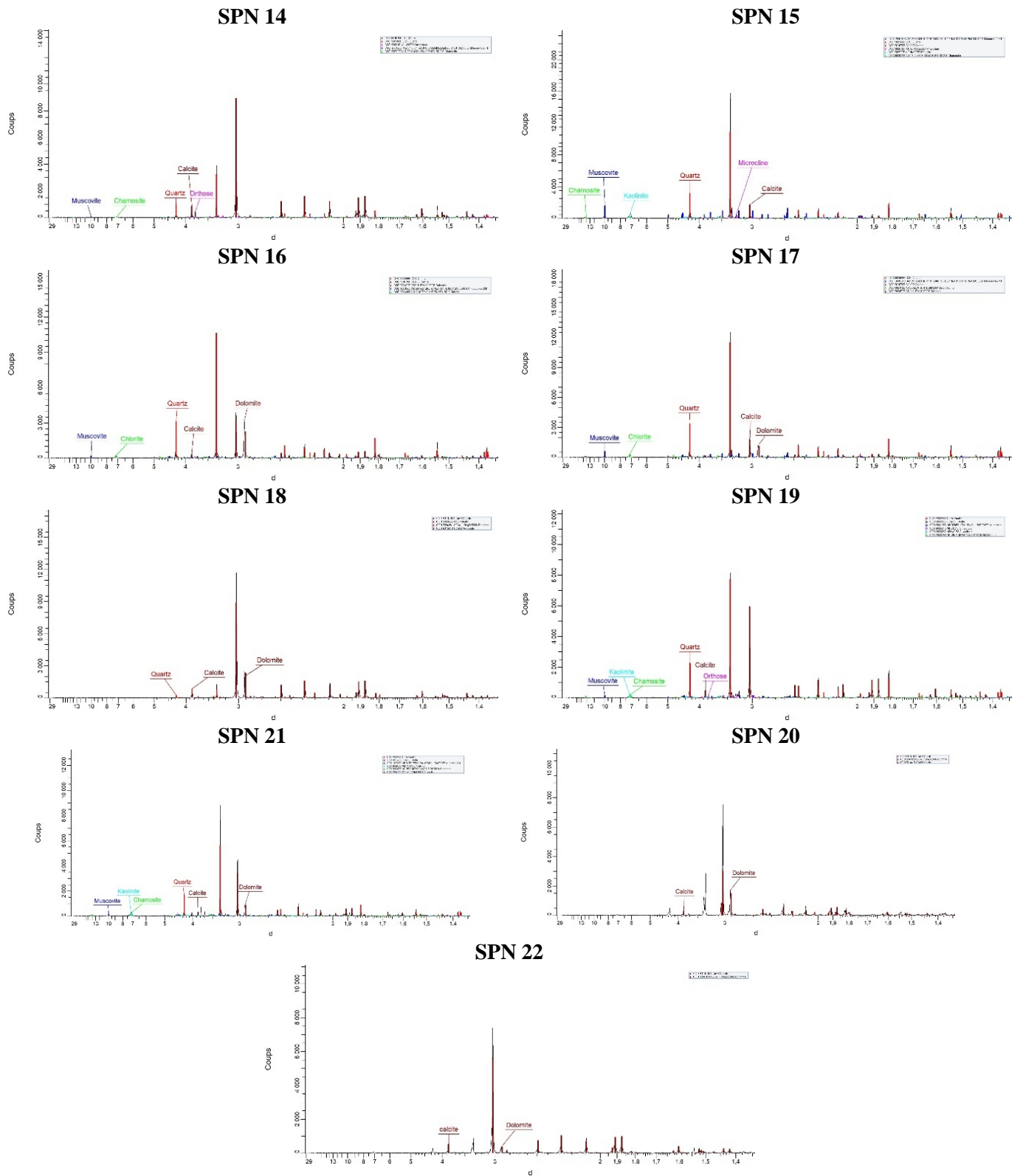


Figure 8 : Diffractogrammes sur poudre de roche totale des échantillons de la coupe du spéléodrome de Nancy.



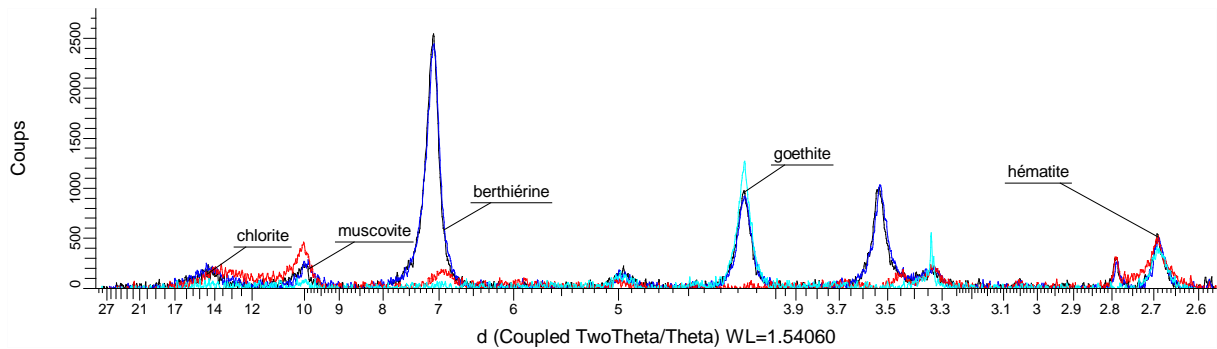


Figure 9 : Diffractogramme de la fraction inférieure à 2µm – échantillon SPN 1 (noir = séchage à l'air libre ; bleu = glycolé ; rouge = chauffé ; turquoise = séchage à l'air libre après traitement HCL 1N 2H).

## 2.6. Description microscopique des échantillons

Les descriptions microscopiques détaillées des lames minces sont présentées dans le [Tableau 4](#). Les textures sont déterminées en suivant les classifications de Folk ([Folk, 1959](#)) et Dunham ([Dunham, 1962](#)). Elles sont illustrées par des planches photos pour chaque lame mince ([Figure 11 à 23](#)). La plupart sont en lumière naturelle, hormis quelques-unes en LPNA (Lumière Polarisée Non Analysée) pour rendre visible la structure interne de certains bioclastes. Les pourcentages des constituants observés pour chaque lame mince sont résumés par la [Figure 10](#) et sont obtenus par estimation visuelle de la surface apparente occupée sur chaque lame mince.

Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible de réaliser des lames minces des faciès marneux.

### 2.6.1. Les faciès à oolites ferrugineuses

Les oïdes ferrugineuses sont les éléments de base des échantillons de l'unité à oolithe ferrugineuse qui, pour rappel, s'étend de 0 à 5 mètres sur la coupe (SPN 1, SPN 3ter, SPN 4, SPN 5, SPN 6 et SPN 7). La proportion d'oïdes n'excède pas 50 % ([Figure 10](#)). Elles sont de formes ovoïdes, en particulier dans SPN 6 où leur forme est très allongée ([Figure 15](#)). Leur taille est en moyenne de 300 µm dans leur longueur, et varie de 100 µm au minimum (SPN 5, [Figure 14](#)) à 500 µm au maximum (SPN 7, [Figure 16](#)). Leur cortex est formé de laminations concentriques ou en biseaux, ferrugineuses, plus ou moins homogènes.

Plusieurs types d'oïdes sont observés :

- Des oïdes composites, formées à partir de plusieurs oïdes autour desquelles se forme un nouveau cortex ([Figure 11b](#)).
- Des oïdes de type  $\gamma$  (*sensu* Purser 1980) avec un cortex seulement développé sur un côté du nucleus. Elles sont plus rarement observées.

Les nucleus de ces oïdes sont de natures diverses. En majorité, ils ne sont pas visibles ou opaques comme les cortex. D'autres nucleus sont phosphatés ([Figure 12c](#) et [Figure 14a](#)). Certains ont la même couleur que leur cortex mais des structures ou motifs particuliers. C'est le cas d'une ooïde ([Figure 12c](#)) où le nucleus est ovoïde, d'une taille d'environ 150 µm par sa longueur, et ponctué de cercles plus clairs (pores ?), en quinconce, espacés d'environ 30 µm par leur centre. L'hypothèse d'un élément d'origine biologique est à envisager.

Certaines oïdes montrent des signes de compression ([Figure 15e](#)), où les oïdes sont jointives, à tel point que leur cortex épouse la forme de leurs voisines. Les oïdes de la lame mince SPN 5 ([Figure 14](#)) montrent une évolution dans leur couleur et leur structure. En haut de la lame mince, les oïdes sont de forme et de couleur normale, similaire à ce qui est décrit précédemment ([Figure 14b](#) et [Figure 14e](#)). Une différence peut être notée dans leur nucleus qui semble plus phosphaté (couleur jaunâtre) qu'en général.

Progressivement, leur aspect change. Leur cortex s'éclaircit, de couleurs plus orangées (Figure 14c) à du jaune verdâtre (Figure 14d). Les cortex semblent se désorganiser. Ils ne sont plus organisés autour de nucleus mais ressemblent plus à des lambeaux (Figure 14d). La description microscopique ne permet pas de définir si les cortex ont toujours la même composition.

La matrice argileuse est le constituant largement majoritaire dans les oolithes ferrugineuses puisqu'elle représente de 20 à 65 % des lames minces de minerai (Figure 10). Il est peut-être plus juste de parler *des* matrices tant sa couleur et sa granulométrie varie. La description microscopique ne permet pas de déterminer s'il s'agit d'une variation de composition chimique. Néanmoins, en ne prenant pas en compte les grains de quartz, la matrice contient d'autres grains blancs plus petits (moins de 50 µm) dans des proportions variables. Cette variation s'observe dans la lame mince SPN 1 (Figure 11f) où une mince croûte ferrugineuse sépare une matrice contenant peu de grains, en bas, d'une matrice en contenant significativement plus, en haut. La matrice de la lame mince SPN 7 (Figure 16e) est un autre exemple de granulométrie plus fine.

Les grains de quartz sont les seuls éléments que l'on retrouve au moins en quantités significatives dans les échantillons d'oolithes ferrugineuses (Figure 11c, Figure 12c et Figure 16b). Le pourcentage de quartz varie entre 5 et 40 %. La taille des grains de quartz, majoritairement anguleux, varie en moyenne de 50 à 200 µm avec certains grains atteignant jusqu'à 300 µm.

Les bioclastes ne forment une part significative que pour les lames minces des échantillons SPN 6 et SPN 7. La plupart ne sont pas déterminables en raison de leur état trop fragmentaire (cependant voir Figure 12d, Figure 15d et Figure 16c), même si quelques foraminifères sont reconnaissables (Figure 13d et Figure 14d).

Les grains phosphatés ne sont pas en quantités suffisantes pour apparaître dans les proportions en Figure 10. Néanmoins, ils sont tout de même présents et reconnaissables à leur couleur jaune en lumière naturelle. Ils font la spécificité du minerai de fer. Ils constituent parfois le nucleus des ooïdes (Figure 12c, Figure 14e et Figure 16a) ou des grains à part dans la matrice (Figure 12a et Figure 15c). Leur forme est principalement anguleuse.

Les ciments calcitiques constituent une partie des échantillons SPN 4 (Figure 13a), SPN 5 et SPN 6 (Figure 15b).

### ***2.6.2. Les faciès à calcaires bioclastiques***

Dans les calcaires de la partie supérieure de la coupe, les bioclastes sont majoritaires. Leur reconnaissance est plus évidente dans le calcaire que dans les oolithes ferrugineuses ; on retrouve des échinodermes (Figure 17d, Figure 18a et Figure 18e, Figure 21e), des entroques de crinoïdes (Figure 17c, Figure 19a et Figure 22e), des foraminifères (Figure 18d, Figure 22a, et Figure 23e) et des fragments de bivalves (Figure 18f, Figure 19b, Figure 21a, Figure 22b et Figure 23a).

La matrice argileuse s'organise sous forme de lamines dans la lame mince SPN 16 (Figure 20b).

Les ooïdes ne sont plus retrouvées dans la partie supérieure de la coupe, hormis quelques fragments d'ooïdes dans la lame mince SPN 9 (Figure 17b).

Les grains de quartz anguleux (Figure 17a, Figure 19c, Figure 20a, Figure 21d et Figure 23b) varie de 5 à 50 %. Les échantillons SPN 9 et SPN 16 tendent vers des grès à ciment carbonaté. Les grains varient en moyenne de 50 à 200 µm, jusqu'à 500 µm.

Les ciments calcitiques constituent une part plus significative des échantillons de calcaire (Figure 10)

| N° LAME        | TEXTURE   | MATRICE/CIMENT  | ALLOCHEMES  |   | REMARQUES     |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|----------------|---|---|---|---|---------------|----------|---------------------------|---------|-----|----------|---------------|------------|--|----------------------------|----------------|--|-----|--|
|                |   |   | BIOGÈNES (Bioclastes)   | NON BIOGÈNES (Intraclastes, oïdes, péloïdes)  |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| SPN 1          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oomicrite ferrugineuse (Folk, 1959)</li> <li>Packstone/wackestone à oïdes ferrugineuses (Dunham, 1962)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Matrice micritique ferrugineuse (45 %) (Figure 11f)</li> <li>Quelques plages de ciment calcitique (rares) (Figure 11d)</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Quelques débris de bivalves</li> </ul>   | <p><b>Oïdes ferrugineuses (50 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 300 à 400 µm</li> <li>Forme : majoritairement allongée (proportion 1:3)</li> <li>Disposition : Jointives en amas</li> <li>Orientation/alignement : <math>\emptyset</math></li> <li>Nucleus : grains phosphatés, débris de bioclastes mais majoritairement indéterminés</li> <li>Type :</li> </ul> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires (Figure 11a)</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Quelques-unes</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Quelques-unes (Figure 11b)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </table> <p><b>Quartz (5 %) (Figure 11c)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 50 µm</li> <li>Forme : anguleux</li> <li>Disposition : jointifs par amas</li> </ul>  | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires (Figure 11a) | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Quelques-unes | Composites |  | Quelques-unes (Figure 11b) | Superficielles |  | Non | <p>Mince croûte ferrugineuse marquant un arrêt de sédimentation (Figure 11f)</p>   |
| Concentriques  | $\alpha$  | Majoritaires (Figure 11a)   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\beta$   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\gamma$  | Quelques-unes   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Composites     |   | Quelques-unes (Figure 11b)  |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Superficielles |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| SPN 3ter       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oomicrite ferrugineuse (Folk, 1959)</li> <li>Wackestone à oïdes ferrugineuses (Dunham, 1962)</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Matrice micritique ferrugineuse et chloriteuse (aspect verdâtre) (55 %) (Figure 12e)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Quelques débris de bivalves (Figure 12d)</li> </ul>                            | <p><b>Oïdes ferrugineuses (30 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 200 à 400 µm</li> <li>Forme : majoritairement allongée (proportion 1:3)</li> <li>Disposition : jointives en amas</li> <li>Orientation/alignement : quelques alignements parallèles à la stratification</li> <li>Nucleus : grains phosphatés (Figure 12c) mais majoritairement indéterminés</li> <li>Type :</li> </ul> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </table> <p><b>Quartz (15 %) (Figure 12b)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 50 à 100 µm</li> <li>Forme : anguleux</li> <li>Disposition : jointifs par amas</li> </ul> <p><b>Grains phosphatés (rares) (Figure 12a)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 100 µm</li> <li>Forme : variable, anguleux ou émoussés</li> <li>Disposition : non jointives</li> </ul> | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires              | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Non           | Composites |  | Non                        | Superficielles |  | Non | <p>Traces de bioturbation</p>  |
| Concentriques  | $\alpha$  | Majoritaires  |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\beta$   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\gamma$  | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Composites     |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Superficielles |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| SPN 4          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intramicrorite (Folk, 1959)</li> <li>Packstone à wackestone à grains de quartz (Dunham, 1962)</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Matrice micritique chloriteuse (aspect verdâtre) (35 %) (Figure 13a)</li> <li>Ciment calcitique intergranulaire plus rare (20 %) (Figure 13a)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Débris indéterminés et rares foraminifères (Figure 13b)</li> </ul>             | <p><b>Quartz (40 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 50 à 200 µm</li> <li>Forme : anguleux</li> <li>Disposition : variable, jointifs ou non</li> </ul> <p><b>Oïdes ferrugineuses (5 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 200 à 300 µm</li> <li>Forme : Variables, allongées ou subcirculaires</li> <li>Disposition : non jointives</li> <li>Orientation/alignement : <math>\emptyset</math></li> <li>Nucleus : indéterminés</li> <li>Type :</li> </ul> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </table> <p><b>Grains phosphatés (rares)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 100 à 200 µm</li> <li>Forme : émoussés</li> <li>Disposition : non jointif</li> </ul>  | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires              | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Non           | Composites |  | Non                        | Superficielles |  | Non | <ul style="list-style-type: none"> <li>Grain microperforé (Figure 13c)</li> </ul>  |
| Concentriques  | $\alpha$  | Majoritaires  |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\beta$   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\gamma$  | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Composites     |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Superficielles |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| SPN 5          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oomicrite ferrugineuse (Folk, 1959)</li> <li>Wackestone à mudstone à oïdes ferrugineuses (Dunham, 1962)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Matrice micritique chloriteuse (aspect verdâtre) (50 %)</li> <li>Ciment calcitique intergranulaire (20 %)</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Foraminifère (Figure 14a) et rares débris indéterminés (Figure 14f)</li> </ul> | <p><b>Oïdes ferrugineuses (25 %) (Figure 14b)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 100 à 300 µm</li> <li>Forme : majoritairement allongée (proportion 1:3)</li> <li>Disposition : Jointives en amas (bioturbation probable)</li> <li>Orientation/alignement : <math>\emptyset</math></li> <li>Nucleus : grains phosphatés (Figure 14e) mais majoritairement indéterminés</li> <li>Type :</li> </ul> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </table> <p><b>Quartz (5 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taille : 50 à 100 µm</li> <li>Forme : anguleux</li> <li>Disposition : jointifs par amas</li> </ul>   | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires              | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Non           | Composites |  | Non                        | Superficielles |  | Non | <ul style="list-style-type: none"> <li>Oïdes oxydées et réduites présentes dans la même lame (Figure 14c et Figure 14d)</li> </ul> |
| Concentriques  | $\alpha$  | Majoritaires  |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\beta$   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
|                | $\gamma$  | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Composites     |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |
| Superficielles |   | Non   |   |   |               |          |                           |         |     |          |               |            |  |                            |                |  |     |  |

|                |  |   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
|----------------|--|---|--|--|---------------|----------|--------------|---------|-----|----------|-----|------------|--|-----|----------------|--|-----|--|
|                |  |   |  | <p><b>Grains phosphatés (rares)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 100 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux ou émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul>   |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| SPN 6          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oomicrite/sparite ferrugineuse (Folk, 1959)</li> <li>• Packstone/Grainstone à oïdes ferrugineux (Dunham, 1962)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrice micritique ferrugineuse (20 %)</li> <li>• Ciment calcitique partiel ou cimentation totale (20 %) (Figure 15b)</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Débris de bivalves (Figure 15d)</li> <li>• 10 % de bioclastes</li> </ul>  | <p><b>Oïdes ferrugineux (45 %) (Figure 15a)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 300 à 400 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : très allongées (proportion 1:4)</li> <li>• <b>Disposition</b> : Jointives</li> <li>• <b>Orientation/alignement</b> : en général dans le plan de stratification</li> <li>• <b>Nucleus</b> : grains phosphatés mais majoritairement indéterminés (Figure 15e)</li> <li>• <b>Type</b> :</li> </ul> <table border="1"> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Quartz (5 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 300 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul> <p><b>Grains phosphatés (rares) (Figure 15c)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 100 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux ou émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul> | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Non | Composites |  | Non | Superficielles |  | Non | x  |
| Concentriques  | $\alpha$   | Majoritaires  |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
|                | $\beta$  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
|                | $\gamma$   | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| Composites     |  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| Superficielles |  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| SPN 7          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oomicrite ferrugineuse (Folk, 1959)</li> <li>• Wackestone à oolithes ferrugineux (Dunham, 1962)</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrice micritique ferrugineuse (aucun ciment) + zone opaque zonée (65 %) (Figure 16e)</li> <li>• Ciment calcitique par endroits (rares) (Figure 16d)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombreux débris de bivalves indéterminés (Figure 16c)</li> <li>• 15 % bioclastes</li> </ul>   | <p><b>Oïdes ferrugineux (20 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 300 à 500 µm (grandes)</li> <li>• <b>Forme</b> : très allongées (proportion 1:3 à 1:2)</li> <li>• <b>Disposition</b> : Jointives ou non</li> <li>• <b>Orientation/alignement</b> : <math>\emptyset</math></li> <li>• <b>Nucleus</b> : grains phosphatés (Figure 16a) mais majoritairement indéterminés</li> <li>• <b>Type</b> :</li> </ul> <table border="1"> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Concentriques</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>Majoritaires</td> </tr> <tr> <td><math>\beta</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math></td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Composites</td> <td>Non</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Superficielles</td> <td>Non</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Quartz (rares) (Figure 16b)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 300 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul> <p><b>Cristaux de dolomite (5 %) (Figure 16h)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 100 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : rhomboédrique</li> <li>• <b>Disposition</b> : jointifs</li> </ul>          | Concentriques | $\alpha$ | Majoritaires | $\beta$ | Non | $\gamma$ | Non | Composites |  | Non | Superficielles |  | Non | <ul style="list-style-type: none"> <li>• croûtes ferrugineuses (Figure 16f et Figure 16g).</li> <li>• Conglomératique</li> </ul> |
| Concentriques  | $\alpha$   | Majoritaires  |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
|                | $\beta$  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
|                | $\gamma$   | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| Composites     |  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| Superficielles |  | Non   |  |  |               |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| SPN 9          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biosparite (Folk, 1959)</li> <li>• Packstone (Dunham, 1962)</li> <li>• Siliciarénite à matrice carbonate.</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrice partiellement recristallisée en sparite (20 %)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Serpules (Figure 17c), échinodermes (Figure 17d), bivalves (Figure 17e) et débris indéterminés</li> <li>• 20 % bioclastes</li> </ul>  | <p><b>Grains de quartz (50 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 200 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul> <p><b>Oïdes ferrugineux ou fragments (10 %) (Figure 17b)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 100 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : allongée</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointives</li> <li>• <b>Nucleus</b> : indéterminés</li> </ul> <p><b>Grains phosphatés (rares) (Figure 17f)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 200 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul>  | x             |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| SPN 12         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomicrosparite (Folk, 1959)</li> <li>• Rudstone bioclastique (Embry &amp; Klovan, 1971)</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• phase de liaison microsparitique (intégralité de l'espace intergranulaire) (40 %)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foraminifère (Figure 18d)</li> <li>• Echinodermes (Figure 18a)</li> <li>• Echinide (Figure 18e)</li> <li>• Bivalves (Figure 18f)</li> <li>• Bryozoaires (Figure 18b)</li> <li>• Gastropodes</li> <li>• 50 % bioclastes</li> </ul> | <p><b>Grains de quartz (10 %) (Figure 18c)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 200 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : non jointifs</li> </ul>  | x             |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |
| SPN 14         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biosparite (Folk, 1959)</li> <li>• Rudstone bioclastique (Embry &amp; Klovan, 1971)</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment calcitique (40 %)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Columnale de crinoïde (Figure 19a)</li> <li>• Echinodermes indéterminés</li> </ul>  | <p><b>Grains de quartz (10 %) (Figure 18c)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taille</b> : 50 à 200 µm</li> <li>• <b>Forme</b> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <b>Disposition</b> : majoritairement non jointifs</li> </ul>  | x             |          |              |         |     |          |     |            |  |     |                |  |     |  |

|        |   |   |   |   |   |
|--------|---|---|---|---|---|
|        |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bivalves (Figure 19b)</li> <li>• <i>Filograna socialis</i> (Figure 19d)</li> <li>• 50 % bioclastes</li> </ul>  |   |   |
| SPN 16 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biosparite (Folk, 1959)</li> <li>• Packstone à grains de quartz (Dunham, 1962)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrice micritique (40 %) (Figure 20b)</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragments de bivalves (Figure 20c)</li> <li>• 10 % bioclastes</li> </ul>   | <b>Grains de quartz (50 %) (Figure 20a)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taille</u> : 50 à 500 µm</li> <li>• <u>Forme</u> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <u>Disposition</u> : jointifs</li> </ul>  | x |
| SPN 18 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biosparite (Folk, 1959)</li> <li>• Floatstone bioclastique à grains de quartz</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment calcitique (35 %)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Echinoderme (Figure 21a, Figure 21e)</li> <li>• Foraminifères (Figure 21a, Figure 21c)</li> <li>• Indéterminés (Figure 21a)</li> <li>• 60% bioclastes</li> </ul>   | <b>Grains de quartz (5 %) (Figure 21d)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taille</u> : 50 à 300 µm</li> <li>• <u>Forme</u> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <u>Disposition</u> : variable, jointifs ou non</li> </ul> <b>Grain phosphaté (rare) (Figure 21f)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taille</u> : 150 µm</li> <li>• <u>Forme</u> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <u>Disposition</u> : seulement un grain observé</li> </ul> | x |
| SPN 20 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio/intrasparite (Folk, 1959)</li> <li>• Grainstone bioclastique à grains de quartz (Dunham, 1962) partiellement dolomitisé</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment calcitique (25 %) (Figure 22c, Figure 22f et Figure 22h)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bivalves (Figure 22b) dont certains encroûtés par <i>Nubecularia</i></li> <li>• Foraminifères (Figure 22a)</li> <li>• + Bryozoaire (Figure 22d)</li> <li>• Ossicule de crinoïde (Figure 22e)</li> <li>• <i>Filograna socialis</i></li> <li>• 70% bioclastes</li> </ul> | <b>Grains de quartz (5 %)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taille</u> : 50 à 200 µm</li> <li>• <u>Forme</u> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <u>Disposition</u> : non jointifs</li> </ul>  | x |
| SPN 22 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio/intrasparite (Folk, 1959)</li> <li>• Grainstone bioclastique à grains de quartz (Dunham, 1962)</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciment calcitique et cristaux de dolomite (25 %) (Figure 23d)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bivalves (Figure 23a)</li> <li>• Echinodermes (Figure 23b, Figure 23e)</li> <li>• <i>Filograna socialis</i> (annélides)</li> <li>• Foraminifère (Figure 23e)</li> <li>• 70 % bioclastes</li> </ul>   | <b>Grains de quartz (5 %) (Figure 23b)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Taille</u> : 50 à 200 µm</li> <li>• <u>Forme</u> : variable, anguleux à émoussés</li> <li>• <u>Disposition</u> : non jointifs</li> </ul>   | x |

Tableau 4 : Description microscopique des 15 lames minces du spéléodrome.

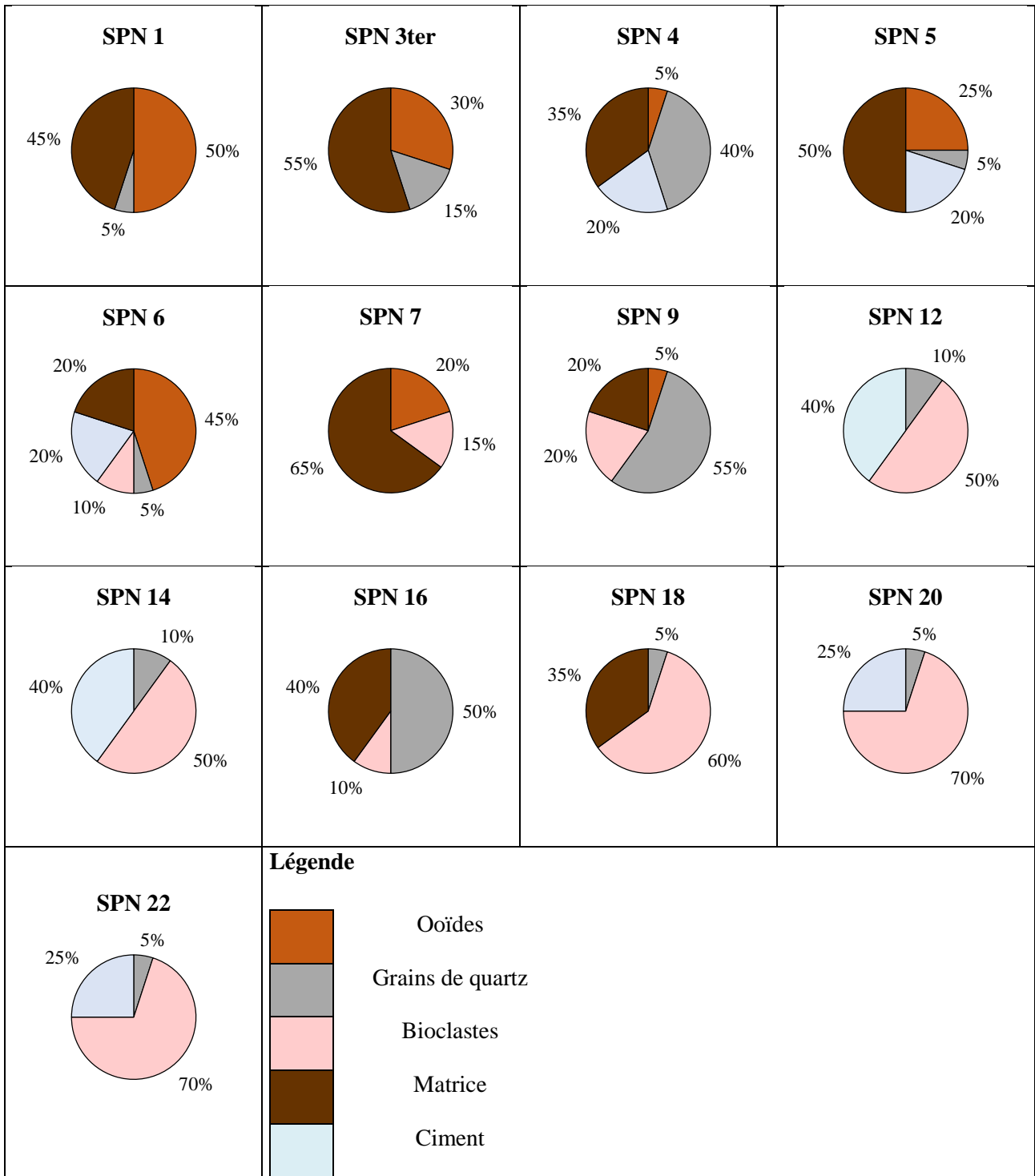
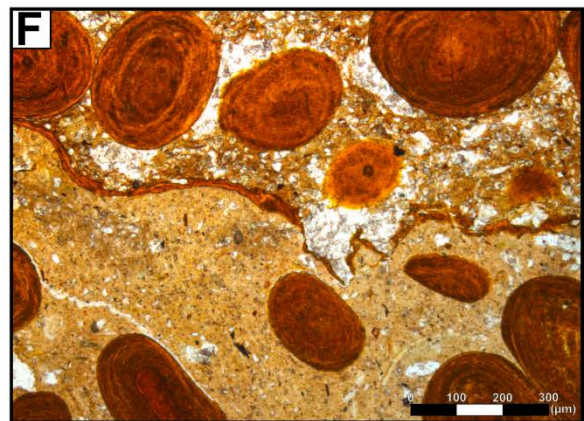
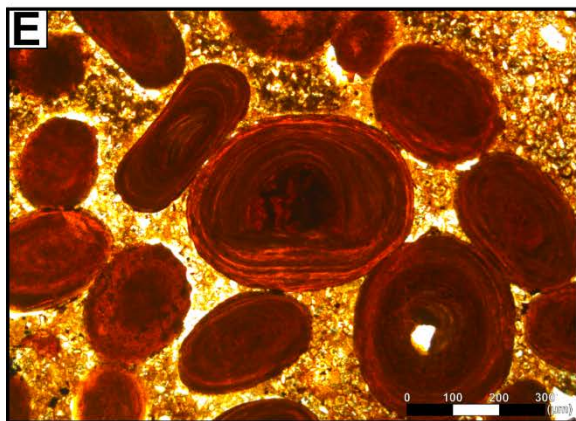
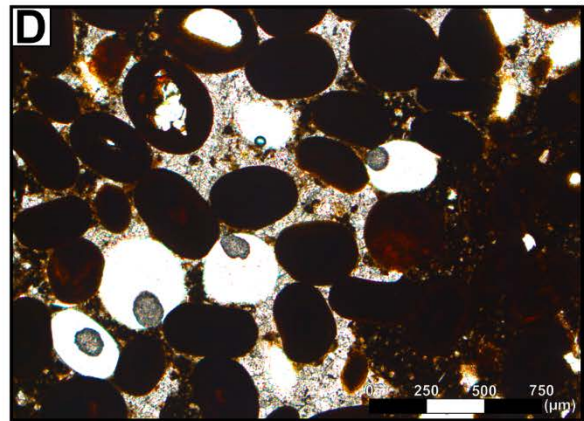
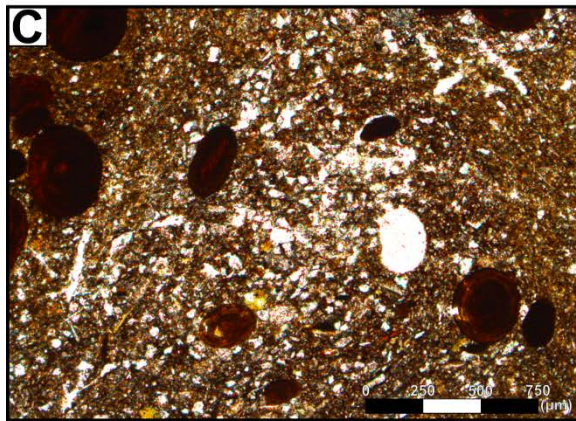
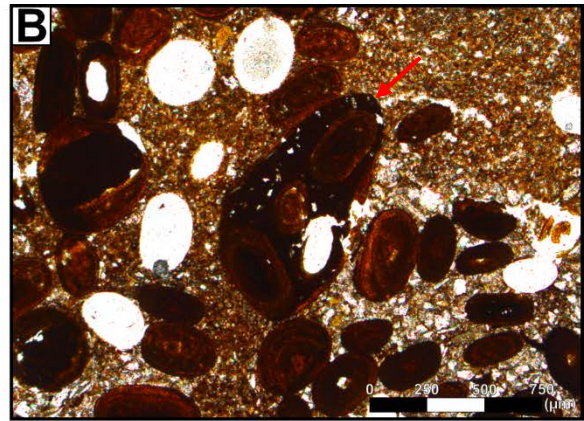
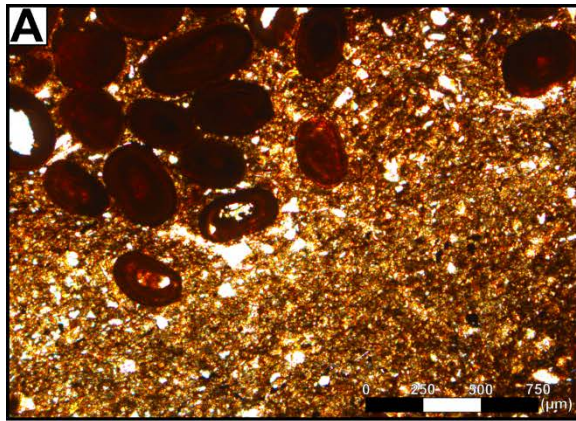


Figure 10 : Proportion des différents constituants décrits dans les lames minces



*Figure 11 : Planche photo relative à la lame mince SPN 1.*

*A) Ooïdes et matrice. B) Ooïde composite. C) Grains de quartz. D) Ciment calcitique. E) Détail des cortex. F) Contact entre deux matrices différentes, séparées par une fine croûte ferrugineuse.*

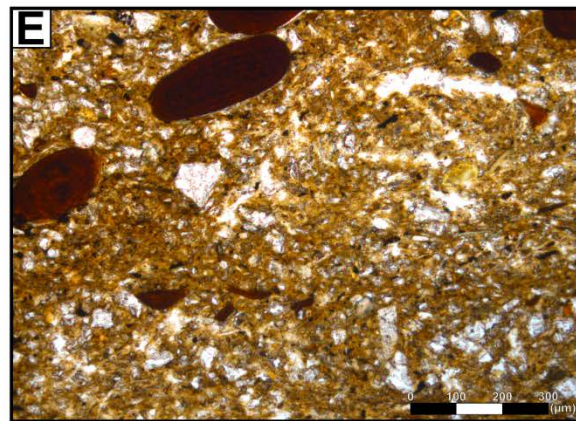
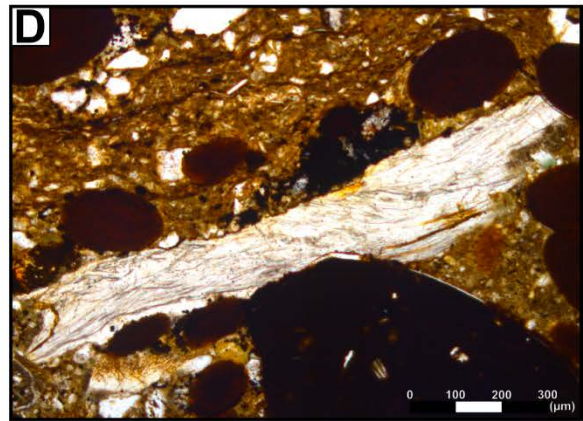
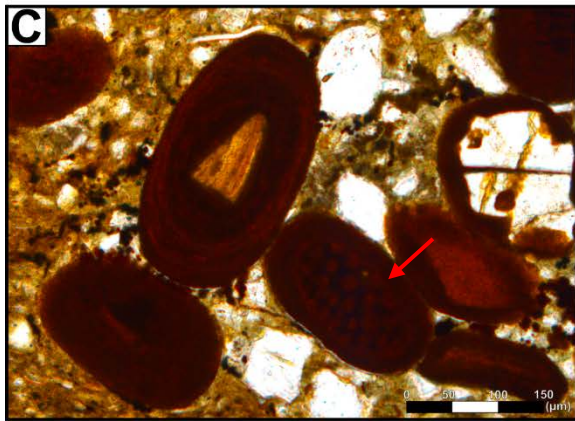
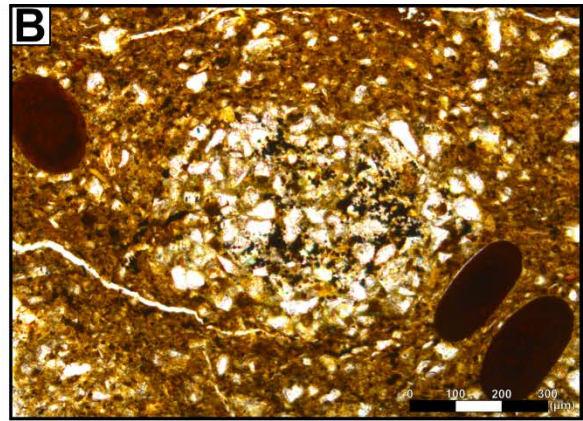
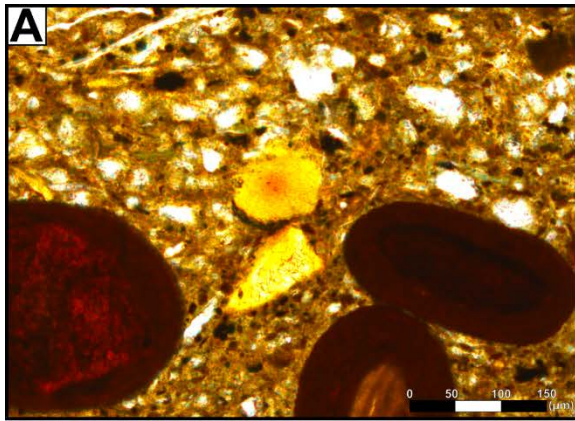
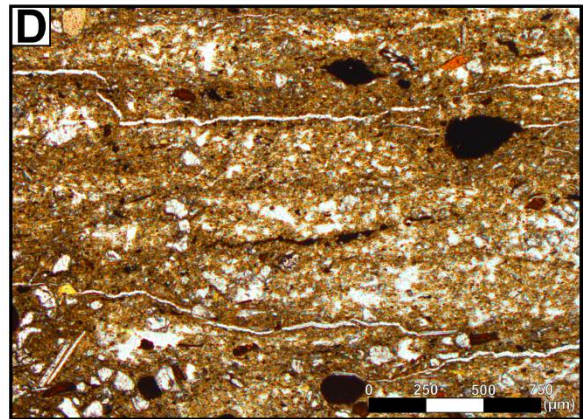
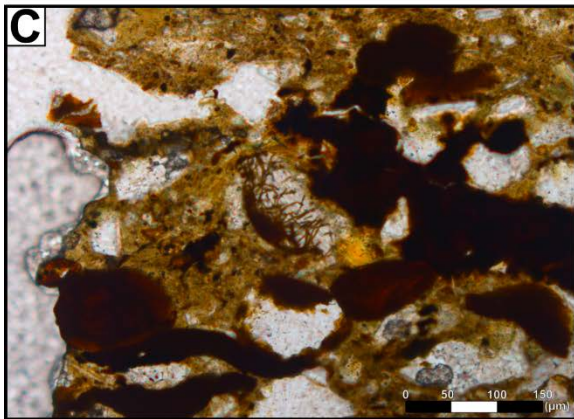
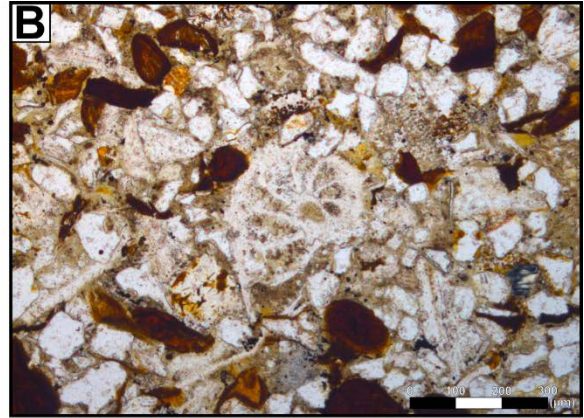
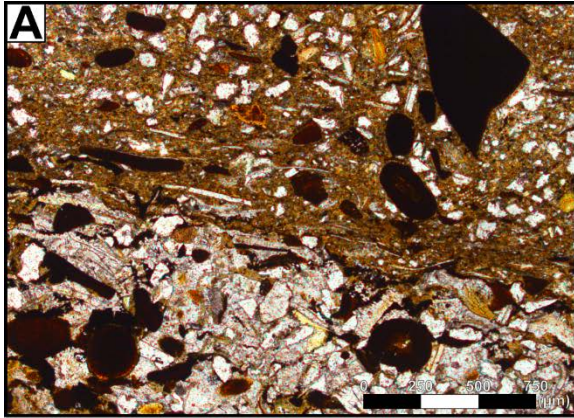


Figure 12 : Planche photo relative à la lame mince SPN 3ter.  
A) Deux grains phosphatés. B) Amas de grains de quartz (probable bioturbation). C) Nucleus phosphaté. D) Débris d'huître à microstructure dite lamellaire-croisée. E) Matrice chloriteuse.





*Figure 13 : Planche photo relative à la lame mince SPN 4.*

*A) Ciment calcitique en bas et matrice en haut. B) Foraminifère (Lenticulina ?). C) Grain microperforé. D) Matrice laminée.*

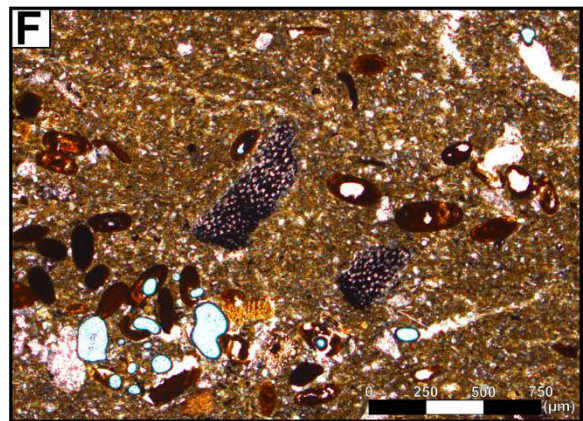
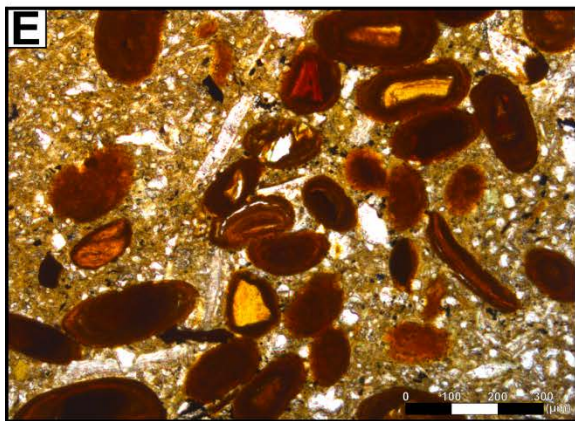
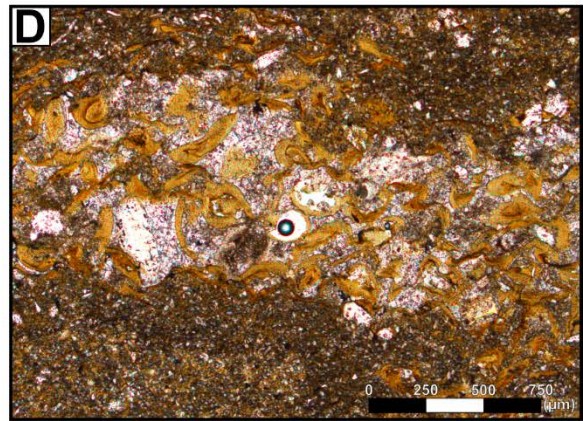
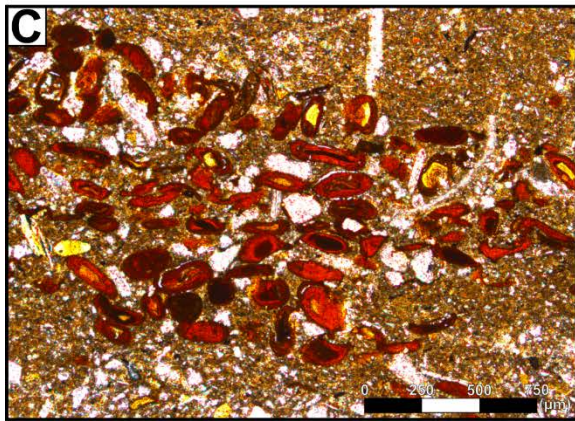
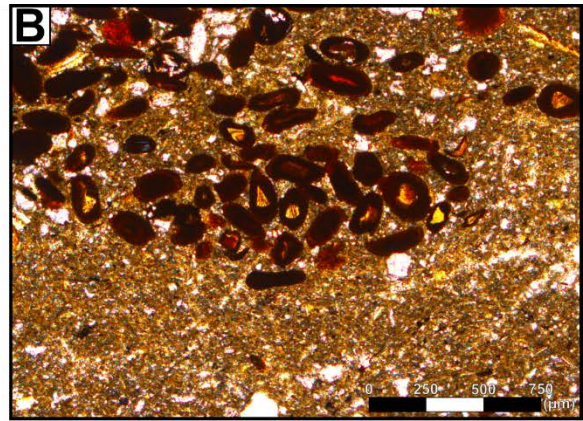
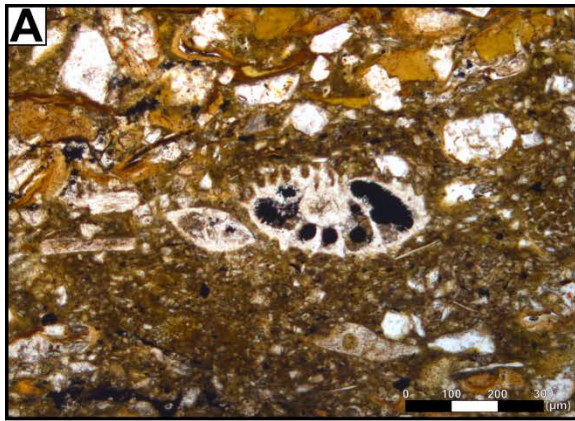


Figure 14 : Planche photo relative à la lame mince SPN 5.

A) Foraminifères (lenticulines). B) Amas d'oïdes, bioturbation probable. C) Ooïdes oxydées (goethite ?). D) Ooïdes réduites (berthiérine ?). E) Nucleus phosphatés (en jaune). F) Débris échinodermique ferruginisés. (le remplissage du stéréome est monocristallin).

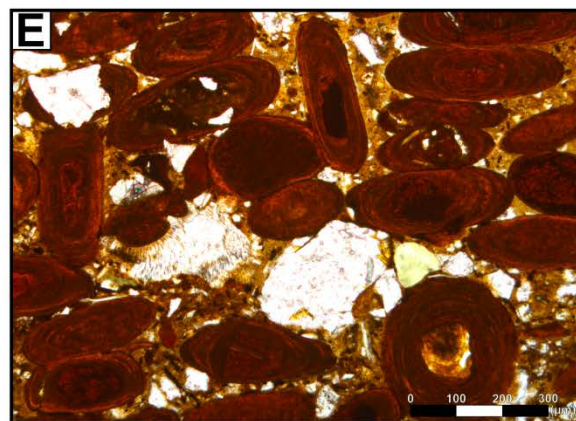
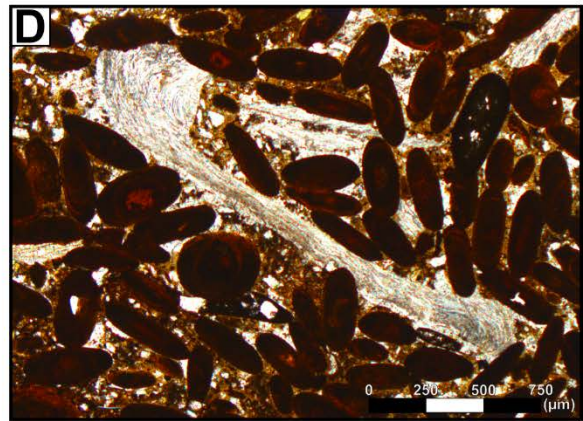
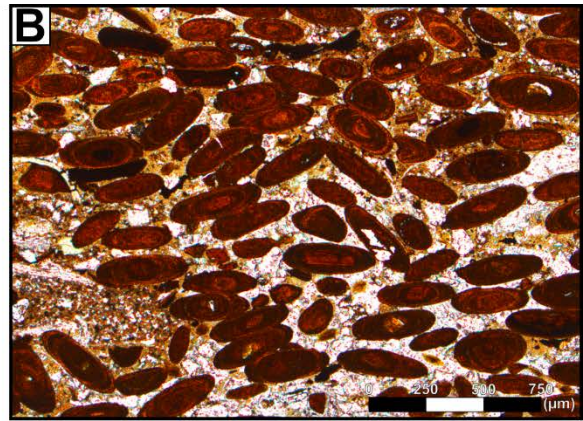
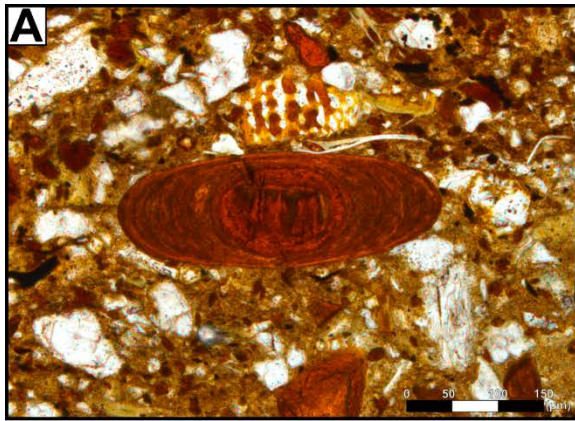


Figure 15 : Planche photo relative à la lame mince SPN 6.

A) Détail de la structure typique d'un ooïde de SPN 6. B) Ciment sparitique et allongement des ooïdes. C) Grain phosphaté. D) Fragment d'huître. E) Variété de nucleus.

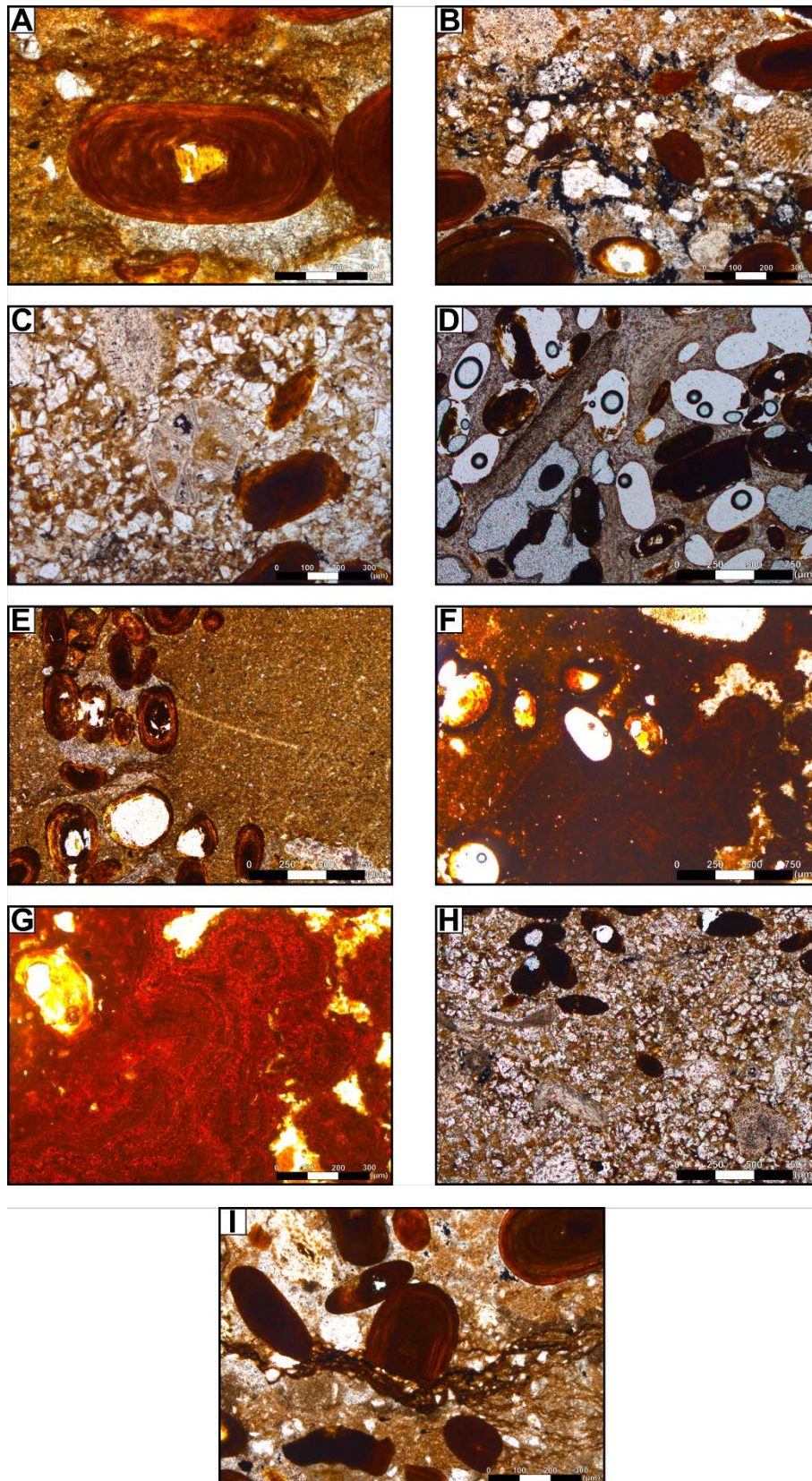


Figure 16 : Planche photo relative à la lame mince SPN 7.

A) Nucleus phosphaté. B) Grains de quartz. C) Bryzoaire érigé probable. D) Ciment calcitique, nombreuses oïdes arrachées au moment de la fabrication de la lame E) Matrice.

F) Zone opaque. G) Zoom sur la zone précédente, croûte ferrugineuse laminée. H) Rhomboédres de dolomite. I) Ooïde tronquée.

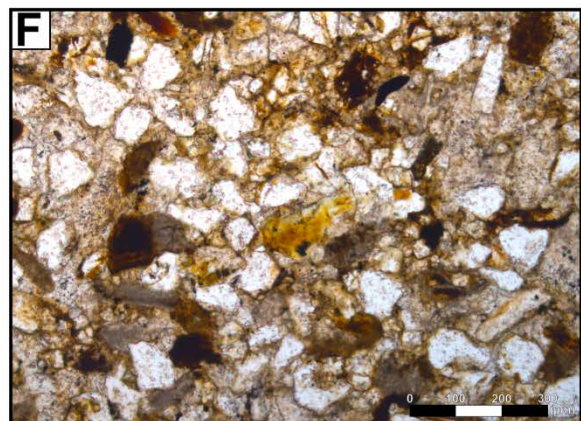
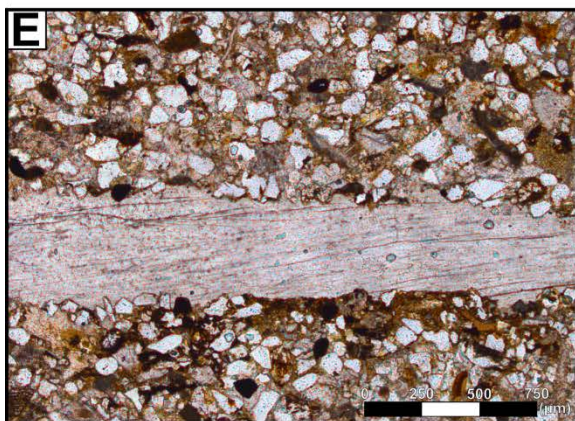
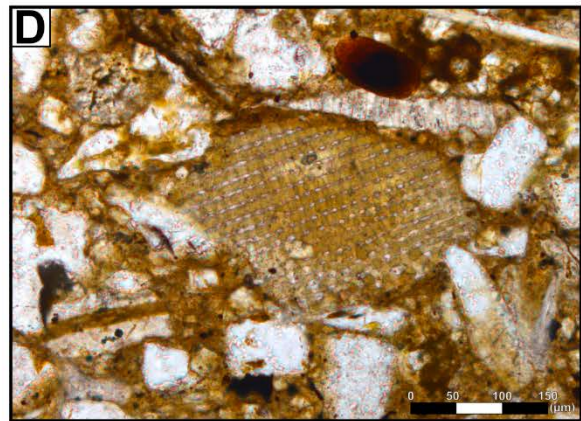
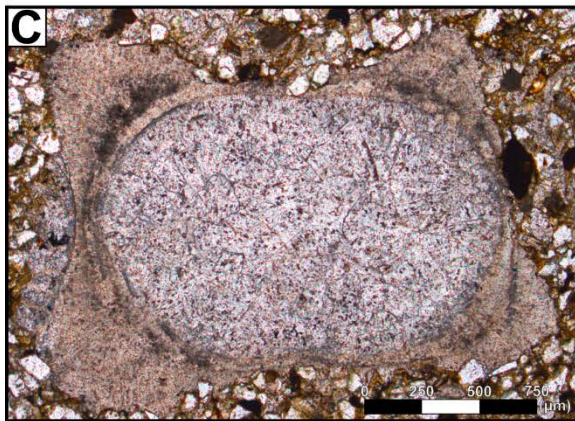
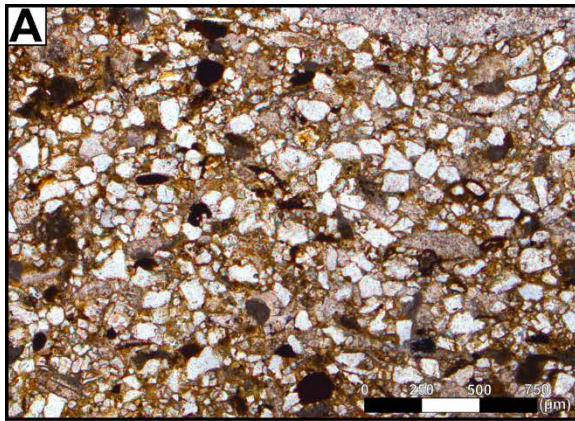


Figure 17 : Planche photo relative à la lame mince SPN 9.  
A) Faciès type. B) Fragment d'ooïde. C) Section transversale de *Serpula* (*Tetraserpula*) sp. D) Echinoderme. E) Bivalve probable. F) Grain phosphaté.

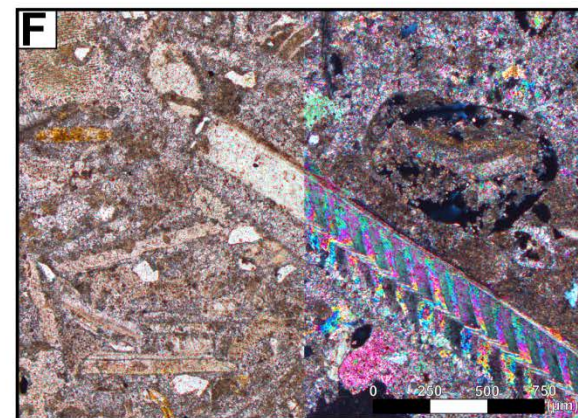
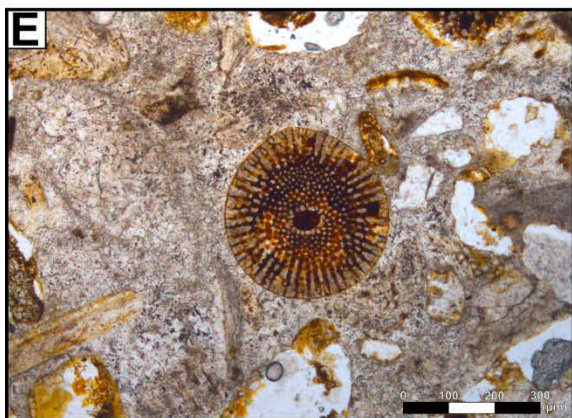
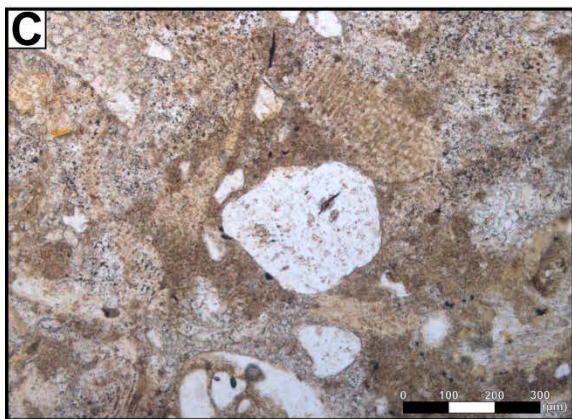
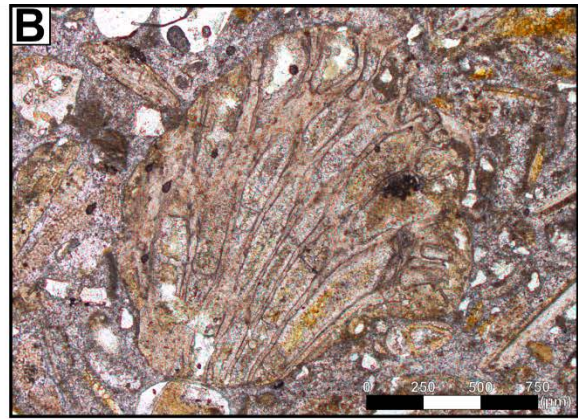
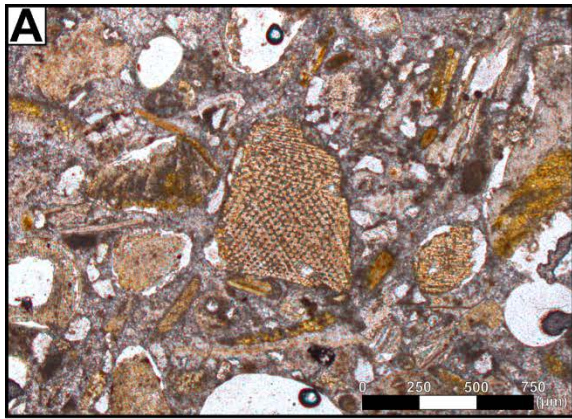


Figure 18 : Planche photo relative à la lame mince SPN 12.

A) Echinoderme indéterminé. B) Bryozoaire. C) Quartz émoussé. D) Foraminifère. E) section transversale d'un radiole d'oursin Diadematacea. F) Bivalve (LPNA/LPA).

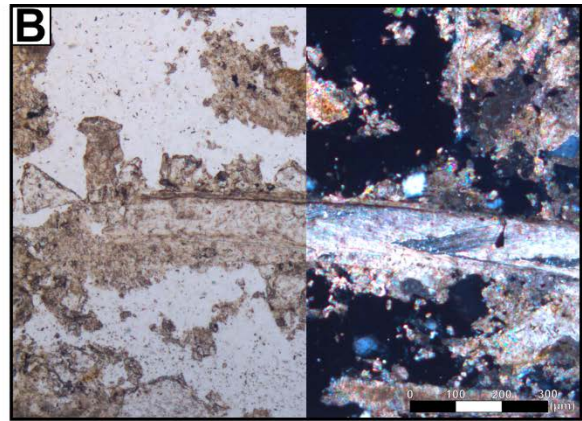
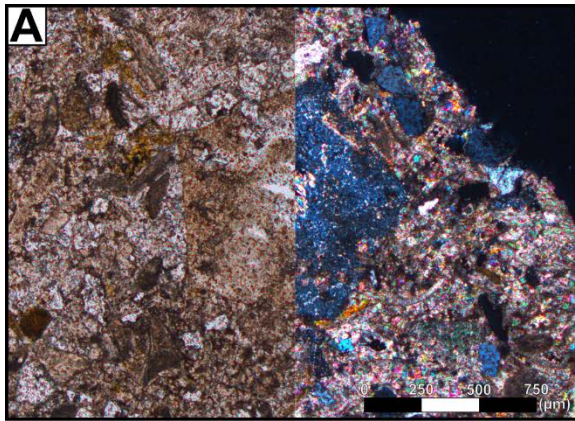


Figure 19 : Planche photo relative à la lame mince SPN 14.

A) Columnale de crinoïde (LPNA/LPA). B) Bivalve (LPNA/LPA). C) Grains de quartz. D) Annélide polychète de l'espèce *Filograna socialis*.

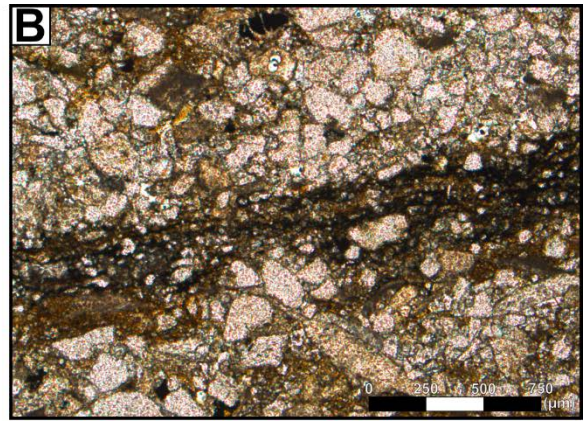
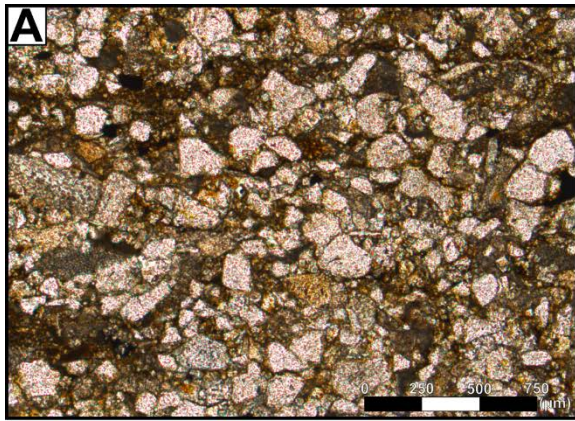


Figure 20 : Planche photo relative à la lame mince SPN 16.  
A) Grains de quartz. B) Lamine sombre. C) Bioclaste indéterminé.



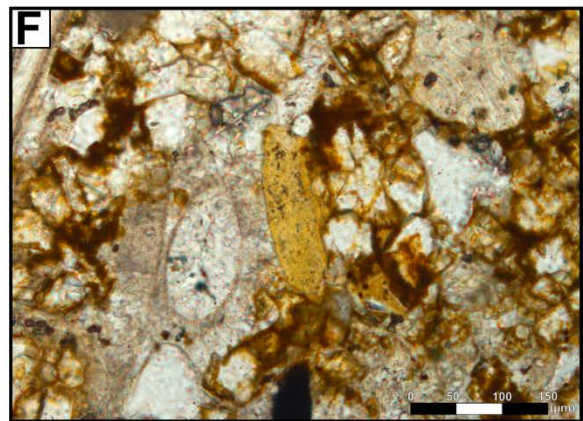
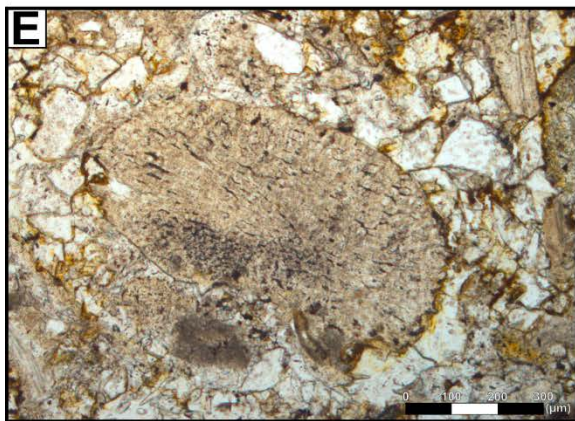
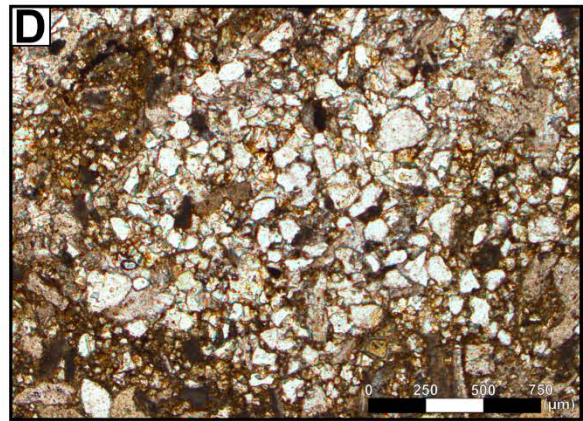
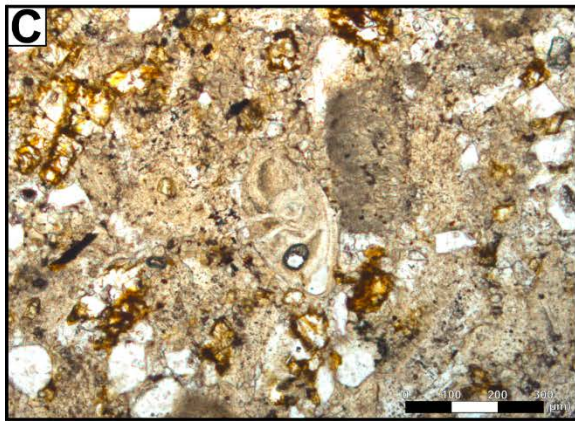


Figure 21 : Planche photo relative à la lame mince SPN 18.

A) Bioclaste (valve) indéterminé, échinoderme en haut et au centre. B) Jeune bélemnite probable. C) Foraminifère, probable *Lenticulina*. D) Grains de quartz. E) Probable échinoïde. F) Grain phosphaté.

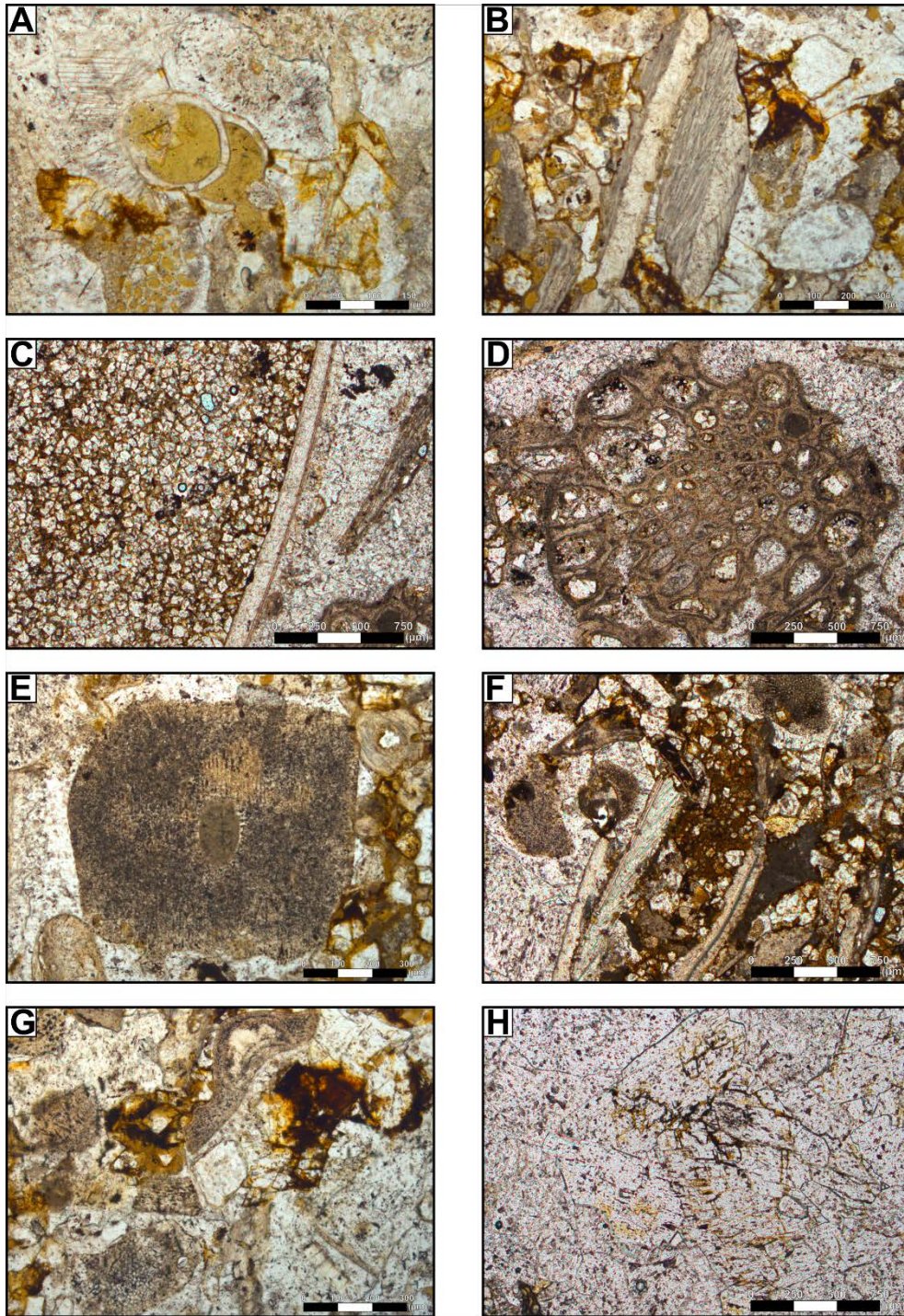


Figure 22 : Planche photo relative à la lame mince SPN 20.

A) Foraminifère remplissage phosphaté (?) et cristaux de dolomite de remplacement. B) Fragment de bivalve. C) Rhomboèdres de dolomite. D) Bryzoaire érigé. E) Article de crinoïde. F) Zone localement matricielle ou ferrugineuse. G) Rhomboèdre de dolomite. H) Calcite cristalline (ancienne dolomite ?).

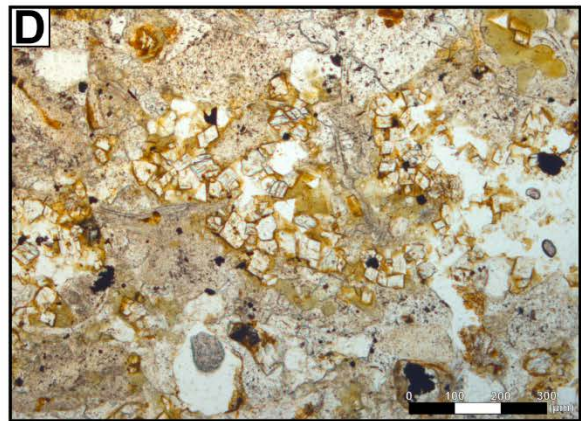
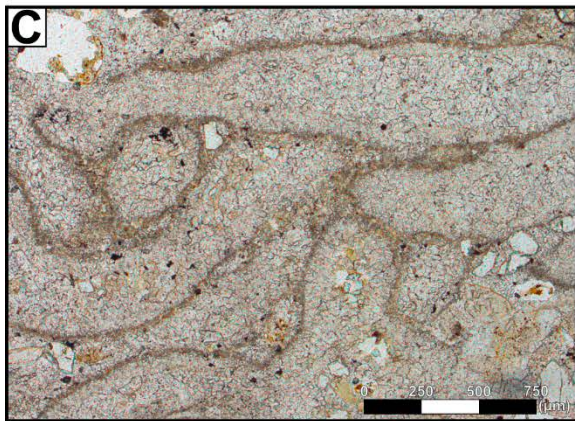
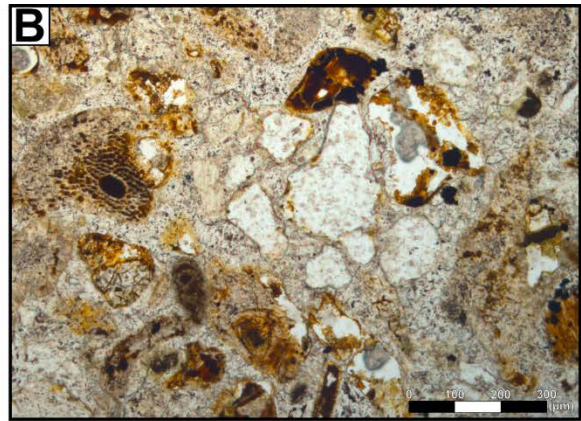
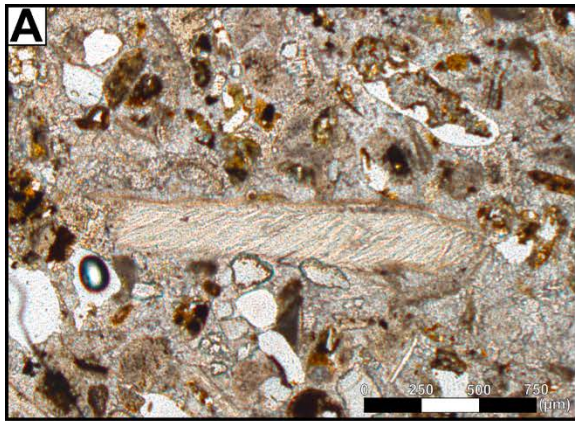


Figure 23 : Planche photo relative à la lame mince SPN 22.

A) Fragment de bivalve. B) Grains de quartz et article crinoïdique (à gauche). C) *Filograna socialis* annélide polychète au test plutôt mal préservé. D) Rhomboèdres de dolomite. E) Foraminifère (au centre) et fragment échinodermique (en bas).

## 3 – Conclusions

Trois unités stratigraphiques ont été identifiées selon des arguments paléontologiques, pétrographiques et minéralogiques et sont représentées en [Figure 24](#).

### **3.1. Unité lithologique oolithique ferrugineuse - Minette de Lorraine (échantillons SPN 0 à SPN 7)**

Les échantillons SPN 0, SPN 3ter, SPN 4, SPN 5, SPN 6 et SPN 7 sont des oolithes ferrugineuses, caractérisées par une couleur brune à orangée ([Figure 6](#)). Cette couleur « rouille » est due à la présence de fer oxydé, notamment à la goethite principalement contenue dans les ooïdes ([Tableau 3](#)), de taille inférieure au millimètre. Les zones plus sombres sont formées par la matrice argileuse du type chlorite, berthiérine et muscovite ([Tableau 3](#)). La goethite n'est pas dominante, ce qui est cohérent avec les descriptions microscopiques et les analyses minéralogiques, qui ne placent pas les ooïdes ferrugineuses en dominance mais bien la matrice argileuse.

Les faciès de ces échantillons ne sont pas homogènes. Les échantillons dominés par les ooïdes, SPN 6 et SPN 7, présentent des regroupements d'ooïdes en amas arrondis entourés de matrice formant des stratifications ([Figure 6](#)). À l'inverse, les échantillons SPN 1, SPN 3ter et SPN 4 et SPN 5 sont dominés par la matrice regroupée sous forme d'amas qui s'organisent selon une stratification horizontale ([Figure 6](#)). Ces amas, de matrice ou d'ooïdes, traduisent une intense bioturbation du sédiment.

Le quartz, les feldspaths ainsi que la matrice argileuse sont liés à la fraction détritique et terrigène de ces roches sédimentaires. Les grains phosphatés identifiés en microscopie constituent une part importante de la minéralogie (apatite – 7 % ; [Tableau 3](#)). Les six échantillons de ce faciès comportent une fraction peu importante de débris bioclastiques calcitiques (bivalves et quelques rares foraminifères), à l'exception particulièrement visible de l'échantillon SPN 6 ([Figure 6](#)). La calcite peut aussi correspondre aux ciments. La dolomite forme des cristaux automorphes.

La couche de minerai identifiée semble être la couche supérieure (N1/N2) pour plusieurs raisons :

- 1<sup>er</sup> raison, la plus évidente : la coupe atteint ce qui semble être les Marnes micacées puis les Calcaires sableux de Haye. Ces deux formations bordent la partie supérieure de la Minette de Lorraine.
- 2<sup>e</sup> raison : les ammonites décrites font débiter la coupe dans la sous-zone Lugdunensis, sous-zone de la zone à Aalensis qui caractérise les niveaux N1/N2 définis par Gérard et Bichelonne (1940) dans le bassin de Nancy ([Chenot et al., 2023](#)).
- 3<sup>e</sup> raison : le sommet de l'unité lithologique oolithique ferrugineuse est marqué par la présence d'un conglomérat composé de nodules calcaires, pour certains perforés. Ce conglomérat a été décrit par [Maubeuge \(1961\)](#) comme marquant la transition de l'Aalénien au Bajocien.

### **3.2. Unité lithologique marneuse - Marnes micacées (SPN 8 à SPN 10)**

Les marnes n'ont pas été photographiées. Elles sont très meubles, sombres et la muscovite se reflète bien sous les lampes frontales. Cette dénomination de marne que nous avons gardée, à défaut, à cause de ses caractères macroscopiques, s'éloigne, de fait, assez significativement d'une marne au sens strict par les teneurs qu'y prennent en particulier le quartz et la muscovite. La muscovite constitue bien en minéralogie, la part la plus importante de la fraction argileuse, avec des pourcentages atteignant 50 % de la minéralogie de la roche totale. La calcite, présente en très faible quantité peut être associée aux organismes retrouvés dans ces unités (pour rappel, la plus grande concentration de macrofaune a été retrouvée dans ces faciès).

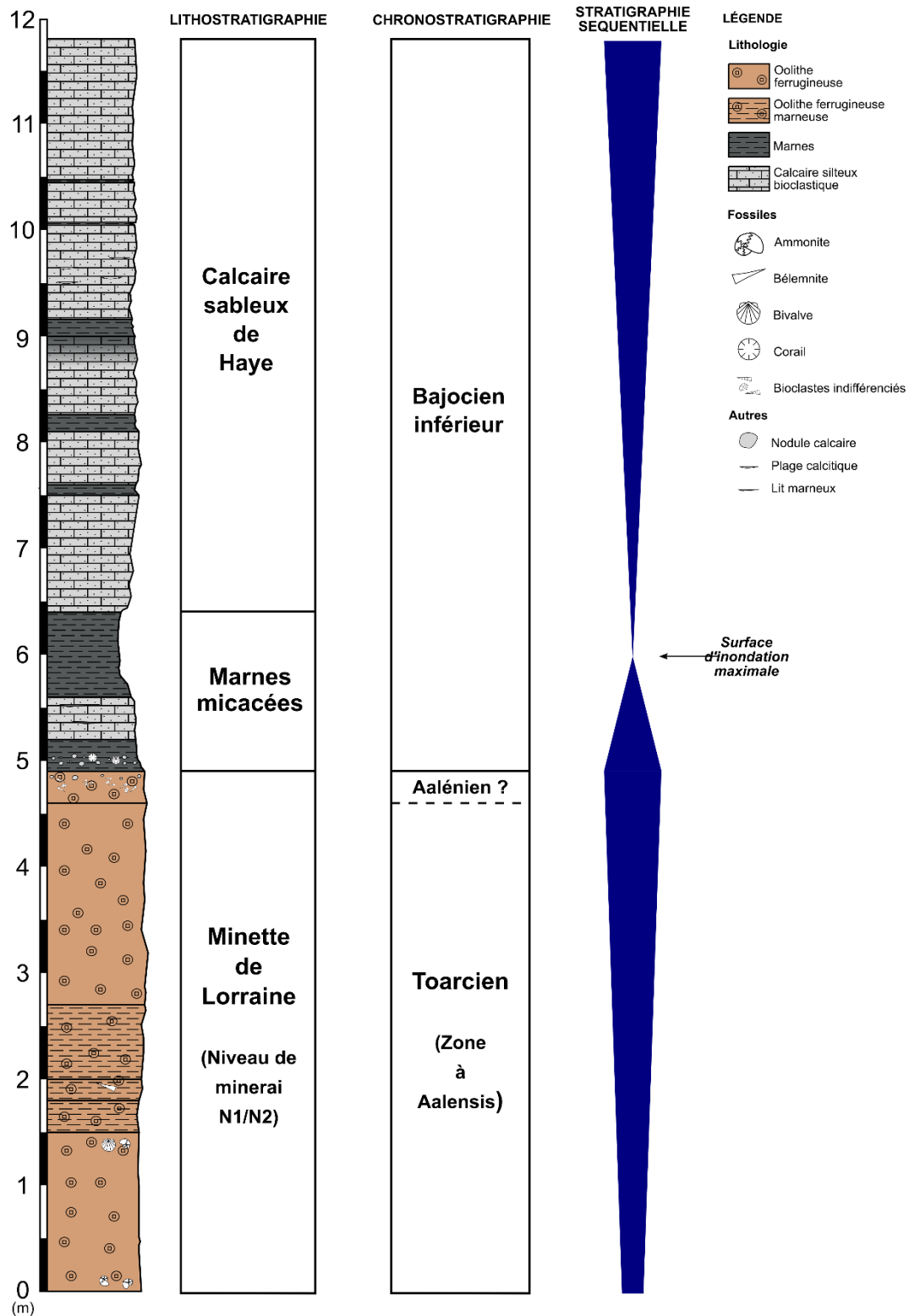


Figure 24 : Interprétation lithostratigraphique, chronostratigraphique et séquentielle de la coupe du spéléodrome

À sa base, cet ensemble peu épais des Marnes micacées est bien distinct du fait qu'il repose sur une lithologie différente (ferriarénite oolithique) par une surface complexe avec un conglomérat qui est interprété comme l'effet d'une transgression. À sa partie supérieure, la formation est définie plus arbitrairement, par la fin de la dominance des faciès dits « marneux » sur les faciès calcaires. Le maximum d'argilosité est ici interprété comme correspondant au maximum d'inondation du premier

cycle de dépôt bajocien ; la transition avec la formation suivante (les Calcaires sableux de Haye) est donc graduelle et participe au même cycle de dépôt.

### 3.3. Unité lithologique des calcaires bioclastiques - Calcaire sableux de Haye (SPN 11 à SPN 22)

Les échantillons sont majoritairement de couleur gris-bleu mais certains ont une teinte orangée rappelant le minerai sous-jacent, bien qu'ils ne comportent pas d'ooïdes ferrugineuses. Le fer, qui donne cette couleur « rouille » semble donc aussi présent, mais les analyses par diffraction des rayons X révèlent une absence d'hydroxydes de fer. Le fer oxydé est donc présent mais sous forme amorphe. C'est particulièrement le cas de SPN 20 et SPN 18 et dans une moindre mesure SPN 16 et SPN 9 (Figure 6). Exception pour l'échantillon SPN 9 (Figure 17b) qui comporte quelques ooïdes, de taille similaire aux ooïdes du minerai. Ce calcaire est caractérisé par ses bioclastes décrits dans la partie 2.3. Ils sont de taille centimétrique pour l'échantillon SPN 18 (Figure 21) à millimétrique pour l'échantillon SPN 9 (Figure 17).

## REFERENCES

- Caillière, S., Kraut, F., 1957. Les gisements de fer du Bassin lorrain. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. série C, tome 4. Série C-Sciences de la Terre. 175 pages.
- Charles, R.-P., Maubeuge, P.-L., 1952. Liogryphées jurassiques de l'Est du Bassin Parisien. II - Liogryphées du Bajocien. *Bulletin de la Société Géologique de France* série 6, tome 2 (fascicule 4-6) : 191-195
- Chenot, E., Dennielou, E., Lathuilière, B., Carpentier, C., Fischer, M., 2023. Neuves-Maisons : La minette de Lorraine dans les mines du Val de fer. Contribution ORAGE originale à la Banque de données du sous-sol n° 32, p. 1-37.
- Delacôte, E., 2021. Plongée au coeur du spéléodrome de Villers. *L'Est Républicain*, 2.
- Dunham, R., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In *Classification of Carbonate Rocks*, 108-121.
- Elmi S., Rulleau L., Gabilly J. & Mouterde R. 1997. Toarcien. in Cariou E. & Hantzpergue P. Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles *Bulletin des centres de recherche exploration-production Elf-Aquitaine*. Mémoire 17. p. 25-36; 120-125.
- Embry, A. F., Klovan, J. E., 1971. A late Devonian reef tract on north-eastern Bank Island. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19, 730-781.
- Folk, R. L., 1959. Practical Petrographic Classification of Limestones. volume 43, 1-38.
- Gérard, C., Bichelonne, J., 1940. Les Ammonites aaléniennes du minerai de fer de Lorraine. *Mémoires de la Société géologique de France* mémoire 42, t. 19 (1-2): 1-6
- Hilly, J., Haguenaer, B., 1979) Lorraine-Champagne (Masson).
- Imbeaux, E., 1897. Recherche de nouvelles eaux de source. Avant-projet de captation des eaux souterraines de la forêt de Haye (partie Sud-Est). Rapport présenté par M. Imbeaux, ingénieur directeur du service municipal, 73 pages. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k96179907/f5.item>
- Imbeaux, E., & Villain, F. (1902). *Captation des eaux souterraines de la Forêt de Haye*. Imprimerie nancéienne.
- Kameda, J., Raimbourg, H., Kogure, T., Kimura, G., 2011. Low-grade metamorphism around the down-dip limit of seismogenic subduction zones : Example from an ancient accretionary complex in the Shimanto Belt, Japan. *Tectonophysics* 502 (3-4), 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.02.010>
- Maubeuge P.-L. 1955. Observations géologiques dans l'Est du bassin de Paris Mémoire thèse de doctorat d'état. Université Nancy, 1082 p.
- Maubeuge, P. L. (1961). Ammonites caractéristiques de l'Aalénien Lorrain. *Bulletin Technique des mines de fer*, 62, 1-11.
- Purser, B.H., 1980. Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. Tome 1, Les éléments de la sédimentation et de la diagenèse, *Technip* ; Rueil-Malmaison : Institut français du pétrole vol.1, XVII + 366 p.
- Service des eaux de la ville de Nancy, Service de l'Usine de Messein, Contrôle de la qualité bactériologique des eaux, 1909) *Les eaux de Nancy en 1909* (Dufey).
- Vaute, L., 2007. *Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2006* (BRGM/RP-56142-FR; p. 104). BRGM.