

LES CONODONTES : UN DOMAINE DE LA MICROPALÉONTOLOGIE

Pierre Gatel, membre de la SAGA.

Dans le domaine de la paléontologie, les conodontes ont longtemps constitué un groupe fossile et énigmatique d'animaux marins. Leur période de peuplement supposée s'étend du Cambrien moyen au Trias supérieur.

Leurs seuls organes connus ont longtemps été constitués par des denticules de taille millimétrique ou infra-millimétrique, en « dent conique », en « rameau » ou en « dent de peigne ».

Leur évolution rapide, leur diversité et leur répartition en font des marqueurs stratigraphiques extrêmement utiles. Ceci, bien que leurs corps fossilisés n'aient pas été découverts avant la décennie 1980.

1. Historique

Pander (figure 1) a été le premier scientifique à décrire des conodontes, des microfossiles phosphatés, de taille millimétrique ou inférieure, découverts, originellement, dans des sédiments d'âge Ordovicien à Carbonifère inférieur de la région est-baltique.



Figure 1. Portrait de Pander (1794-1865), pionnier de la description des conodontes.
Source : <http://drw.saw-leipzig.de/30779>.

Ce savant germano-letton, d'une Lettonie en territoire russe, est encore revendiqué par les différentes nations comme en témoignent ses prénoms et patronymes : Christian Heinrich von Pander, ou Kristians, Hans Christian, Christian Ivanovič Panders. Sans parler du courrier antérieur, à prénoms français, adressé à lui par la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, en 1821.

En 1856, Pander donne, en allemand, la première diagnose des conodontes :

« des restes petits, brillants et allongés très semblables par leur forme à des dents de poissons, se développant soit en hauteur, soit en direction d'une pointe terminale, se rétrécissant soit graduellement soit brusquement vers le bas, avec une forme plus ou moins incurvée, la plupart d'entre eux présentant des marges aiguës (en forme de quilles), l'une à l'avant, l'autre à l'arrière ». In Blicek (2012).

Le tableau 1 donne les principales étapes de la découverte des conodontes. Les données de ce tableau et l'essentiel des informations de cet article sont tirés de la synthèse de Sweet et Donoghue (2001).

Tableau 1. Principales étapes de la découverte des conodontes.

Dates	Principales étapes
1856	Première description par C.H. Pander. Les conodontes pourraient être des éléments dentaires ou des mâchoires de poissons fossiles.
1952	Extension du domaine spatial des fossiles (nature des roches : calcaires, grès, en plus des schistes) et répartition stratigraphique régulièrement accrue.
Décennie 1960	Découvertes d'assemblages naturels (figures 2A et 2B) constitués d'appareils de capture et d'alimentation. Classification par systèmes multi-élémentaires, en 1966, au-delà des éléments isolés, un siècle après leur première description.

1983-1995	Découvertes de fossiles de conodontes, pratiquement complets, permettant d'en comprendre l'anatomie (figures 3 à 5).
Après 1995	<p>Inter-relations entre conodontes ; place dans l'évolution des vertébrés (rapportés aux chordés plutôt qu'aux chaetognathes en 2001).</p> <p>« Doté d'un appareil nourricier propre à l'analyse cladistique... finalement ce groupe, très répandu et contributeur stratigraphique majeur, offre un apport significatif au débat sur l'importance relative des données stratigraphiques et morphologiques dans la reconstitution de leur phylogénie ».</p> <p>Encore que « leur classification reste disputée entre tenants de la paléontologie des vertébrés (phylogénistes acharnés) et micropaléontologues (faisant reposer la phylogénie des conodontes sur des données stratigraphiquement ordonnées) ».</p>



Figure 2A. Assemblage naturel d'éléments de conodontes : holotype de *Scottognathus typicus* (Rhodes), synonyme récent de *Idiognathodus*, Pennsylvanien, Illinois. P, M, S = composants des régions correspondantes de l'appareil nourricier. Dimension : ~ 4 mm. Source : fig. 2 in Sweet et Donoghue, 2001.

Figure 2B. Modélisation en 3D de *Scottognathus typicus*, un fossile proche de *Clydagnathus windsorensis*. Source : fig. 3.5 in Sweet et Donoghue, 2001.

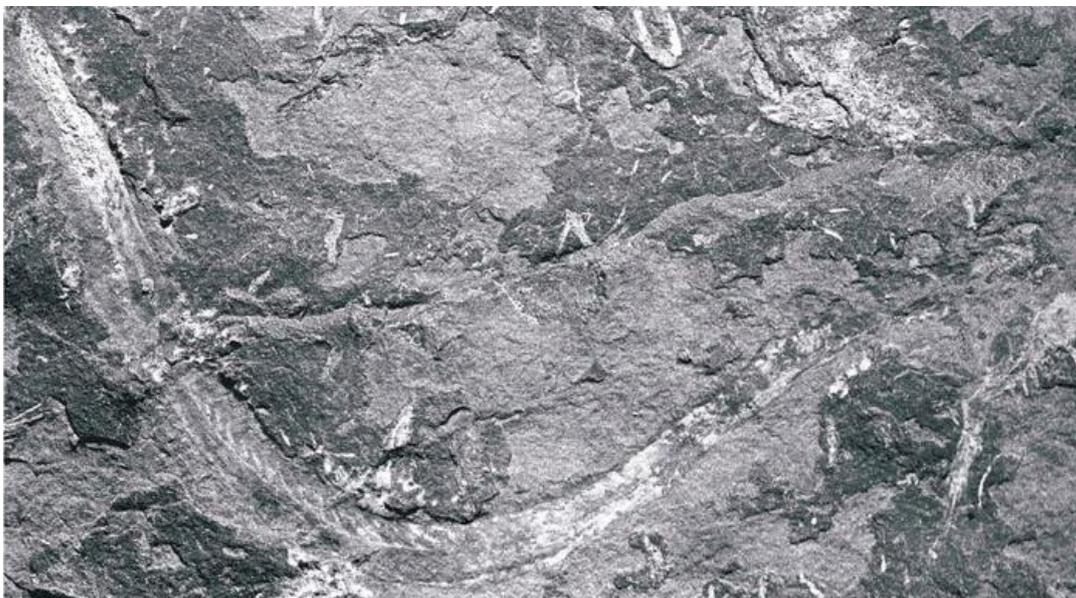


Figure 3. *Clydagnathus windsorensis* (Globensky), Dinantien d'Écosse. Animal entier [n° inventaire : BGS IGSE 13821 part.]. Dimension : ~ 40 mm. Source : fig. 3.1, in Sweet et Donoghue, 2001.



Figure 4. Région du tronc avec détail de la paire de lignes axiales, interprétée comme relique de la notochorde (ou chorde), caractère qui définit l'embranchement des chordés, avec en superposition les chevrons reliques des muscles segmentés. [RMS GY 1992.41.1]. Source : fig. 3.3 in Sweet et Donoghue 2001.

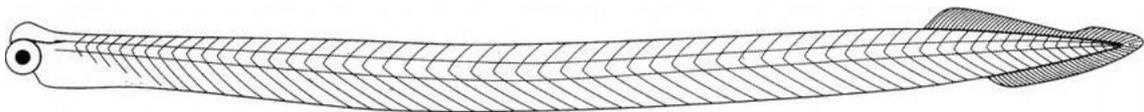


Figure 5. Reconstitution de l'anatomie de *C. windsorensis* (selon Purnell, 1995).
Source : fig. 3.7 in Sweet et Donoghue 2001.

2. Affinités des conodontes avec différents groupes actuels

Les meilleurs modèles de comparaison avec les conodontes sont ceux des chordés et des chaetognathes. Si l'on se réfère au modèle conduisant à la meilleure compréhension de ces fossiles « *le modèle des chordés représente l'hypothèse la plus robuste pour prendre en considération à la fois les caractères anatomiques des tissus mous de conodontes et l'histologie de leurs tissus durs* », selon Sweet et Donoghue (2001). Dès lors, on peut inférer qu'ils disposent de leur anatomie générale, celle typique des chordés invertébrés actuels (= céphalochordés, type *Amphoxius* ou *lancelet* en anglais) ou crâniates (type myxines) ou pétromysontides (lamproies, par exemple) ; c'est-à-dire les vertébrés les plus primitifs. Mais il faut néanmoins préciser :

- avec une tête, des organes sensoriels en paires et des nageoires anatomiquement distincts ;
- ainsi qu'un appareil nourricier correspondant à un squelette biominéralisé, homologue par sa composition (émail et dentine, totalement ou en majorité, en hydroxyapatite) ; et sa croissance homologue à celle des tissus dentaires de tous les vertébrés (Donoghue, 1998).

Ainsi les conodontes seraient « *les plus évolués des vertébrés actuels dépourvus de mâchoires ; cependant moins évolués que ceux disposant de mâchoires* » (Sweet et Donoghue (2001).

Mais il reste qu'actuellement l'appartenance aux vertébrés fait encore débat (cf. Blicek, 2012 et Turner *et al.*, 2010).

3. Affinités avec les groupes fossiles

L'abondance des éléments coniformes du Cambrien final et du Paléozoïque inférieur a permis leur étude histologique au titre d'éléments de conodontes. Ces études ont permis de distinguer trois catégories (figure 6) : protoconodontes (1), paraconodontes (2) et conodontes vrais (3) (= euconodontes), selon Donoghue *et al.* (2000).

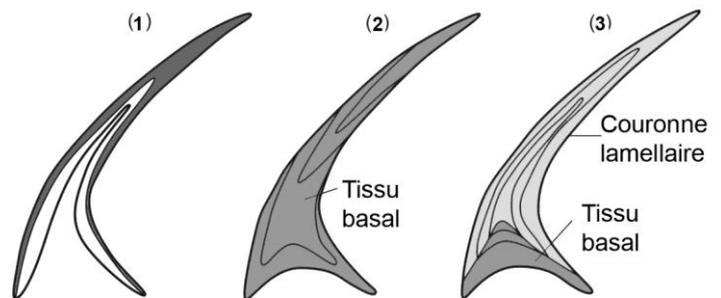


Figure 6. Coupes schématisées des différents types d'éléments coniformes.

Les zones de divers grisés montrent les relations entre les trois éléments. Les tissus des protoconodontes (1) sont sans correspondant chez les para (2) et/ou les euconodontes (3). Le grisé léger de (3) représente la couronne des euconodontes. Le grisé foncé de (3) représente son tissu basal et son homologue putatif chez les paraconodontes (2). D'après Bengtson (1976) in Sweet et Donoghue (2001), modifié.

Sans entrer dans le détail du débat qui s'est ouvert à leur sujet (rapports des deux premiers avec les cono-

dontes vrais), on mentionnera la conclusion un rien provocante en 2001 de Sweet et Donoghue :

- les deux clades les plus semblables d'éléments coniformes ont un ancêtre commun qui est un conodonte vrai, plutôt qu'un paraconodonte ou qu'un protoconodonte ;
- les éléments d'euconodontes et paraconodontes sont plus proches entre eux que les éléments de protoconodontes ne le sont de chacun d'eux ;
- paraconodontes et euconodontes ont plus de rapports avec les vertébrés primitifs qu'avec les chaetognathes.

Ainsi en résultent deux conséquences : les conodontes (eu et para) sont paraphylétiques (similitude héritée d'un ancêtre commun) et, en termes de cladistique (analyse sur base d'état de caractères dérivés partagés ou synapomorphies), « nous aussi sommes des conodontes au titre de vertébrés ».

Au terme de ces rappels d'un état des lieux résumé de la connaissance des conodontes, on abordera dans la suite :

- une illustration des éléments de conodontes représentatifs de la chronologie de l'Ordovicien au Trias (figure 8) ;
- des informations pratiques pour ceux de nos membres qui voudraient exercer leurs talents de terrain à la recherche, puis à la préparation et à l'examen détaillé de ces microfossiles.

4. Conodontes représentatifs de la chronologie de l'Ordovicien au Trias

4.1. Morphologie des conodontes

Trois grands types de morphologies relativement simples ont été distingués chez les conodontes (figures 7A, 7B et 7C).

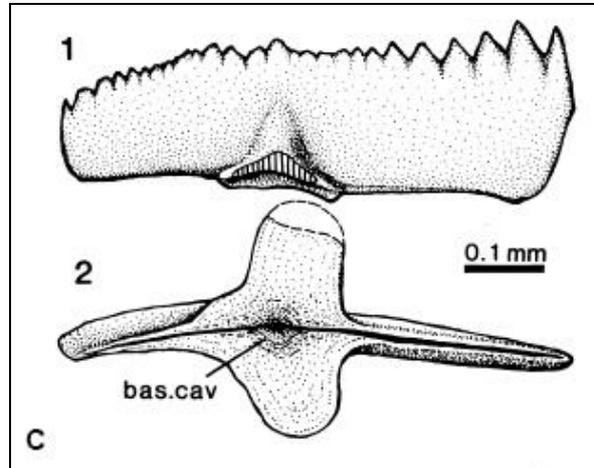
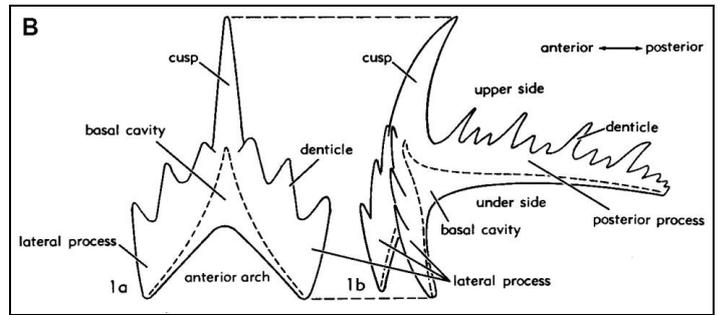
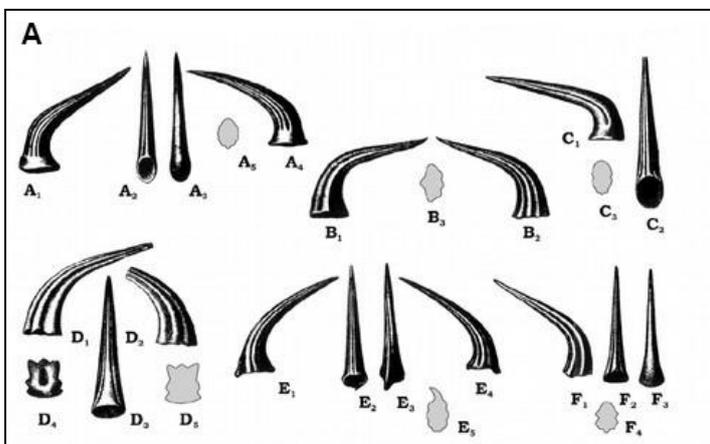


Figure 7. Morphologie des conodontes (exemples simples).

A. Éléments coniformes (= cônes simples).

Espèces de *Scolopodus* décrites par Pander (1856).

B. Éléments ramiformes (= formes en rameau/branche).

C. Éléments pectiniformes (= formes en peigne).

Pandorinella steinhornensis steinhornensis.

B et C extraits de Cygan, 2016.

4.2. Répartition stratigraphique

Les échantillons de conodontes de l'Ordovicien au début du Trias dont les photographies suivent (tableau 2 et figures 9 à 14) ont été réalisées par notre collègue Patrick Dherbecourt (noir et blanc), par Bernard Allard (couleur) et par des emprunts de photos (noms suivis d'un astérisque*), principalement à la thèse du professeur Casimir Cygan, spécialiste des conodontes, ou à sa conférence du 13 février 2016, reprise sur le site de l'ASNAT (Les Amis des Sciences de la Nature) (Cygan, 1995 ; Cygan, 2016).

Les échantillons d'origine américaine ont été acquis auprès d'un fournisseur de matériel paléontologique (site : <http://www.rhyniechert.com/ddfossils.html>). Ce site offre des échantillons isolés ou des lots de microfossiles à étudier, variés en origine, en âge (Paléozoïque à Holocène) et en nature (brachiopodes, chitinozoaires, requins, poissons, ou autres vertébrés et invertébrés).

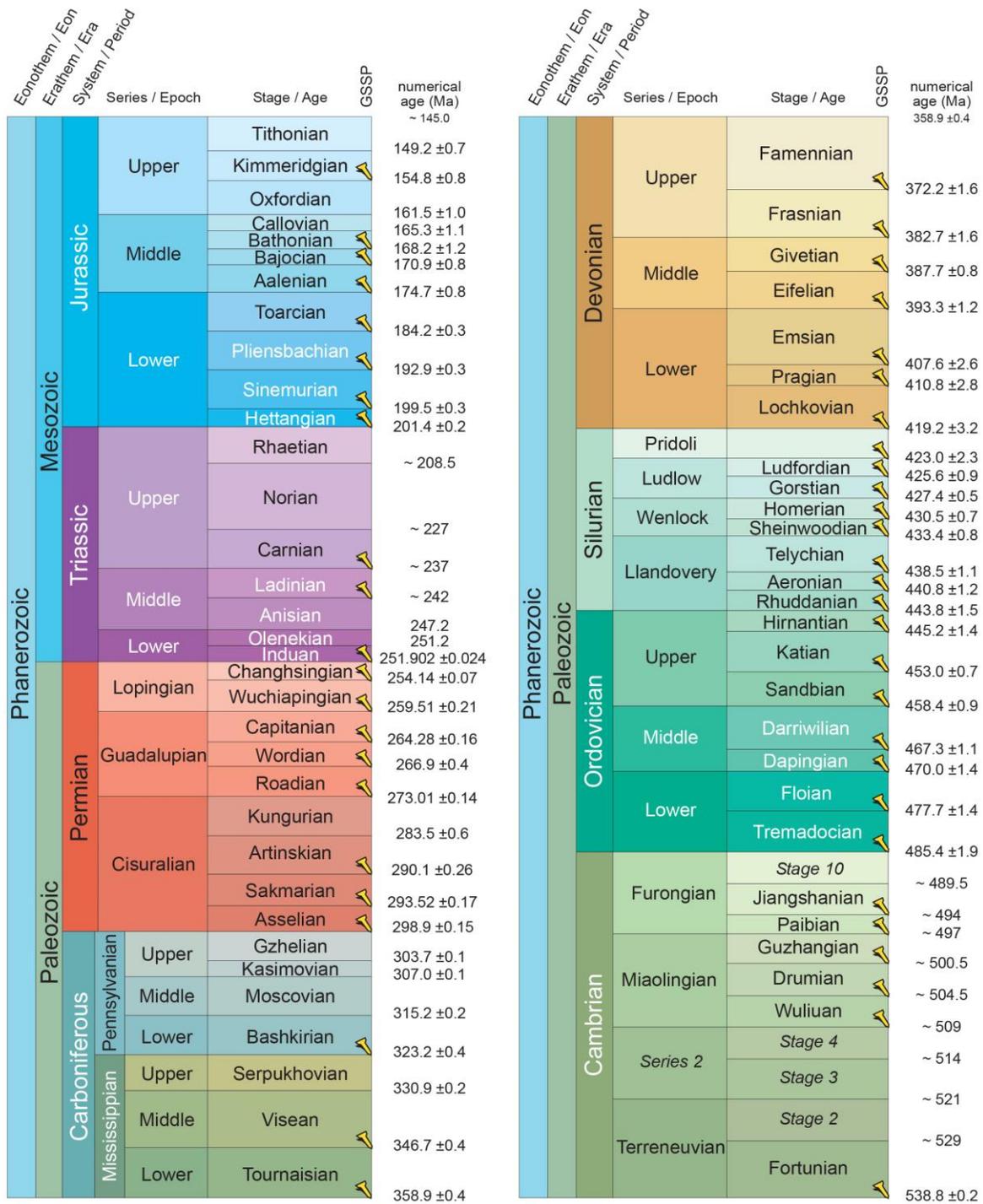


Figure 8. Extrait de la charte chronostratigraphique internationale, 2023.

Source : <https://stratigraphy.org/chart>.

Tableau 2. Répartition stratigraphique de quelques conodontes.

Chronologie	sans précision	inférieur	moyen	supérieur
Ordovicien	<i>Chirognathus</i> <i>Stereoconus</i> <i>Ptiloconus</i> <i>Panderodus gracilis</i> *	-	-	-

Silurien	<i>Icriodus woschmdti hesperius*</i> , <i>Aulacognathus kuheni*</i>	–	–	–
Dévonien	–	<i>Polygnathus linguiformis bultyncki*</i>	<i>Neoprienodus</i> , <i>Prioniodina</i> , <i>Bryantodus</i>	<i>Drepanodus</i> <i>Icriodus</i> <i>Ligonodina</i> <i>Lonchodina</i> <i>Ozarkodina</i> <i>Polygnathus</i> <i>Scolopodus</i> <i>Ancyrodella</i> <i>Palmatolepis</i> <i>Palmatolepis glabra</i>
Mississippien	« <i>Lochreia assemblage</i> » (appareil alimentaire buccal complet)	<i>Elictognathus</i> <i>Gnathodus</i> <i>Siphonodella</i> <i>Spathognathodus</i> <i>Hindeodella</i>	–	–
Pennsylvanien	<i>Cavusgnathus</i> <i>Polygnathodella</i>	–	–	–
Permien	Un exemple de conodontes	<i>Streptognathodus</i>	–	–
Trias	<i>Scythogondolella milleri*</i>	<i>Icruispathodus</i> , <i>Neogondolella</i> <i>Neospathodus</i>	–	–

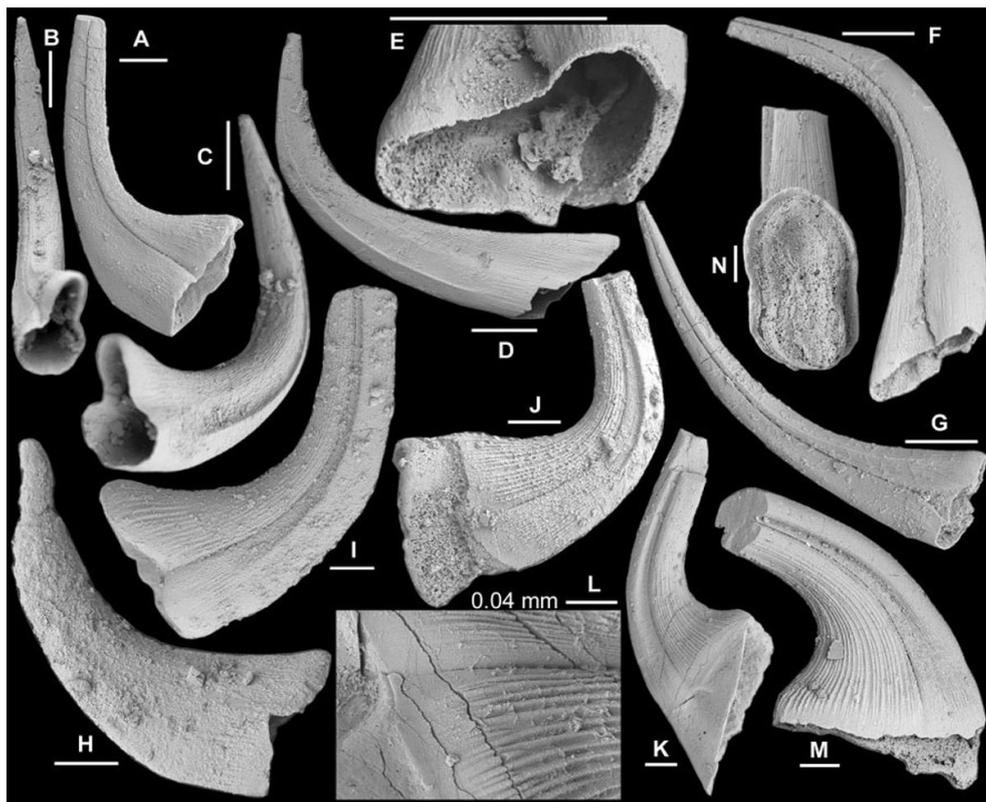


Figure 9. Conodontes de l'Ordovicien *Panderodus gracilis**, Vallée du Segre, Pyrénées espagnoles.
Source Cygan, 2016.



Figure 10. Conodontes de l'Ordovicien (suite). **A.** *Stereoconus*, **B.** *Chirognathus*, **C.** *Ptiloconus*.
Tous les échantillons proviennent du Harding sandstone, Canon City, Colorado.

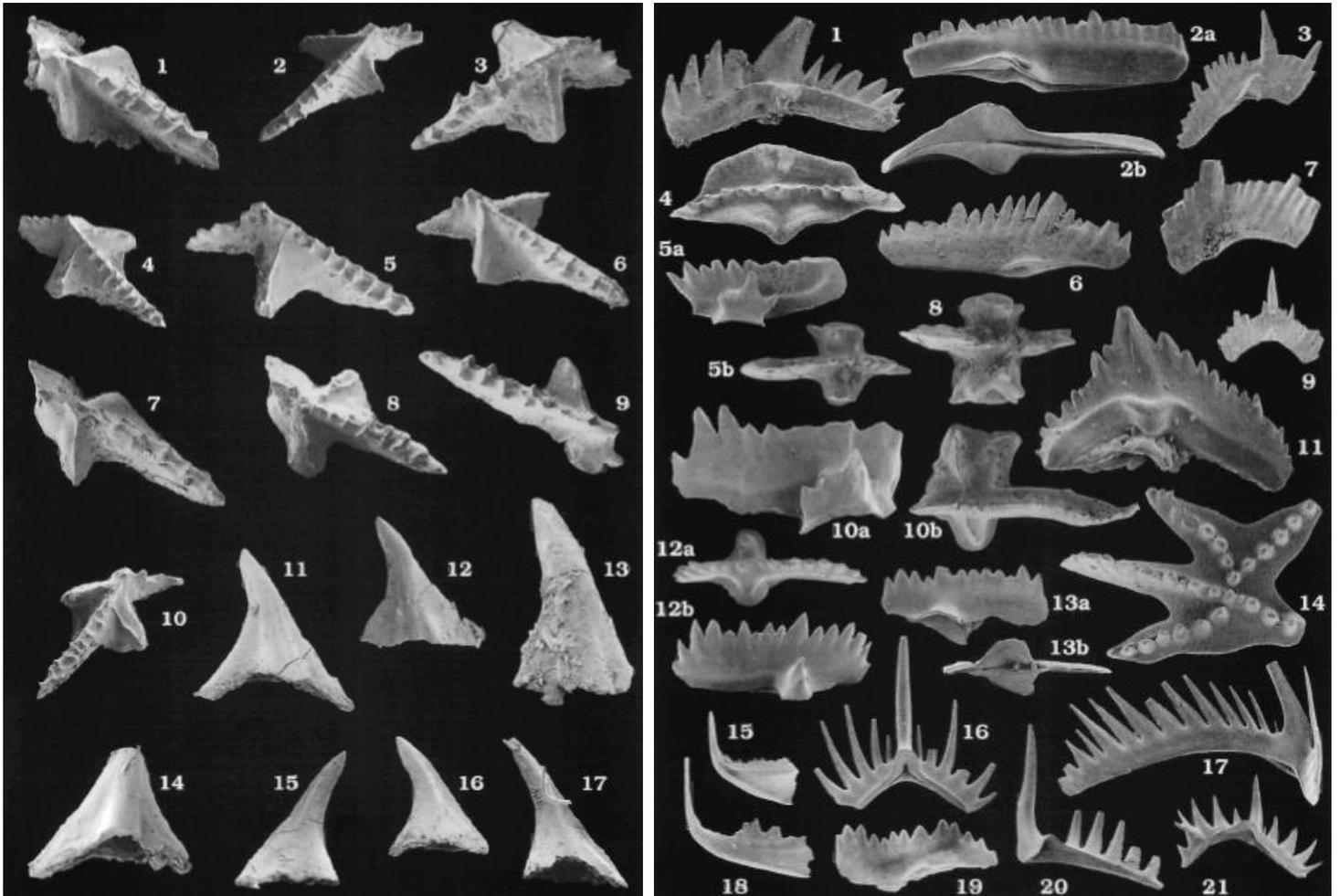


Figure 11. Conodontes du Silurien.

A. *Icriodus woschmidti hesperius** Klapper et Murphy.

Source : Simpson (1998), *Palaeontologia Polonica*, 58, p. 153-169.

B. Diverses espèces siluriennes*, Goldap Core, Pologne.

Source : Männik et Malkowski (1998), *Palaeontologia Polonica*, 58, p. 141-151.



Figure 12. Conodontes du Dévonien et du Carbonifère.

- A.** Dévonien inférieur *Polygnathus linguiformis bultyncki**, *La Guardia d'Àres Pyrénées espagnoles*, (échelle = 200 µm). **B.** Dévonien moyen, *Neoprienodus*, *Beech Wood Limestone, Speed, Indiana*. **C.** Dévonien moyen, *Prioniodina*, *Beech Wood Limestone, Speed, Indiana*. **D.** Dévonien moyen, *Bryantodus*, *Speed, Indiana*. **E.** Dévonien supérieur, *Icriodus*, *Hyoy Formation, Blanco Co, Texas*. **F.** Dévonien supérieur, *Lonchodina*, *New Albany shale, Speed, Indiana*. **G.** Dévonien supérieur, *Drepanodus*, *Hyoy Formation, Blanco Co, Texas*. **H.** Dévonien supérieur, *Ligonodina*, *New Albany shale, Speed, Indiana*. **I.** Dévonien supérieur, *Ozarkodina*, *New Albany shale, Speed, Indiana*. **J.** Dévonien supérieur, *Scolopodus*, *Huoy Formation, Blanco Co, Texas*. **K.** Dévonien supérieur, *Polygnathus*, *Hyoy Formation, Blanco Co, Texas*. **L.** Dévonien supérieur, *Palmatolepis glabra*, *Chappel Limestone, Blanco Co, Texas*. **M.** Dévonien supérieur, *Palmatolepis*, *Blanco Co, Texas*. **N.** Dévonien supérieur, *Ancyrodella*, *Speed, Indiana*. **O.** Mississippien inférieur, *Gnathodus*, *Chappel Limestone, Blanco Co, Texas*. **P.** Mississippien inférieur, *Siphonodella*, *Chappel Limestone, Blanco Co, Texas*.



Figure 13. Conodontes du Carbonifère et du Permien.

- A. Mississippien, « *Lochreia assemblage* », Chappel Limestone, Blanco Co, Texas.
- B. Reconstitution de *Lochreia*. Blanco Co, Texas. Courtesy : Kieran Davis.
- C. Mississippien inférieur, *Gnathodus*, Chappel Limestone, Blanco Co, Texas.
- D. Mississippien inférieur *Elictognathus*, Chappel Limestone, Blanco Co, Texas.
- E. Mississippien inférieur *Hindeodella*, Blanco Co, Texas.
- F. Pennsylvanien, *Cavusgnathus*, Autry shale, Johnson Co, Oklahoma.
- G. Pennsylvanien, *Polygnathodella*, Autry shale, Johnson Co, Oklahoma.
- H. Permien inférieur, *Streptognathodus*, Genola shale, Wabannsee Co, Kansas.
- I. Exemple de conodonte permien*. Source : Cygan, 2016.

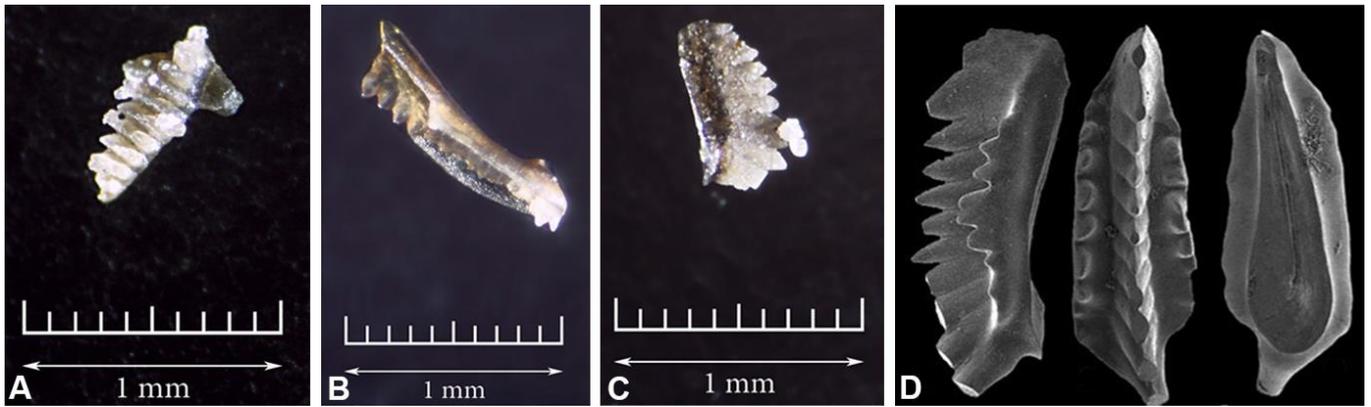


Figure 14. Conodontes du Trias.

A. Trias inférieur, *Icruispathodus*, *Taynes Limestone*, Bear Lake, Idaho.

B. Trias inférieur *Neogondolella*, *Taynes Limestone*, Bear Lake, Idaho.

C. Trias inférieur *Neospathodus*, *Taynes Limestone*, Bear Lake, Idaho.

D. Trias, *Scythogondolella milleri**, *Svalbard archipel*, *W-Spitsberg*, Norvège. Nakrem et al, 2008.

5. Collecte, préparation et étude des conodontes et de leurs pièces buccales

5.1. Où trouver les conodontes en France ?

Les conodontes sont présents, de façon peu abondante, dans les schistes (Massif armoricain) où ils sont parfois visibles en surface. Ils sont également présents dans les roches carbonatées (Nord, Ardennes ou Pyrénées). Il existe, par exemple dans les Pyrénées orientales, des sites où une part essentielle du cycle varisque, à terrains porteurs de conodontes, est visible (figure 15). Dans le Dévonien des Pyrénées et de la Montagne noire, les calcaires les plus favorables sont les calcaires griottes (figure 15, en bas).

De nombreux petits massifs paléozoïques non explorés sont susceptibles aussi d'en contenir.

En France, dans les feuilles de la carte géologique du BRGM à 1/50 000, peu de terrains sont explicités quant à leur contenu en conodontes. Tous les terrains, peu ou pas métamorphisés, mentionnés (de l'Ordovicien au Trias), sont susceptibles d'en contenir. En l'état actuel, dans les indices français, les assemblages complets en place sont extrêmement rares (voire inexistants ?).

Les éléments isolés sont noirs à translucides, parfois abîmés par le métamorphisme. Ils contrastent avec les éléments ambrés tels celui présenté en couverture du présent bulletin, daté du Mississippien, dans le Chapel Limestone, Blanco Co, Texas, USA.

5.2. Extraction dans les sédiments carbonatés

En 2020, Mme C. Randon ⁽¹⁾, maître de conférences à Sorbonne Université, a bien voulu nous recevoir dans son laboratoire et nous expliquer la méthodologie pour l'extraction et l'observation des conodontes.

Prenons pour exemple un calcaire à conodontes. Les échantillons de roches peuvent être de taille pluridécimétrique ou, le plus souvent, de la taille d'une main. Il est nécessaire de les réduire avant de procéder à l'extraction (figure 16A).

L'extraction

L'extraction de ces pièces buccales en phosphate de calcium (hydroxyapatite) se fait par une solution d'acide acétique à 10 % ou d'acide formique à la même dilution.

Les échantillons de roches sont placés dans des seaux ordinaires ou à bec verseur (figure 16B). Selon les résultats, après 24 h environ, l'extraction peut être poursuivie sur deux ou trois jours ou abandonnée.

La récupération des reliquats de la roche non attaqués se fait par tamisage dans la colonne à tamis de diamètre 20 cm (figure 16C) et de maillage allant de 2 mm (pour le premier) à 250 µm (pour des pièces buccales dont la taille est souvent de l'ordre de 500 µm) (figure 16D). On procède à la récupération des fractions de séchage qui se fait dans des coupelles de porcelaine (figure 16E), placées pour cela dans une étuve à 80 °C (figure 16F).

Le tri

Le contenu sec est ensuite disposé dans un plateau de tri (figure 16G). Le tri s'effectue avec un pinceau très fin, dont le contour circulaire est arasé de façon à ne laisser qu'un petit groupe de poils centraux (figure 16H). Ceci limite la capture des éléments de conodontes entre les poils d'un pinceau trop fourni en poils.

Pour éliminer les inconvénients précédents, le tri peut se faire à un poil unique, par exemple avec un cheveu semi-rigide de type « asiatique », lissé avec un lipide (film lipidique de sébum du cheveu et du cuir chevelu).

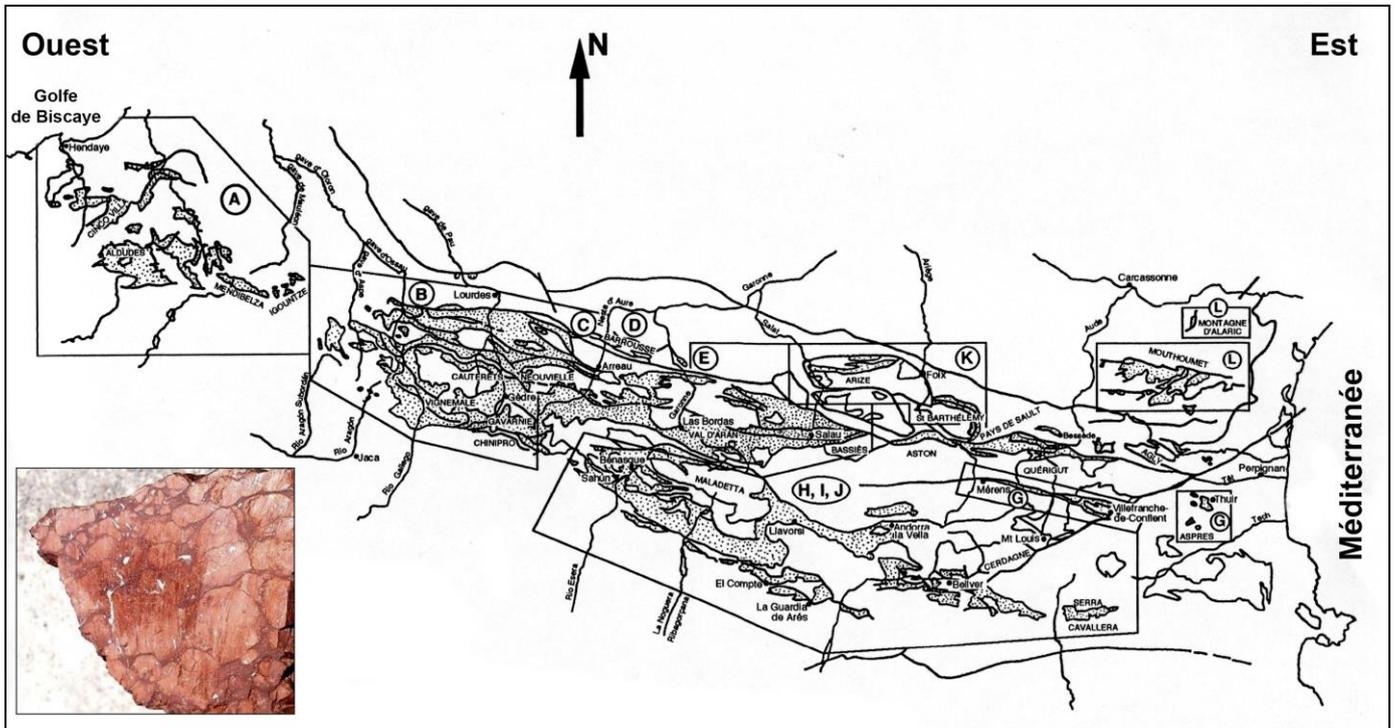


Figure 15. Localisation des secteurs d'âge dévonien (en grisé) où les conodontes ont été étudiés dans les Pyrénées (Cygan, 1995).

A. Massifs basques. **B.** Haute chaîne primaire (HCP) à l'ouest de Pau. **C.** HCP entre le gave de Pau et la Neste d'Aure. **D.** HCP de la Neste d'Aure à la Garonne. **E.** HCP ariégeoise (Maubermé et Haut Salat). **F.** HCP à l'est du méridien de Foix. **G.** HCP dans les Pyrénées orientales. **H, I, J.** HCP à l'est de la Garonne.

K. Massifs nord-pyrénéens. **L.** Massif de Monthoumet, montagne d'Alaric.

En bas, à gauche, un marbre griotte, carrières à proximité de Joncet (Pyrénées-Orientales).



Figure 16 (début). Principales étapes de l'extraction des conodontes à partir d'un calcaire.

A. Concassage de l'échantillon. **B.** Attaque à l'acide. **C.** Colonne de tamis. **D.** Tamis à tailles de mailles différentes. **E.** Récupération des contenus des tamis dans les coupelles en porcelaine. **F.** Séchage à l'étuve.

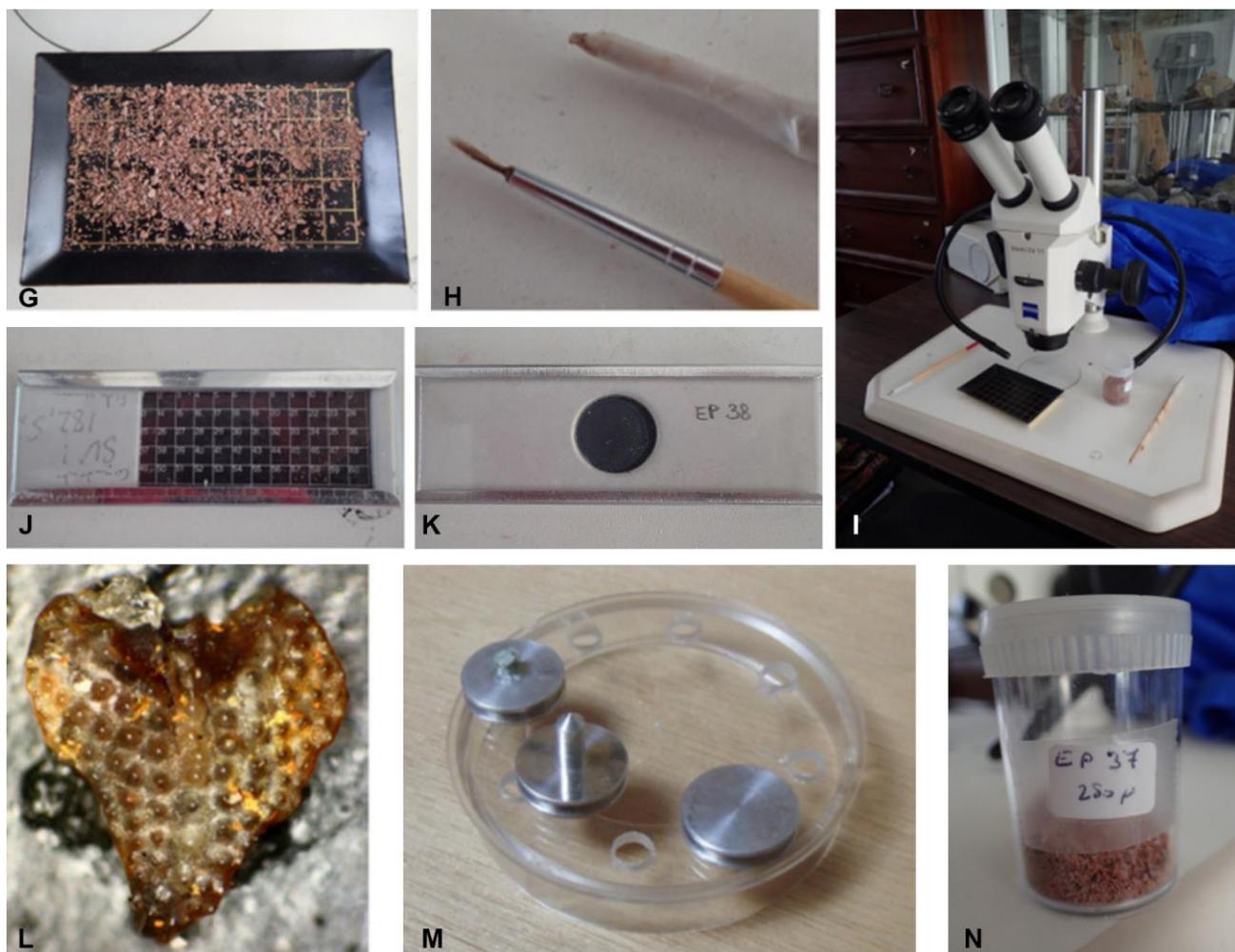


Figure 16 (suite). Principales étapes de l'extraction des conodontes à partir d'un calcaire. G. Plateau de tri. H. Pinceaux de tri. I. Loupe binoculaire. J. Plateau de pré-classement. K. Cellule pour microfossiles. L. Plateforme basale d'un conodonte. M. Plots pour l'observation au MEB. N. Réserve d'échantillons. Photos F. Sennegas.

Cette étape se fait, selon la taille des pièces à trier, sous binoculaire (figure 16I). Une fois prélevé au plateau de tri, le microfossile est placé soit dans un équipement de pré-classement (figure 16J), soit dans l'enceinte transparente d'une lamelle cartonnée (figure 16K). Le prélèvement retient surtout des pièces à plateforme (ou embase, figure 16L) servant de support aux denticules, essentielle pour les déterminations.

Pour l'observation au microscope électronique à balayage (MEB), le microfossile peut également être fixé sur un plot (figure 16M), pour l'étude détaillée de l'ornementation, aux fins de détermination. Des réserves d'échantillons sont conservées en récipients clos (figure 16N). Le stockage se fait en tiroirs/meubles comme pour la plupart des collections.

5.3. Étude et intérêts des conodontes

Les premières publications françaises relatives à des conodontes datent de 1957 (Lys et Serre, 1957). Ces

auteurs les ont découverts et étudiés dans des séries du Dévonien supérieur de la Montagne noire.

Par la suite, de nombreux gisements sont découverts et étudiés dans des formations essentiellement dévoniennes et carbonifères. La liste qui suit est reprise d'après Cygan (2016).

- Massif paléozoïque du Boulonnais (Dévonien supérieur - Carbonifère inférieur) (Lys et Serre, 1960 ; Bourdon *et al.*, 1967 ; Bultynck, 1976).
- Artois (Silurien-Dévonien inférieur) (Bultynck, 1976).
- Avesnois (Bouckaert *et al.*, 1978).
- Ardennes (Dévonien-Carbonifère) : nombreuses études du côté belge, tandis qu'en France quelques travaux sont effectués par Serre et Lys (1960) ; Conil, Lys et Mauvier (1964).
- Lorraine (Muschelkalk) (Haguenauer, 1963 ; Buf-fard, 1968 ; Habbasch, 1975).
- Vosges (Frasnien) (Figge, 1968).

- Morvan (Dévonien supérieur) (Guffroy, 1959 ; Lys *et al.*, 1961).
- Massif armoricain
 - Anjou (Silurien-Dévonien inférieur) (Erben *et al.*, 1959 ; Serre et Lys, 1959 ; Lys et Mauvier, 1967 ; Lefèvre, 1967).
 - Presqu'île de Crozon. Zone à *Ozarkodina eostein-hornensis* (Bultynck et Pelhate, 1973) ;
 - Llanvirn et Llandeilo (Lindström *et al.*, 1974 ; Weyant *et al.*, 2010).
 - Rosan (Ordovicien moyen et supérieur) (Lindström et Pelhate, 1971).
 - Laval (Carbonifère inférieur) (Pelhate, 1962), Pelhate-Perron, 1967).
 - Saint-Cénéry (Gédinnien - Siégénien) (Weyant, 1976).
 - Porsguen (rade de Brest) (Frasnien-Famennien inférieur) (Babin *et al.*, 1977).
- Vendée, Brétignolles-sur-Mer *in* Weyant, 1985, (Comble, De Wever, Ters et Weyant, 1985)
- Génis en Dordogne (Silurien supérieur-Dévonien inférieur) (Guillot et Lefèvre, 1975).
- Provence (Muschelkalk) (Hirsch, 1977).
- Pyrénées (Carbonifère) (Perret et Weyant, 1994 ; Cygan, 1979, 1995).

Quelle est l'utilité de ces fossiles ?

On peut en présenter au moins trois, essentielles.

• 1. Leur usage généralisé en stratigraphie

Dans l'échelle stratigraphique internationale (cf. figure 8) [1], la zonation de l'Ordovicien au Trias est maintenant basée essentiellement sur les conodontes. Deux exemples sont donnés dans la figure 17.

• 2. Les conodontes sont également des fossiles de faciès, à savoir de biofaciès

Le biofaciès est l'ensemble des faunes à l'intérieur d'un lithofaciès spécifique d'une unité de dépôt. L'étude des associations de conodontes dans une roche donnée et l'étude des caractères sédimentologiques de cette roche fournissent des indications sur leur mode de vie et sur leur milieu de dépôt. Différents biofaciès à conodontes peuvent alors être définis pour des intervalles géologiques donnés, avec des applications locales. C'est ce que Casimir Cygan a appliqué dans sa thèse sur le Dévonien des Pyrénées. Un exemple de biofaciès est illustré dans la figure 18 (Cygan, 1995).

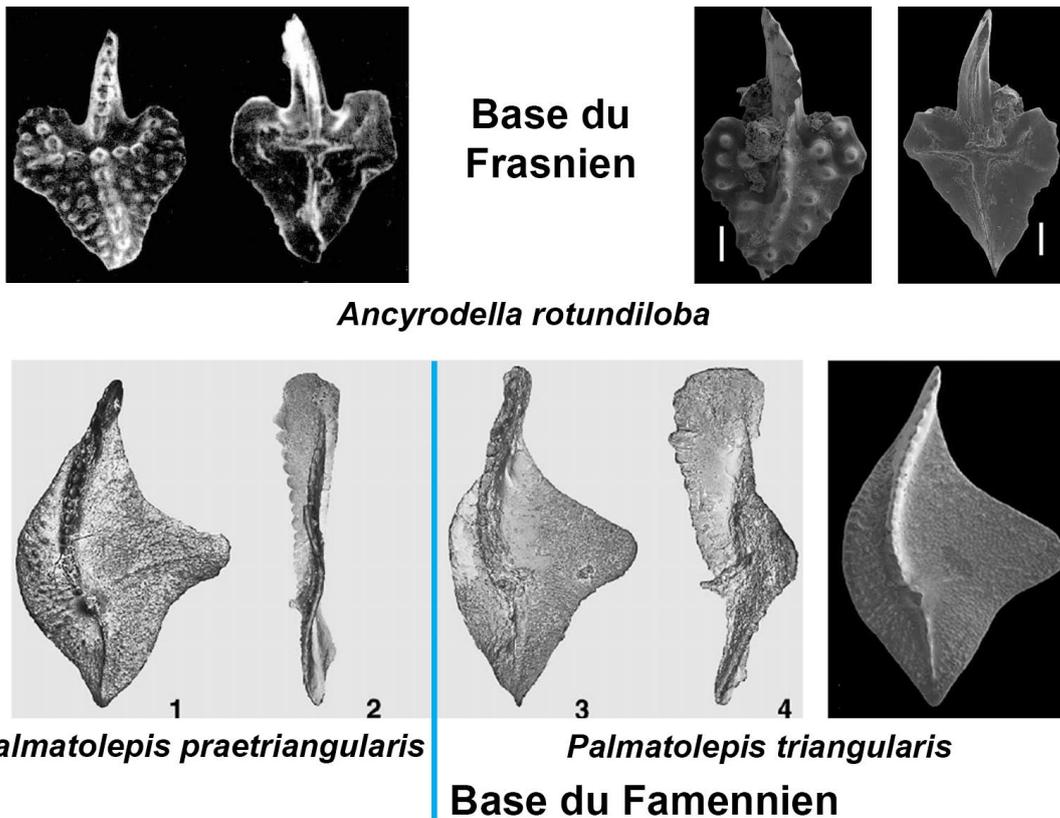


Figure 17. La base du Frasnien est marquée par l'apparition du conodonte *Ancyrodella rotundiloba*. La base du Famennien, quant à elle, est marquée par l'apparition de l'espèce *Palmatolepis triangularis*. Ces deux stratotypes de limite sont situés en Montagne noire (France). Source : Cygan, 2016.

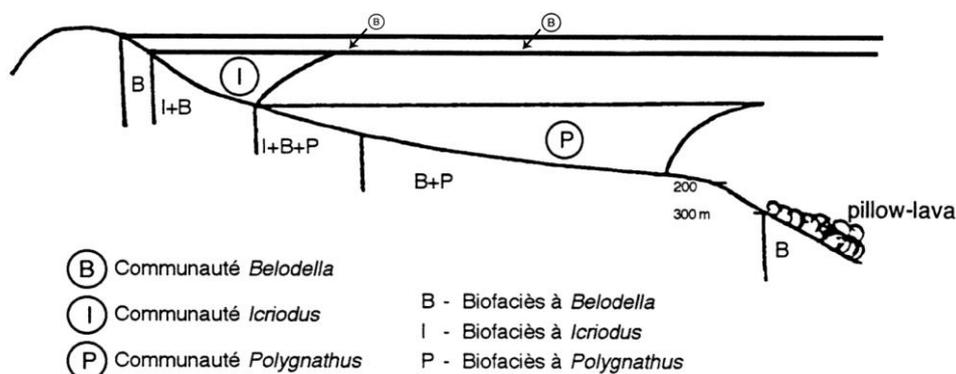


Figure 18. Biofaciès profond à *Belodella*. Source : Cygan, 1995.

• 3. Il existe encore une fonctionnalité surprenante, c'est celle de **géothermomètre**, à savoir l'indication d'une température subie par la modification colorimétrique du conodonte, dont certains auteurs ont tiré de véritables index colorimétriques (CAI ou *color alteration index*) (figure 19).

En effet, soumis à une augmentation de température et de pression, les conodontes changent de couleur. Ces modifications constituent un excellent outil pour estimer le maximum de température atteint par une roche sédimentaire et donc la profondeur à laquelle la roche a été portée.

Remerciements

En 2020, malgré un trimestre très perturbé en raison de la pandémie, Madame Carine Randon ⁽¹⁾ a bien voulu nous recevoir à son laboratoire, à la veille de la fermeture de l'Université Pierre et Marie Curie. Elle nous a consacré tout le temps nécessaire à une visite commentée des équipements et méthodes d'études, en répondant à de nombreuses et diverses questions.

Nos remerciements vont également, pour les photos prises en laboratoire, à Monsieur Frank Senegas, ingénieur de recherche au CNRS, facilitant ainsi la mémorisation des étapes de l'extraction de conodontes à partir de roches carbonatées.

En raison de la fermeture des bibliothèques de l'Université P. et M. Curie, nous sommes également très redevables à Casimir Cygan ⁽²⁾ pour la documentation fournie à profusion, dont un exemplaire de sa thèse et ses travaux sur les conodontes pyrénéens.

(1) Maître de conférences, Sorbonne Université - UMR 7207 CR2P 4, place Jussieu - Tour 46-56, 5^e étage, Case 104, 75252 Paris cedex 05.
e-mail : carine.randon@upmc.fr

(2) Docteur d'État ès-sciences de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse, ancien professeur de sciences naturelles au lycée Lapérouse d'Albi.
e-mail : kzcygan@orange.fr

Bibliographie

- Blieck A., 2012. Des pseudo-dents : pourquoi les conodontes ne sont pas des vertébrés. *Fossiles*, n° 11, p. 52-57.
- Briggs D.E.G., Clarkson E.N.K. et Aldridge R.J., 1983. The conodont animal. *Lethaia*, 16, p. 1-14.
- Cygan C., 1979. Étude de conodontes dévoniens des Pyrénées et du massif de Monthoumet. Thèse 3^e cycle, Université de Toulouse, 340 pages.
- Cygan C., 1995. Les biofaciès à conodontes dans le Dévonien des Pyrénées : leur évolution dans l'espace et le temps. Thèse d'État, Université Toulouse III - Paul Sabatier, 639 pages.
- Cygan C., 2016. Les conodontes : énigmatiques mais si utiles. Conférence devant Les Amis des Sciences de la Nature (ASNAT), 13 février 2016.
<https://asnaf.fr/pdf/Conodontes-conference-casimir.cygan.pdf>.
- Donoghue, P.C.J., Forey, P.L. et Aldridge, R.J., 2000. Conodont affinity and chordate phylogeny. *Biological Reviews* 75, p. 191-251.
- Lys et Serre, 1957. Découverte de conodontes dans le Paléozoïque de la Montagne noire. *C.R. Acad. Sci.*, 244, 15, p. 2071-2073.
- Pander C. H., 1856. Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russischbaltischen, Gouvernements. *Kaiser. Akad. Wissen.*, St. Petersburg, X + 91 pages.
- Sweet, W. C. et Donoghue, P. C. J., 2001. Conodonts : past, present, future. In Special 75th Anniversary Issue, *J. Paleont.*, 75, p. 1174-1184.
- Turner S., Burrow C. J., Schultze H.-P., Blieck A., Reif W.-E., Rexroad C. B., Bultynck P. et Nowlan G. S., 2010. False teeth : conodont-vertebrate phylogenetic relationships revisited. *Geodiversitas*, 32 (4), p. 545-594.
<https://sciencepress.mnhn.fr/sites/default/files/articles/pdf/g2010n4a1.pdf>.
- Voir aussi**
[1] <https://stratigraphy.org/chart>.
[2] <https://stratigraphy.org/gssps/>.

Color Alteration Index	Experimentally produced color alteration	Color alteration in field collections	Temperature range °C	Fixed carbon range	Munsell soil colors
1			less than 50° to 80°	less than 60%	2.5Y7/4 to 8/4 and 10YR7/3 to 8/4
1 et 1/2			50° to 90°	55% to 70%	2.5Y7/4 to 8/4 and 10YR7/3 to 8/4
2			60° to 140°	55% to 70%	7.5YR4/2 to 3/2
3			110° to 200°	70% to 80%	10YR4/2 to 5YR2.5/2 to 10YR2.5/1
4			190° to 300°	80% to 95%	5YR2.5/2 to 10YR2.5/1
5			over 300°	over 95%	7YR2.5/0 to 2.5YR2.5/0

Color Alteration Index	Experimentally produced color alteration	Color alteration in field collections	Temperature range °C	Munsell soil colors
5			300° - 480°	black (N1)
6			360° - 550°	medium dark gray to medium gray (N4-N5)
6 et 1/2			440° - 610°	medium light gray to light gray (N6-N7)
7			490° - 720°	very light gray to white (N8-N9)
8			> 600°	colorless or cristal clear

Figure 19. Index d'altération des conodontes (1 à 8), établis à partir des changements de la couleur des conodontes lors d'expériences de chauffage et dans des échantillons de terrain.

Titres des colonnes, de gauche à droite : index de coloration d'altération ; coloration produite artificiellement ; couleur d'altération dans les échantillons de terrain ; intervalles de température correspondants ; carbone fixé en pourcentage ; teintes de sol Munsell.

En haut, d'après Epstein et al., 1977, modifié in Cygan, 2016. En bas, d'après Rejebian et al., 1987, modifié in Cygan, 2016.

MICROPALÉONTOLOGIE : LES CONODONTES



Panderodus unicostatus, le genre dédié à Heinz Christian Pander, l'inventeur des conodontes. Cette reconstitution a été effectuée à partir du Waukesha Lagerstätte, un gisement fossilifère datant du Silurien et préservant les parties molles des organismes. Il est situé dans le comté de Milwaukee, état du Wisconsin (USA).
Source : <https://en.wikipedia.org/wiki/Panderodus>.

Saga PARIS

Société Amicale des Géologues Amateurs
Muséum national d'Histoire naturelle
61 rue Buffon. 75005 Paris
Adresse postale : 43 rue Buffon. CP 48. 75005 Paris