

Exercice : utilisation paléoécologique des compositions isotopiques de l'oxygène dans les tissus phosphatés de Vertébrés

D'après J-P. Billon-Bruyat *et al.*, *Palaeogeog. Palaeoclim Palaeoecol.* 216, 2005

Contexte :

Les sites européens, tous datés du Jurassique, de Cerin (Kimmeridgien supérieur – Tithonien inférieur), Crayssac (Tithonien inférieur), Canjuers (Tithonien inférieur) ou Solnhofen (Tithonien inférieur) ont livré des fossiles exceptionnels. Les analyses sédimentologiques et géologiques de ces sites indiquent qu'ils correspondaient à des environnements côtiers protégés où se déposaient des calcaires très fins. L'analyse isotopique de restes de Vertébrés aquatiques retrouvés sur ces sites vise à mieux comprendre le mode de vie de ces espèces dans ce contexte général.

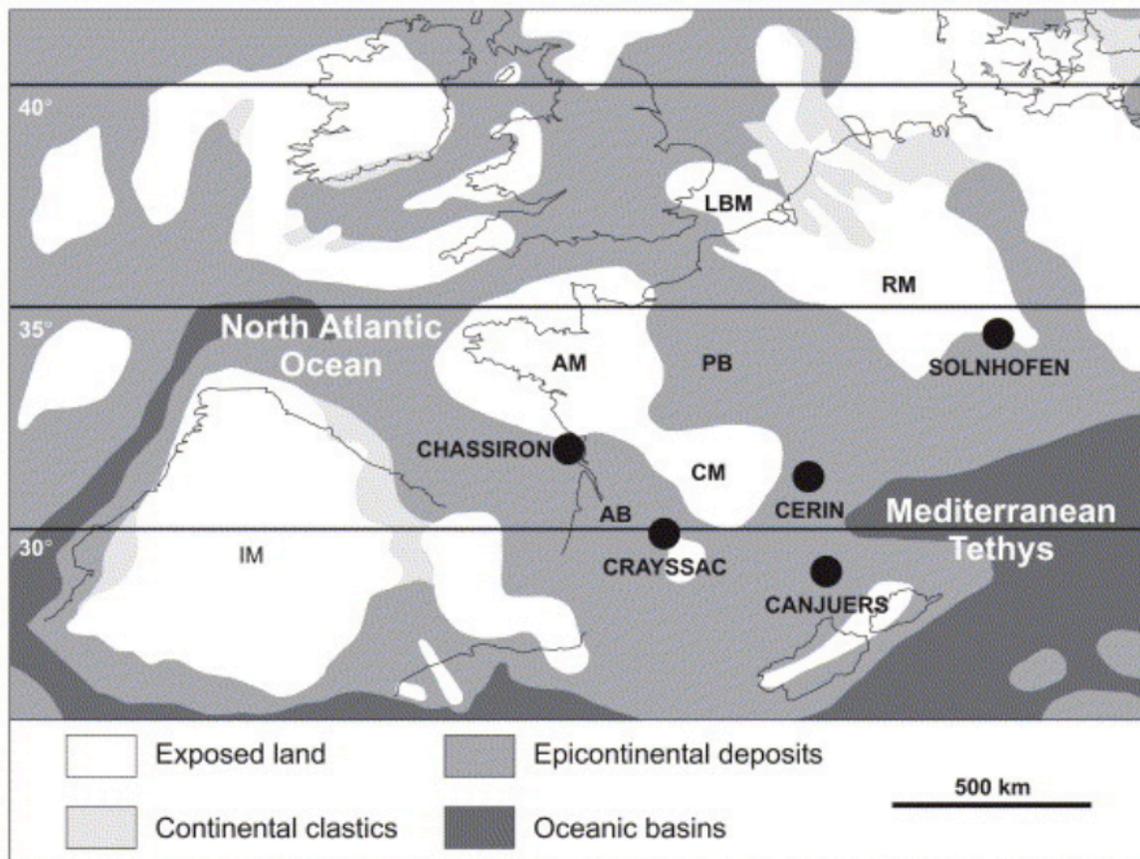


Figure 1 - Carte paléogéographique de l'Europe occidentale au Jurassique, environnements de dépôts et localisation des sites considérés ici.

L'objectif de l'étude est de comparer les données issues de différents vertébrés : poissons, crocodiles et tortues. Pour tous ces animaux aquatiques, on suppose que les valeurs isotopiques de l'oxygène des tissus phosphatés sont principalement contrôlées par la composition isotopique

de l'eau absorbée (à priori l'eau du milieu) et par la température. Tous ces animaux étant hétérothermes, leur température est supposée identique à celle du milieu.

Énoncé :

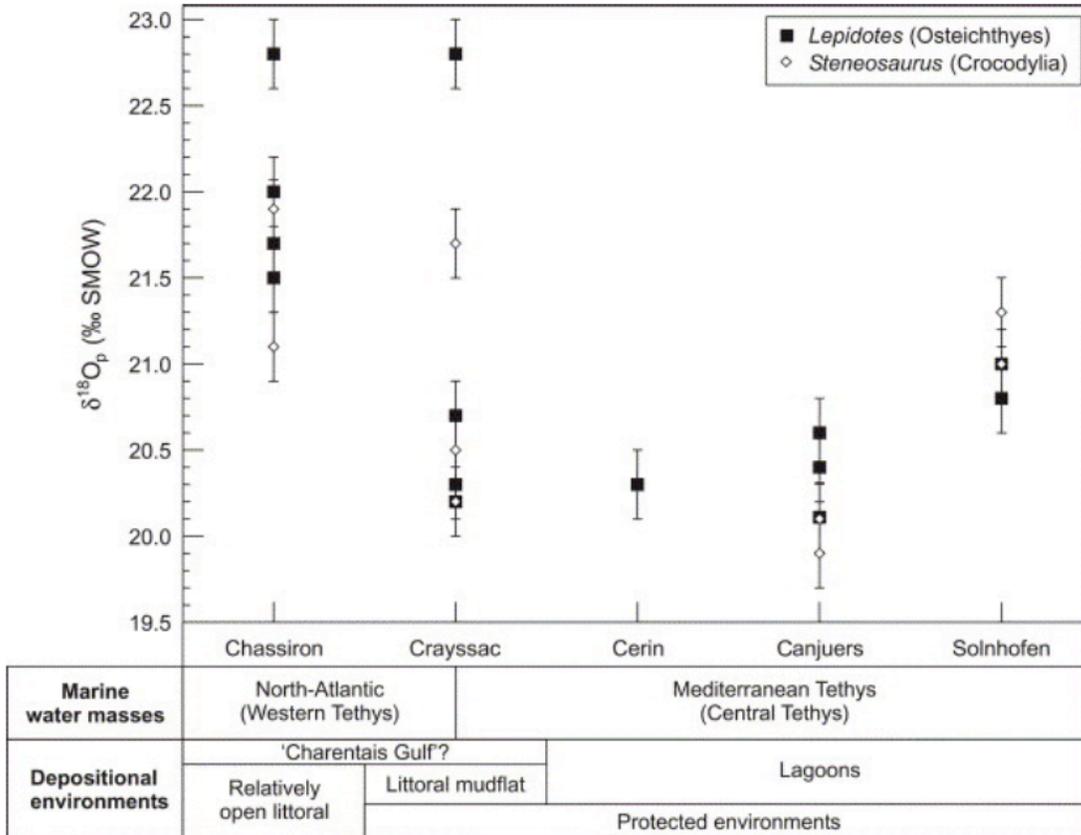


Figure 2 - valeurs isotopiques d'un poisson ostéichthyen (*Lepidotes*) et d'un crocodile (*Steneosaurus*) retrouvés sur les quatre sites d'étude. On précise les environnements des sites déduits des données sédimentologiques.

Question 1 : commenter les résultats de la figure 2. Quelles explications pourriez-vous proposer aux résultats du site de Crayssac ?

Deux groupes de valeurs apparaissent. Valeurs élevées (22-23 ‰) à Chassiron et Crayssac, plus basses (20-21 ‰) pour les trois autres sites. On peut interpréter ces résultats comme la trace de masses d'eau différentes (de températures différentes), Atlantique Nord d'une part, plus froide, Téthys, plus chaude, d'autre part. Dans ce cas, l'obtention des deux gammes de valeurs à Crayssac signifierait que la faune aquatique échantillonnée sur ce site est constituée d'un mélange d'espèces atlantiques et téthysiennes. Crayssac serait donc une zone influencée par les deux réservoirs d'eaux. La position paléogéographique de Crayssac (figure 1) est en accord avec cette interprétation.

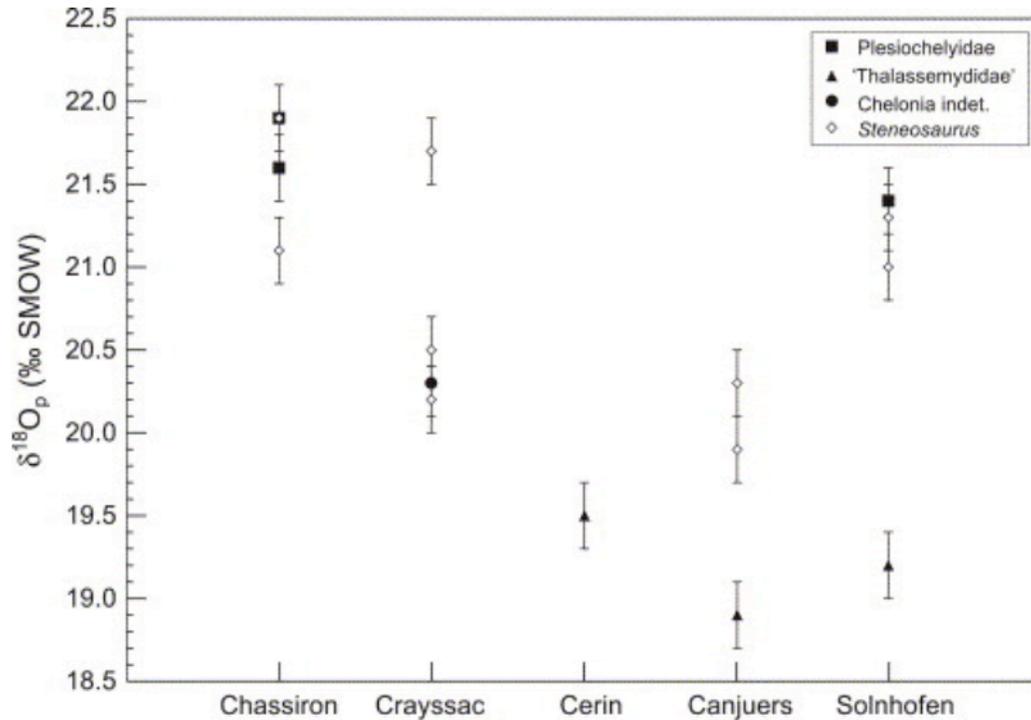


Figure 3 - Valeurs isotopiques des tortues (*Plesiochelyidae*, '*Thalassemydidae*' et tortue indéterminée) et des crocodiliens (*Steneosaurus*) retrouvées sur les quatre sites.

Question 2 : commenter les résultats de la figure 3.

La différence de valeurs isotopiques entre les sites d'échantillonnage, obtenues sur les animaux strictement aquatiques (figure 2), se retrouve dans les os des tortues. Par contre, les individus de Crayssac présentent des valeurs plus proches de celles de Chassiron et surtout plusieurs espèces de Tortues du site de Solnhofen présentent des valeurs anormalement élevées pour ce site. Si l'on suppose que le site de Solnhofen n'est pas influencé par les masses d'eau nord-atlantiques, il faut alors supposer :

- soit que les tortues échantillonnées sont des immigrants venant d'une région plus proche de l'Atlantique Nord ou ayant pour source de nourriture et donc pour source d'eau des animaux immigrants
- soit que les eaux fréquentées par ces animaux ne sont pas identiques à celles des espèces aquatiques mais sont enrichies en oxygène 18 par un apport d'eau de signature isotopique et/ou de température différente.

Une relation reliant le fractionnement isotopique entre phosphate et eau et la température, obtenue sur des poissons actuels, permet de remonter à une valeur de la température de l'eau à partir des valeurs du phosphate.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 113 - 113,3 \cdot \frac{\delta^{18}\text{O}_p - \delta^{18}\text{O}_e}{4,43838} \quad (\text{Luz et Kolodny, 1983})$$

Avec $\delta^{18}\text{O}_p$: valeur isotopique du phosphate et $\delta^{18}\text{O}_e$: valeur de l'eau

On sait que Jurassique supérieur ne présente aucun indice de calotte glaciaire. Or, ces calottes stockent de l'eau très appauvrie en oxygène 18 ($\delta^{18}\text{O}$ très négatif). Sachant que la valeur actuelle dans les océans est de de 0‰ (SMOW), les valeurs des $\delta^{18}\text{O}$ des océans étaient donc plus basses qu'actuellement. On considère qu'au Jurassique et au Crétacé, le $\delta^{18}\text{O}$ des océans était de -1‰.

Question 3 : en faisant l'hypothèse que cette valeur est valable pour les eaux superficielles de la Téthys comme de l'Atlantique Nord, calculez les valeurs de la température des eaux en utilisant les valeurs isotopiques du phosphate des poissons *Lepidotes* indiquées sur la figure 2.

Les températures obtenues pour les poissons Lepidotes à l'aide de l'équation ci-dessus, en prenant -1‰ pour valeur de $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$, vont de 9 à 17°C à Chassiron, de 9 à ~20°C à Crayssac et de 17 à 20,4°C pour les autres sites.

Une étude isotopique de tortues actuelles a permis de proposer pour ces animaux une relation simple entre composition isotopique du phosphate des os et eau du milieu (ou eau absorbée) : $^{18}\text{O}_e = 1,01 * \delta^{18}\text{O}_p - 22,3$ (Barrick *et al.*, 1999)

Question 4 : à l'aide de la figure 3 et de cette nouvelle équation (et en appliquant à nouveau le principe de l'actualisme), calculez les valeurs isotopiques de l'eau absorbée par les tortues jurassiques de Chassiron et de Canjuers et Solnhofen. Que pouvez vous dire ?

	Chassiron	Crayssac	Cerin	Canjuers	Solnhofen
$\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ (‰)	-0,28 à -0,69	-1,797	-2,6	-3,11	-2,9 et ~ -0,89

Les différences isotopiques de $\delta^{18}\text{O}_e$ ainsi quantifiées entre les sites excèdent les variations naturelles du $\delta^{18}\text{O}_e$ de l'océan à une latitude donnée, estimées par ailleurs pour cette période. Par ailleurs, les sites de Canjuers, Cerin et Solnhofen présentent quelques dépôts terrigènes, issus d'arrivée sporadiques d'eau douce.

Question 5 : quels processus, ou quelles conditions de milieu, pouvez-vous proposer pour expliquer les valeurs isotopiques de l'eau obtenues à partir des données isotopiques des tortues ?

Les sites de Canjuers, Cerin et Solnhofen, pourraient recevoir des eaux douces issues des continents et provenant par conséquent de précipitations continentales appauvries en ^{18}O par les processus d'évaporation et de condensation survenues au cours du trajet des nuages. La présence de dépôts terrigènes, donc issus d'apports sédimentaires continentaux, conforte cette hypothèse. Ces sites correspondraient donc à des milieux de lagune, avec des eaux issues d'un mélange d'eau océanique et d'eaux douces et par conséquent des salinités intermédiaires entre celle de ces deux pôles. Les valeurs isotopiques de l'oxygène deviennent alors des indicateurs de salinité de l'eau du milieu. Les valeurs assez élevées de Chassiron pourraient s'expliquer, quant à elles,

par des enrichissements de l'eau en ^{18}O par des processus d'évaporation qui enrichissent l'eau liquide restante en isotope lourd.

BRACHIOPODES

Cyril Langlois

Novembre 2006

1 Caractères généraux

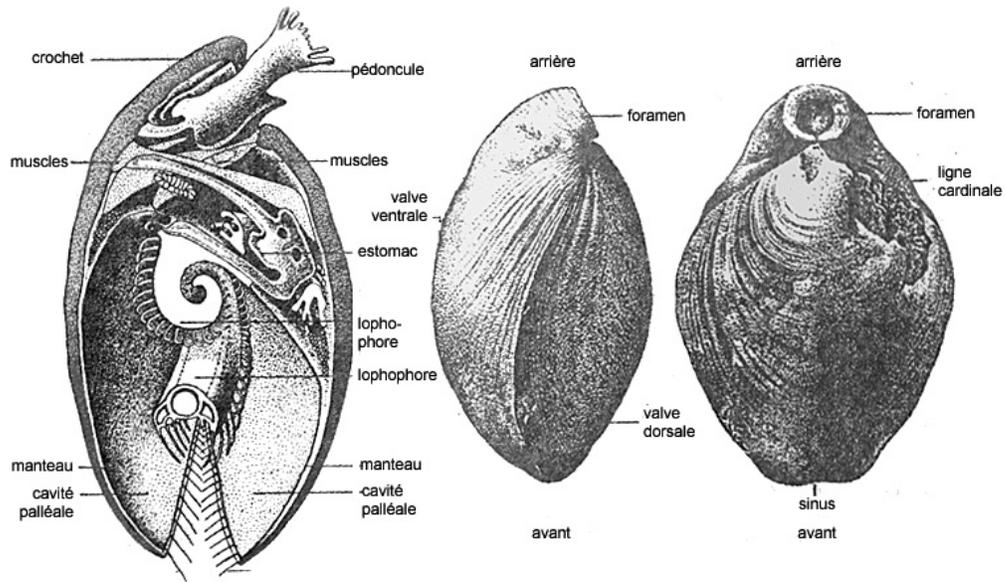
- **Organismes à coquille bivalve équilatérale**, (c'est-à-dire présentant un plan de symétrie bilatérale passant par le crochet) mais *inéquivolve* (la valve dorsale, ou brachiale, est plus petite que la valve ventrale, ou pédonculaire). La valve ventrale porte le crochet, lui-même percé, chez les Articulés, d'un *foramen*, par lequel sort, du vivant de l'animal, un pédoncule de fixation (figure 1).
- L'organisme porte un système de nutrition tentaculé, le *lophophore*.
- La coquille est constituée de calcite chez les Articulés, de phosphate de calcium ou de calcite chez les Inarticulés.
- Les Articulés doivent leur nom à la présence, au niveau de la charnière, de deux dents sur la valve ventrale, qui s'insèrent dans deux fossettes de la valve dorsale.
- Organismes benthiques sessiles (attachés au substrat), on les trouve jusqu'à des profondeurs importantes.

2 Classification

Les Brachiopodes sont aujourd'hui associés aux Bryozoaires, autres organismes à lophophore, au sein des Lophophoriens, et rapprochés des Annélides et Mollusques, à larve trochophore, dans l'ensemble des **Lophotrochozoaires**.

Ils sont traditionnellement divisés en deux ensembles, les **Inarticulés** et les **Articulés** (cf. ci-dessus), mais les classifications récentes présentent les Inarticulés comme un regroupement paraphylétique (figure 2).

On notera sur le cladogramme de la figure 2 l'importance, en nombre relatif des groupes fossiles (désignés par une croix) et leur apport à la résolution de la phylogénie du groupe.



Anatomie interne et nomenclature de la coquille des Brachiopodes

FIG. 1 – Anatomie générale d'un Brachiopode Articulé

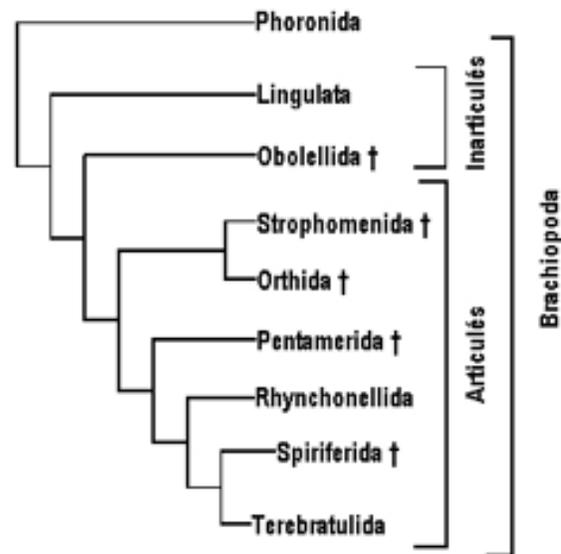


FIG. 2 – Cladogramme d'après l'UCMP et Popov *et al.*, 1993. Les Phoronidés, autres Lophophoriens, constituent le groupe-frère des Brachiopodes.

3 Répartition temporelle

Groupe toujours représenté aujourd’hui, mais beaucoup moins diversifié qu’au Paléozoïque. Comme le montre la figure 3, trois groupes de Brachiopodes sont exclusivement paléozoïques : les **Orthidés**, les **Pentaméridés** et les **Spiriféridés**.

Groupe très sévèrement affecté par la crise Permien-Trias, comme le montre la figure 3. Cette crise n’est pas aussi visible sur les taxons d’ordre supérieur au Genre.

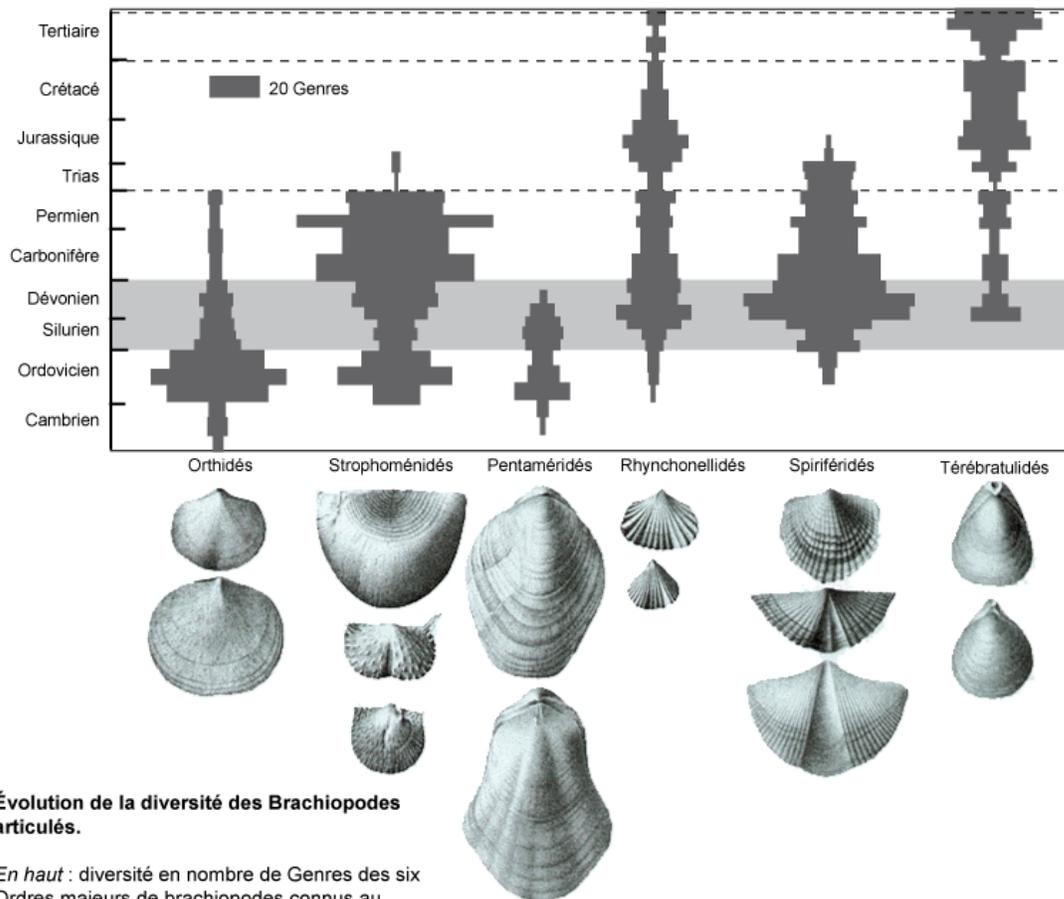


FIG. 3 – Diversité en nombre de genres des Ordres de Brachiopodes articulés au cours du Phanézoïque.

4 Caractéristiques des principaux groupes de Brachiopodes fossiles

Les principaux groupes à connaître sont :

- les **Spiriferidés**, facilement reconnaissables (coquille striée, forme fuselée et triangulaire, charnière rectiligne ; ils doivent leur nom à la forme en double spirale conique de leur appareil brachial, qui supporte le lophophore), et **typiques du Primaire** (apogée au Dévonien) ;
- les **Rhynchonellidés** (coquille striée, cordiforme, commissure des valves dentelée), les plus abondants au Secondaire ;
- les **Térébratulidés** (coquille oblongue, lisse, commissure sinueuse lisse, formant deux lobes en vue frontale), qui constituent actuellement le groupe prépondérant.



FIG. 4 – De gauche à droite : un spécimen de Spiriferidé, un Rhynchonellidé et une Térébratule actuelle. Image : [UCMP](#)

5 Intérêts scientifiques : exemples

- Fossiles stratigraphiques.
- Étude de la crise Permo-Triasique.
- Études paléoécologiques et évolutives : hétérochronies du développement en relation avec le milieu de vie, par exemple ; reconstitutions paléoenvironnementales, mesures géochimiques ($\delta^{18}\text{O}$ sur la calcite ou le phosphate des coquilles, p. ex.).

Références

- [1] *Museum of Paleontology, University of California, Berkeley*
<http://www.ucmp.berkeley.edu/exhibit/phylogeny.html>.

Annexe : Morphologie comparée des Brachiopodes et des Bivalves

TAB. 1 – Tableau comparatif des morphologies des Brachiopodes et des Bivalves

Caractères	Brachiopodes	Bivalves
Symétrie	Bilatérale passant par le crochet au milieu des valves (sauf exception, p.ex. <i>Uncites</i>)	Bilatérale passant entre les 2 valves (sauf exception, p.ex. <i>Pecten</i> , <i>Ostrea</i> ...)
Valves	Généralement inéquivalve : valve ventrale plus grande que la dorsale et percé au niveau de l'umbo.	Généralement inéquivalve sauf exceptions, valves droite et gauche. Aucune des 2 valves n'est percée.
Test	Ponctué, pseudoponctué ou im-ponctué selon les groupes.	Jamais ponctué.
Fixation	Toujours fixé par un pédoncule musculoux ou par une valve.	Quelques formes fixées, soit par une valve, soit par un byssus. Nombreuses formes libres ou fouisseuses.
Brachidium	Existence d'un appareil brachial chez les Articulés.	Aucun appareil squelettique interne.
Delthyrium*	Existence d'un delthyrium ou d'un deltidium.	Inexistant
Système musculaire	Présence de muscles pour la fermeture et l'ouverture des valves (diducteurs et adducteurs).	Présence de muscles pour la fermeture des valves (adducteurs), l'ouverture est passive (ligament).
Système respiratoire	Respiration par un lophophore cilié et des sinus palléaux.	Respiration par des lamelles branchiales (= branchies).
Mode de vie	Marin	Marin et d'eau douce

* **Delthyrium** : Échancrure située près du crochet sur la valve portant les dents (dorsale). Parfois fermée par 2 plaques calcaires, les *plaques deltidiales* qui enserre le foramen par où sort le pédoncule de fixation.

renversé, formé de phosphate de calcium. Leur forme quadrangulaire les fait rapprocher des Cnidaires, où les Scyphozoaires (méduses vraies) peuvent aussi présenter cette forme.

Anthozoaires : La figure 1 synthétise les relations des divers taxa, surtout fossiles, placé aujourd'hui dans la classe des Anthozoaires, qui est ici divisée en deux sous-ensembles (sous-classes).

- **Les Alcyonaria, ou Octocorallia (Octocoralliaires)**, caractérisés par une symétrie octoradiée constituent donc une Sous-classe, groupe-frère d'un deuxième clade, la Sous-classe des Zoanthaires.
- **Les Zoantharia (Zoanthaires)**, qui comprennent les principaux groupes fossiles et actuels, en particulier les Cnidaires à squelette calcaire, bioconstructeurs et édificateurs de récifs. Les tissus des Cnidaires Scléactiniaires, constructeurs de récifs, hébergent souvent des algues photosynthétiques (zooxanthelles) (figure 2).



FIG. 2 – Coupe d'un Cnidaire Scléactiniaire actuel à Zooxanthelles. La figure montre l'association complexe et massive des squelettes calcaires (en blanc) sécrétés par les tissus des polypes sus-jacents (en couleurs). La coupe du polype montre les tentacules, la bouche et l'entéron où sont digérés les proies. Le cartouche en haut à gauche montre un détail d'un tentacule et les zooxanthelles enchâssées en quantité dans les tissus endodermiques (corpuscules arrondis, en jaune). D'après [2]

3 Répartition temporelle

- **Conulata** : Cambrien-Trias
- **Alcyonaria (Octocoralliaires)** : faible registre fossile, car très peu ont un squelette calcaire. Des traces en ont été décrites dans les schistes de Burgess, du cambrien, et ailleurs dans les terrains phanérozoïques.
- **Rugosa (Rugueux)** : Ordovicien moyen à la crise de la limite Permien/Trias.
- **Tabulata (Tabulés)** : de l'Ordovicien au Permien, et peut-être depuis le Cambrien.
- **Scléractinia (Scléractiniaires)** : du Trias moyen (237 Ma) à l'actuel.

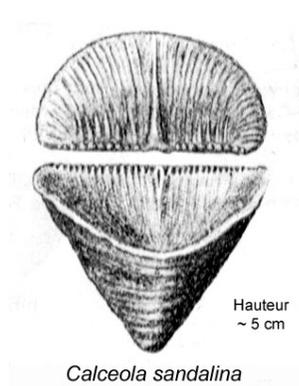


FIG. 3 – *Calceola sandalina*, **Rugueux solitaire** Dévonien de forme caractéristique, qui présente la particularité d'avoir un opercule.

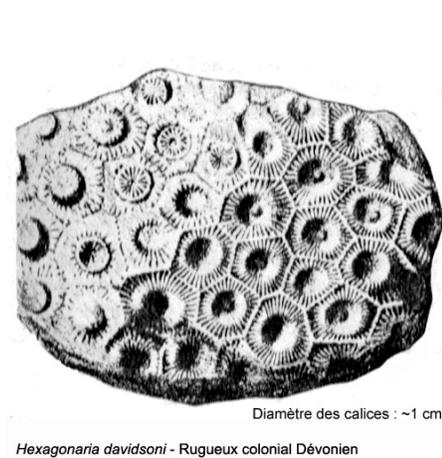


FIG. 4 – *Hexagonaria*, **Rugueux colonial** Dévonien.

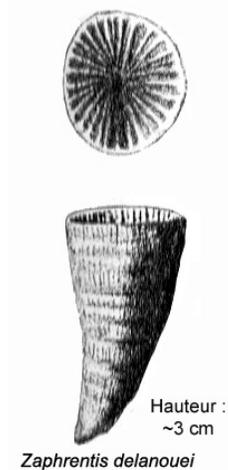
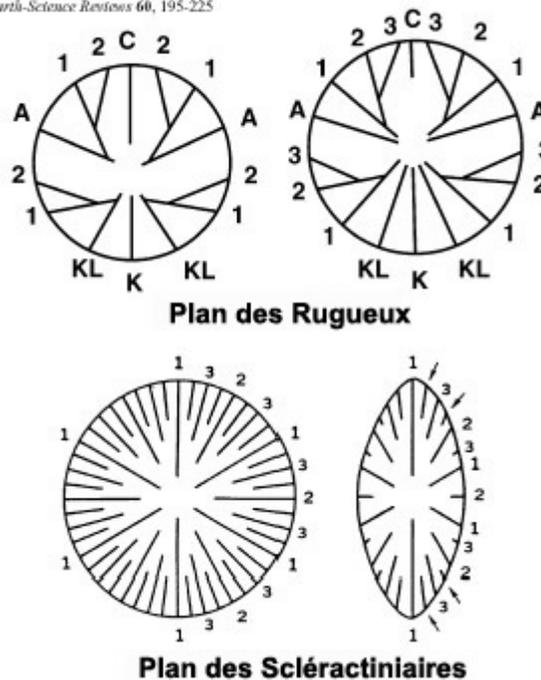


FIG. 5 – *Zaphrentis*, **Rugueux solitaire** du Carbonifère.

- **Les Tabulés ont été les principaux constructeurs de récifs de l'ère Primaire.** Leur nom provient de leur organisation interne à cloisons horizontales (*tabulae*).
 - **Les Rugueux**, qui représentent l'autre groupe majeur de Cnidaires à squelette du Primaire, étaient des animaux pour la plupart solitaires, mais dont certains ont constitué des colonies importantes. *Calceola sandalina*, du Dévonien, est un exemple classique de Rugueux. Ce clade a aussi été appelé l'Ordre des Tétracoralliaires. *Leur squelette était composé de calcite.*
 - **Les Scléractiniaires**, ou Hexacoralliaires, remplacent les Rugueux et les Tabulés après l'extinction permo-triasique. L'origine des Scléractiniaires est débattue. On suppose souvent qu'ils descendent des Rugueux, mais cette hypothèse reste controversée [1, 2]. Ils présentent une organisation de leurs cloisons internes (septes) à symétrie six, et radiale (alors qu'elle était grossièrement bilatérale chez les Rugueux). De plus, *leur squelette est composé d'aragonite.*
- Les données moléculaires font diverger les deux groupes majeurs de Scléractiniaires au Carbonifère, il y a 300 Ma, ce qui impliquerait qu'ils aient survécu à l'extinction du Permo-Trias.

Remarque : L'apparition brusque des Scléractiniaires minéralisés au Trias moyen, pourrait alors s'expliquer par l'existence d'ancêtre sans squelette (ce que leur proche parenté avec les Corallimorpharia, sans squelette, et parfois inclus dans les Scléractiniaires, rend plausible) et l'apparition de conditions physico-chimiques plus favorables à partir de ce moment : d'une part, les 14 premiers Ma du Trias ont vu une suppression globale des dépôts de carbonates, et d'autre part, chez

Stanley G.D. (2003), The evolution of modern corals and their early history, *Earth-Science Reviews* 60, 195-225



Disposition schématique des septes dans le plan septal des Rugueux et des Scléractiniaires.

Dans le plan des Rugueux, les septes primaires (*protoseptes*) comprennent les septes cardinaux (C), les contre-septes (K) et les septes contra-latéraux (KL) et les septes alaires (A). Les numéros indiquent l'ordre d'insertion des septes suivants (*métaseptes*), qui apparaissent par quartier de plan. Chez les Scléractiniaires, par contre, les insertions de septes s'effectuent en divisant le plan par 6, puis 12, 24, etc. Les symétries radiales et bilatérales caractérisent les Scléractiniaires.

D'après Oliver, 1996.

FIG. 6 – Développement comparé des septes chez les Rugueux et les Scléractiniaires.

les Scléractiniaires actuels, la calcification diminue quand la saturation de l'eau de mer en carbonate de calcium diminue (Stanley & Fautin, Science 291).

4 Intérêts scientifiques

- Principaux constructeurs biologiques de matériaux géologiques (récifs).
- Les Scléractiniaires constructeurs ne vivent que dans des conditions de température, et de clarté de l'eau, particulières (leur association symbiotique avec des algues photosynthétiques, qui leur fournissent une grande part de leurs apports nutritifs les rend dépendants de la lumière), ce qui en fait d'importants indicateurs paléoclimatiques de conditions analogues à l'actuel climat subtropical.
- Leur incapacité à subsister en dessous de quelques mètres d'eau en fait d'excellents indicateurs du niveau marin. Ils ont donc été abondamment utilisés pour étudier les variations eustatiques.
- Leur croissance incrémentielle, et leur structure calcitique ou aragonitique, en équilibre avec l'eau de mer, en fait encore des enregistreurs des variations de la teneur de l'eau en ^{18}O , variations reliées à la température et à la salinité de l'eau, ainsi qu'à la présence de glace polaire

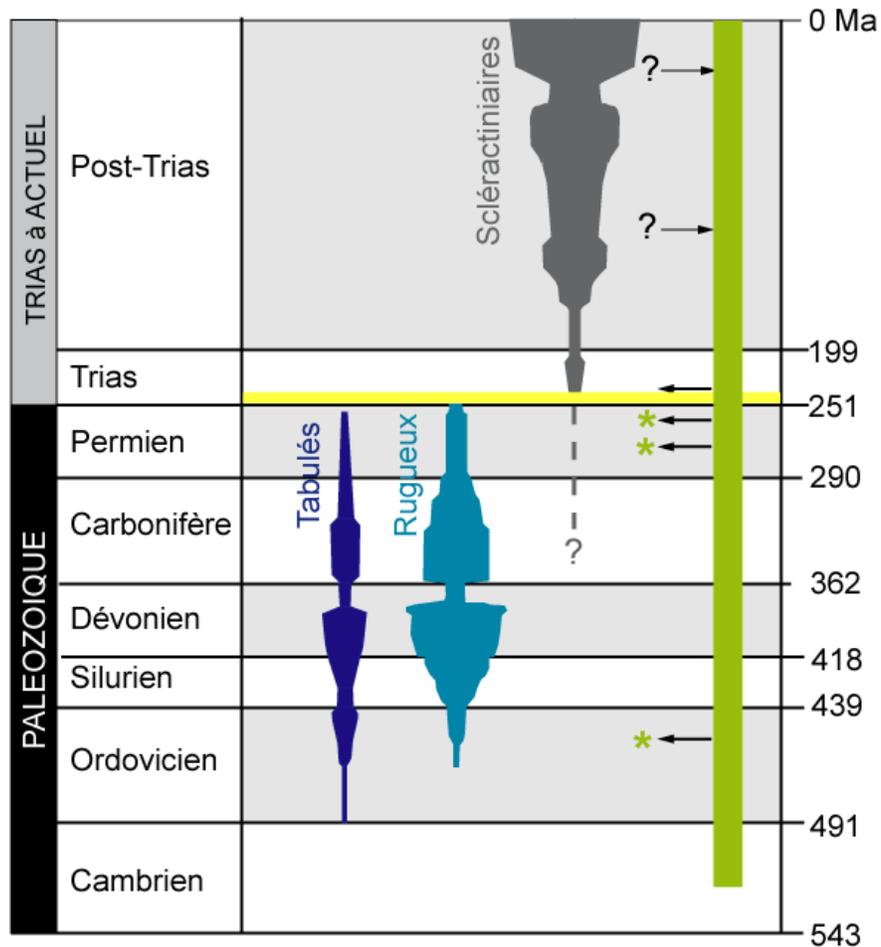


FIG. 7 – Coraux et apparentés au cours des temps géologiques. La longueur verticale des figurés colorés montre la durée d'existence des trois Ordres de coraux majeurs. L'épaisseur représente leur abondance et leur diversité. La barre verticale de droite indique l'extension temporelle supposée des espèces sans squelette calcifié, que l'on ne trouve donc que très rarement sous forme fossile. La barre horizontale jaune à la base du Trias symbolise un intervalle de temps sans coraux fossiles connus. Les astérisques indiquent les périodes d'apparition de Sclératinomorphes calcifiés. Les flèches droite et gauche symbolisent respectivement des périodes de perte ou d'acquisition d'un squelette calcifié, phénomène qui s'est produit plusieurs fois au cours des temps géologiques. Adapté de Stanley & Fautin, *The origin of modern corals*, *Science* 291, 9 mars 2001.

Références

- [1] Stanley G. D. & Fautin D. G. (2001), *The origin of modern corals*. [Science](#) **291** (5510), p. 1913-1914.
- [2] Stanley G. D. (2003), *The evolution of modern corals and their early history*. [Earth-Science Reviews](#) **60**, 195-225.

ÉCHINODERMES

Cyril Langlois

Novembre 2006

1 Caractères généraux

Métazoaires Triblastiques caractérisés par un endosquelette dermique, constitué de spicules de calcite, discontinues (holothuries) ou regroupés en plaques et piquants, mobiles (étoiles de mer, ophiures) ou soudées (oursins). L'enveloppe de plaques sous-épidermiques soudées des Oursins est appelé un *test*.

- Les spicules ou plaques sont formés de **calcite**, avec une microstructure très particulière. **Chaque plaque est un monocristal de calcite**. La cassure des plaques présente de ce fait un aspect typique (cassure *spathique*).
- L'adulte ne présente pas de symétrie bilatérale, mais la plupart du temps une *symétrie d'ordre cinq*, parfois trois chez certains fossiles attribués à ce groupe. Chez certaines formes, une symétrie bilatérale secondaire réapparaît.
- Le corps renferme un système de chambre remplie d'eau de mer, le **système ambulacraire**, qui communique par des pores avec le milieu extérieur. Par des changements de pression dans ces chambres, ce système permet les mouvements des *pieds ambulacraires*, munis de ventouses.
- Certains taxons ont, ou ont eu, un mode de vie fixé, et un régime filtreur (Crinoïdes, Eocrinoïdes†, Blastoïdes†, Cystoïdes†). Ils sont constitués d'un calice (*thèque*) munis de bras, porté au bout d'une tige plus ou moins longue constituée d'un empilement d'articles calcaires.
- D'autres ont un mode de vie libre [Astéroïdes (étoile de mer), Ophiuroïdes (Ophiures), Échinoïdes (Oursins), Holothuroïdes (Holothuries)] et une alimentation carnivore [Certains groupes d'Echinoïdes réguliers à mâchoires (lanterne d'Aristote), Astéroïdes, Holothuroïdes] ou détritivore (psammivore) [oursins irréguliers].

Les taxons fossiles les plus étudiés sont ceux qui présentent un test, plus aisément fossilisables, en particulier les **Blastoïdes**, les **Crinoïdes** et les **Échinoïdes**.

- **Blastoïdes** (figure 1) : le calice montre la symétrie d'ordre cinq typique des Échinodermes, avec des aires ambulacraires bien visibles. Chez certains Blastoïdes, le calice était directement attaché au substrat, avec une tige.
- **Crinoïdes** : groupe proche des Blastoïdes mais plus diversifié et toujours représenté aujourd'hui (figure 2).

Du fait de la fragilité de leur tige, les fossiles de crinoïdes se trouvent rarement entiers, mais plus souvent sous forme de portions de tiges ou de bras démantelés, ou d'articles isolés, appelés alors *entroques*.

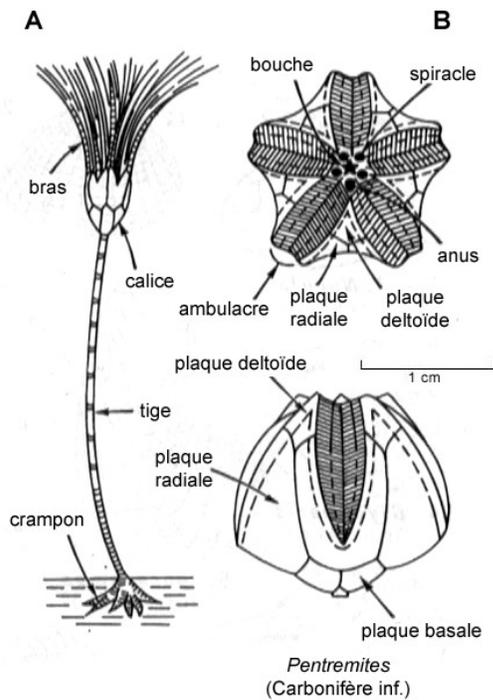


FIG. 1 – A : Blastoïde en position de vie. B : *Pentremites*, Blastoïde du Carbonifère inférieur en vue orale (en haut) et latérale (en dessous). Figure d'après [2]. Les échelles indiquées ne sont pas forcément respectées.

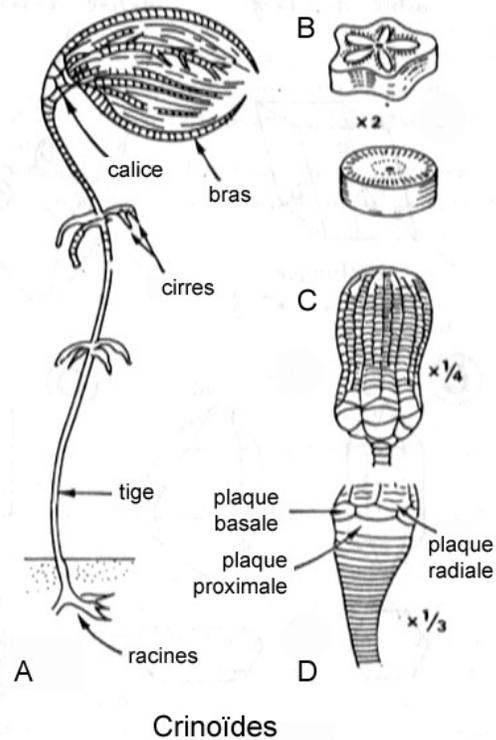


FIG. 2 – A : Crinoïde en position de vie. B : deux articles de tiges. C : Calice et bras d'*Encrinurus* (Trias moyen). D : calice et portion de tige d'*Apionicus* (Jurassique sup.). Figure d'après [2]. Les échelles indiquées ne sont pas forcément respectées.

2 Classification

Les Echinodermes forment un Embranchement dans la classification classique.

2.1 Classification et phylogénie d'ensemble du groupe

La figure 3 montre la phylogénie actuellement acceptée pour les Échinodermes, en prenant en compte les groupes fossiles (source : [The Tree of Life](#)).

2.2 Classification des Échinoïdes

On distingue dans ce taxon les *Oursins réguliers*, à symétrie pentaradiée, et les *Oursins irréguliers*, ayant acquis une symétrie bilatérale secondaire, avec perte de la lanterne d'Aristote et acquisition d'un régime psammivore);

Oursins réguliers :

- *Cidaroida* (p.ex. *Cidaris*†)
- *Echinoida*

Oursins irréguliers :

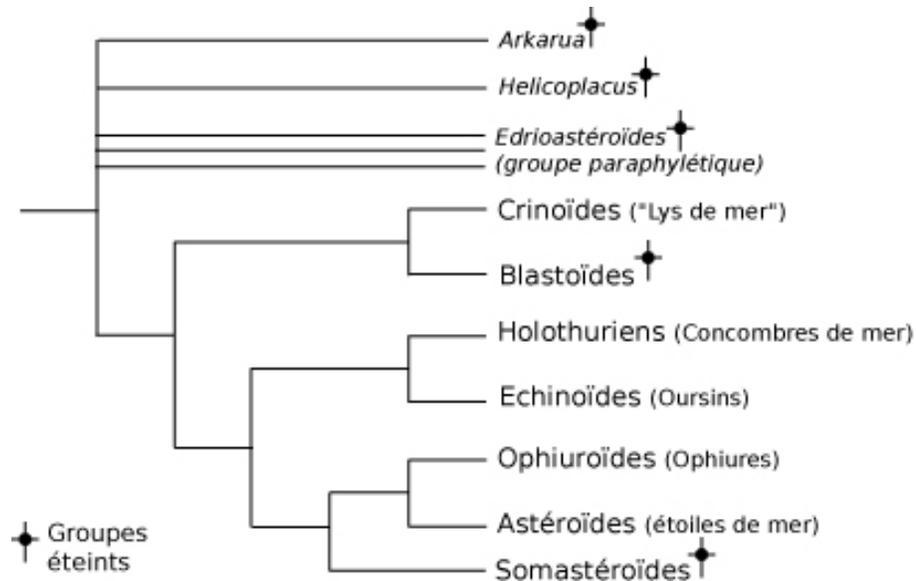


FIG. 3 – Phylogénie des Échinodermes. D’après David et Mooi (1997), Littlewood *et al.* (1997), et Sumrall et Sprinkle (1997). La position des groupes fossiles reste incertaines et plusieurs taxa fossiles ne sont pas figurés.

- *Clyperasteroïda* (p.ex. dollar des sables)
- *Cassiduloïda*
- *Spatangoïda* (Spatangue, Oursins cordiformes, p.ex. *Micraster†*)

3 Répartition temporelle

Certains organismes fossiles du Protérozoïque terminal, entre 650 et 540 Ma, trouvé dans le gisement d’Ediacara, en Australie, ont été rapprochés des Échinodermes, qui seraient donc présents dès cette époque.

Blastoïdea : de l’Ordovicien à la fin du Permien, avec une diversité maximale au début du Carbonifère.

Crinoïdea : comme les Blastoïdes, les Crinoïdes sont très sévèrement affectées par la crise Permo-Trias, même si elles y survivent. Cette crise provoque une réduction drastique de ce groupe, qui ne se diversifiera à nouveau qu’à partir du Jurassique, sans jamais retrouver la diversité qu’il présentait au Primaire.

Astéroïdea et Ophiuroïdea : depuis l’Ordovicien

Echinoïdea : les plus anciens remontent à l’Ordovicien, et appartiennent à une classe disparue.

- *Cidaroida* : depuis le carbonifère inférieur
- *Echinoïda* : depuis le Trias

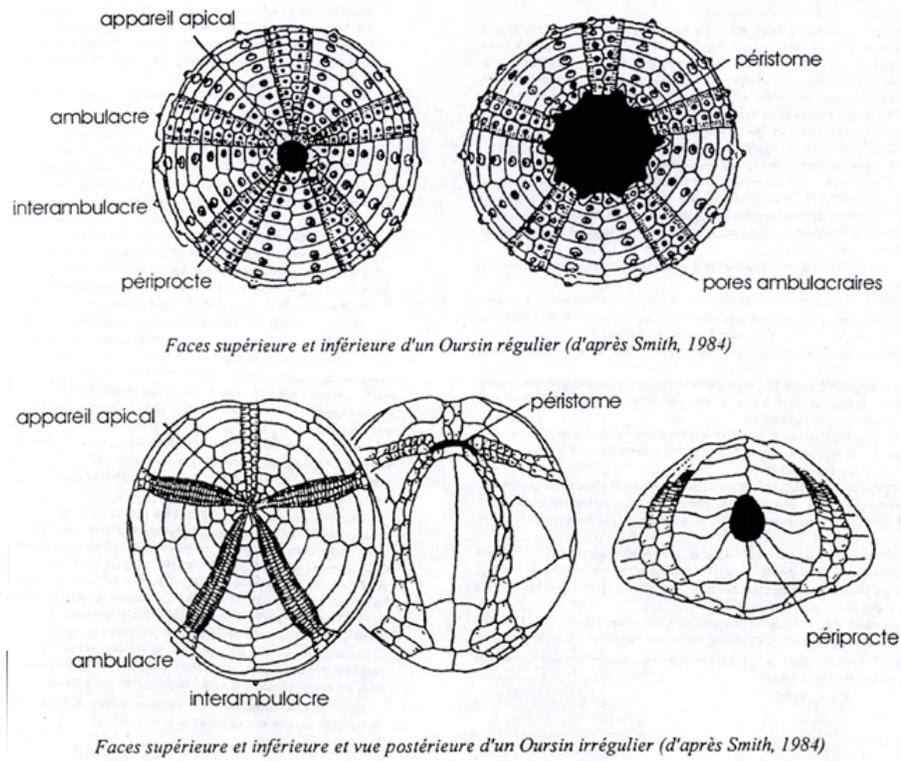


FIG. 4 – Anatomie du test d’un oursin régulier (en haut) et irrégulier (en bas)



FIG. 5 – Oursin fossile de la craie (Spatangus), parfaitement conservé. Photo et échantillon : Cyril Langlois

- *Cassiduloïda* : depuis le Jurassique
- *Spatangoida* : connus seulement à partir du Crétacé

4 Intérêts scientifiques

Du fait de la résistance de leur test et de leur vie dans ou sur le sédiment, les échinodermes fossiles sont souvent très bien conservés (figure 5).

- Les Échinoïdes sont très intéressants pour les études des processus évolutifs, en particulier l'évolution du développement : l'abondance des fossiles dans un gisement et leur bonne conservation donnent accès à plusieurs stades du développement, du juvénile à l'adulte.
- De plus, l'âge adulte, correspondant à la maturité sexuelle, se marque par l'ouverture des pores génitaux sur les plaques génitales, caractère fossilisable. *Il est donc possible, par exemple, de comparer le développement de deux espèces, l'une étant supposé descendante ou proche parente de l'autre, et d'analyser les modifications de forme en termes d'hétérochronies du développement.*
- Certains caractères, comme la forme du test, ou la taille et la surface relative des aires ambulacraires, pouvant être mis en relation avec l'oxygénation du milieu de vie, donc avec la température et la bathymétrie, les Échinoïdes sont aussi étudiés en tant qu'indicateurs paléoécologiques.
- Les Blastoïdes sont des fossiles stratigraphiques, puisqu'ils sont caractéristiques du Primaire.

Références

- [1] BABIN C., *Principes de paléontologie*. Armand Colin, 1991
- [2] FOUCAULT A. & RAOULT J.-F., *Dictionnaire de géologie*, Masson, 1995
- [3] LECOINTRE G. & Le GUYADER H., *Classification phylogénétique du vivant*, 3^e édition. Belin, 2006
- [4] *The Tree of Life Web Project*
<http://tolweb.org/tree/phylogeny.html>
- [5] *Museum of Paleontology, University of California, Berkeley*
<http://www.ucmp.berkeley.edu/exhibit/phylogeny.html>