



## I. Introduction : définition et généralités sur la Paléontologie

La définition de « paléontologie » est explicite si on s'intéresse à l'étymologie du mot. Le terme est en effet constitué de trois mots grecs :

- **Paléo**, du grec palaios qui signifie ancien ;
- **Onto**, du grec ontos, vie, être ;
- **Logie**, du grec logos, le discours, la science.

La paléontologie est donc la science qui étudie les formes de vie du passé. Elle s'intéresse à toute forme de trace laissée par un organisme vivant, fossilisé dans la roche. Les formes de fossiles les plus communes sont les restes de l'organisme, tels que le squelette d'un vertébré ou la coquille d'un mollusque.

La paléontologie a pour vocation l'étude des restes et empreintes d'organismes et de leurs activités préservés de façon naturelle au sein des sédiments

## II. Les différentes sous-disciplines de la paléontologie

### II.1.2.1 Paléontologie des vertébrés

La paléontologie des vertébrés consiste en l'étude des faunes vertébrées depuis leur apparition au Cambrien et plus précisément des chordés. Ce groupe monophylétique est un embranchement au sein des animaux bilatéraux deutérostomiens.

Ils sont caractérisés par la présence d'une notochorde, structure axiale protégeant le tube nerveux dans la partie dorsale de l'animal. Chez les vertébrés, cette notochorde est remplacée par une colonne vertébrale. Les paléontologues des vertébrés sont en général spécialisés dans un groupe en particulier, qu'il soit monophylétique ou non. On notera parmi les groupes sujets d'une attention particulière : l'étude des mammifères et de leurs ancêtres les thérapsides, les oiseaux, les dinosaures, les ptérosaures et les reptiles marins, les crocodiles, les squamates, les tortues, les amphibiens, les dipneustes, les poissons ou encore les requins.

Bien que l'Homme et ses ancêtres soient eux aussi des vertébrés, la paléanthropologie est souvent considérée comme une branche à part entière pour des raisons anthropocentriques. On

trouve d'autres subdivisions au sein de la paléontologie des vertébrés, étant cependant moins usitées que la précédente. On pourra noter, par exemple :

- La paléoherpétologie (l'étude des reptiles fossiles),
- La paléoichthyologie (poissons),
- La paléomammalogie (mammifères) ou encore
- la paléo-ornithologie (oiseaux).

### III. 1.2.2 Paléontologie des invertébrés

La paléontologie des invertébrés s'attache à étudier l'autre partie du royaume animal. Le terme invertébré ne représente pas un clade phylogénétique, mais est une dénomination historique référant aux animaux ne présentant pas de colonne vertébrale.

Il regroupe notamment les échinodermes, les mollusques (bivalves, céphalopodes, gastéropodes, etc.), les arthropodes (insectes, crustacés, arachnides, etc.), les nématodes, les annélides, les ectoproctes (bryozoaires), les éponges (spongiaires) ou encore les cnidaires (médusozoaires, anémones de mers, coraux, etc.).

Là encore, chaque groupe phylogénétique peut être appelé par une dénomination particulière. Ainsi : *la paléoentomologie* est l'étude des insectes fossiles, *la paléoconchologie*, l'étude des mollusques à coquille.

### II. 1.2.3 Micropaléontologie

La micropaléontologie est également une branche de la paléontologie qui n'est pas rattachée à un groupe phylogénétique mais à certaines niches écologiques particulières, peuplées par de micro-organismes. Il n'existe pas de taille précise délimitant les microfossiles des macrofossiles, la détermination se faisant plutôt sur les outils nécessaires à leurs études. Néanmoins, la majorité des microfossiles ont une taille inférieure à 1 mm (le plus souvent entre 10 et 200  $\mu\text{m}$ ). Concrètement, un microfossile nécessite l'usage d'un microscope (optique ou à électron) alors qu'un macrofossile est étudiable à l'œil nu (bien que l'usage du microscope soit aussi courant pour l'observation de microstructures).

Les microrestes du registre fossile présentent des structures et des compositions variées. On trouve notamment plusieurs types de restes carbonatés : les coccolithes des coccolithoforidés,

les tests de foraminifères et de dinoflagellés, les carapaces d'ostracodes. D'autres organismes minéralisent des structures siliceuses telles que les diatomées, les radiolaires, les phytolithes, mais aussi les spicules produits par les spongiaires ou encore l'appareil masticatoire de certains annélides. Parmi les microrestes biominéralisés, on trouvera aussi des structures phosphatées qui sont la plupart du temps des dents ou des appareils masticatoires fossilisés. Dans des roches issues de la sédimentation en milieu aquatique, on pourra trouver notamment des denticules de conodontes, l'appareil masticatoire de certains annélides ou encore des dents et des épines dorsales de requins et des dents et des écailles osseuses de poissons. Dans les roches issues de la sédimentation en milieu terrestre, on trouvera particulièrement des dents de petits tétrapodes. Enfin, on notera un dernier type de microfossiles qui se distingue des types précédemment mentionnés du fait qu'ils ne sont pas biominéralisés mais simplement organiques. Ces microfossiles comprennent les spores, les grains de pollen et les palynomorphes (micro-algues, restes de champignons, rhizopodes ou thécamoebiens, stomates, débris organiques divers, etc.). Cette branche de la micropaléontologie est appelée paléopalynologie et est très utilisée pour reconstituer les paléoenvironnements et les paléoclimats.

### ***Méthodologie de l'analyse palynologique***

Le matériel sédimentaire est prélevé par sondage ou carottage dans des zones humides (lacs, tourbières, sédiments marins...), caractérisées par l'accumulation d'archives sédimentaires stratifiées et par des conditions anoxiques défavorables à l'activité des organismes décomposeurs. Les sédiments sont conservés en chambre froide, puis traités chimiquement pour éliminer le matériel non pollinique : la cellulose (acide sulfurique, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), les carbonates (acide chlorhydrique, HCl) et la silice (acide fluorhydrique, HF ou flottaison sur liqueur dense). Le culot obtenu, qui contient les grains de pollen ainsi que des microrestes divers (micro-algues, spores de champignons, rhizopodes, débris ligneux, stomates...), est monté entre lame et lamelle dans de la glycérine pour être observé sous microscope optique. Les grains sont identifiés et dénombrés pour construire un diagramme pollinique. L'identification est le plus souvent limitée à la famille ou au genre, et le transport anémophile du pollen sur de longues distances induit le plus généralement une vision régionale de la végétation.

### **II. 1.2.4 Paléobotanique**

La paléobotanique (l'étude des plantes fossiles) est une discipline très proche de la palynologie, mais faisant appel à des connaissances différentes. Le type de fossilisation va grandement

influencer le type de restes botaniques. On pourra trouver : des impressions de feuilles dans des dépôts sédimentaires fins ; des végétaux perminéralisés où un minéral remplace la matière organique (comme le bois silicifié) ; des végétaux carbonisés suite à un enfouissement dans un milieu pauvre en oxygène (comme la houille). Au sein de cette discipline, on trouvera aussi des subdivisions concentrées sur un type de fossile précis (par exemple, la paléoxylologie est l'étude du bois fossile). La description et l'identification des macrorestes de végétaux sont réalisées à l'aide d'atlas et de collections de référence. Les éléments diagnostics pour les feuilles sont : la forme et la taille du limbe, sa marge et sa nervation, la présence et la géométrie de nervures secondaires, tertiaires ou quaternaires. L'identification des macrofossiles est le plus souvent possible au niveau de l'espèce (grande résolution taxinomique).

Par contre, leur transport sur de courtes distances implique une vision très locale de la végétation.

### **II. 1.2.5 Paléoichnologie**

La paléontologie intègre aussi les traces laissées par les organismes. On parlera alors de paléoichnologie lorsque l'on étudie des empreintes de pas ou des terriers. Dans ces cas précis, l'objet fossilisé est un moulage de la structure et non une minéralisation d'une structure organique. Ce type de reste a l'avantage de donner des informations sur le comportement du ou des organismes les ayant laissés. Cependant, on comprendra, notamment dans le cas des empreintes, qu'il est extrêmement rare de pouvoir associer avec certitude la trace fossile à l'organisme l'ayant produite.

### **II. 1.2.6 Disciplines liées à la paléontologie**

De l'étude de tous les types de fossiles découlent plusieurs disciplines.

#### ***a) La biostratigraphie***

Elle a pour but l'établissement d'une chronologie relative des couches géologiques en réunissant les données paléontologiques et sédimentologiques. Cette discipline est basée sur le contenu en fossiles des strates sédimentaires. La similarité des fossiles entre diverses strates indique donc que ces couches sont contemporaines. Ce sont notamment les variations du contenu fossile dans le temps (extinction ou apparition) qui permettent de définir les limites de l'échelle des temps géologiques. En fonction de l'importance des variations observées dans la

faune et la flore, les temps géologiques sont alors séparés (du plus petit degré de classification au plus grand) en étages, époque, période, ère et éon. Bien entendu, ce découpage du temps ne permet pas de donner des dates absolues, ces dernières pouvant être obtenues grâce à la radiochronologie (datation par étude de la décroissance radioactive de certains isotopes) ou encore par cyclostratigraphie (établissement de la durée de dépôt d'une couche par reconnaissance des cycles astronomiques de Milankovitch tels que l'excentricité, l'obliquité et la précession).

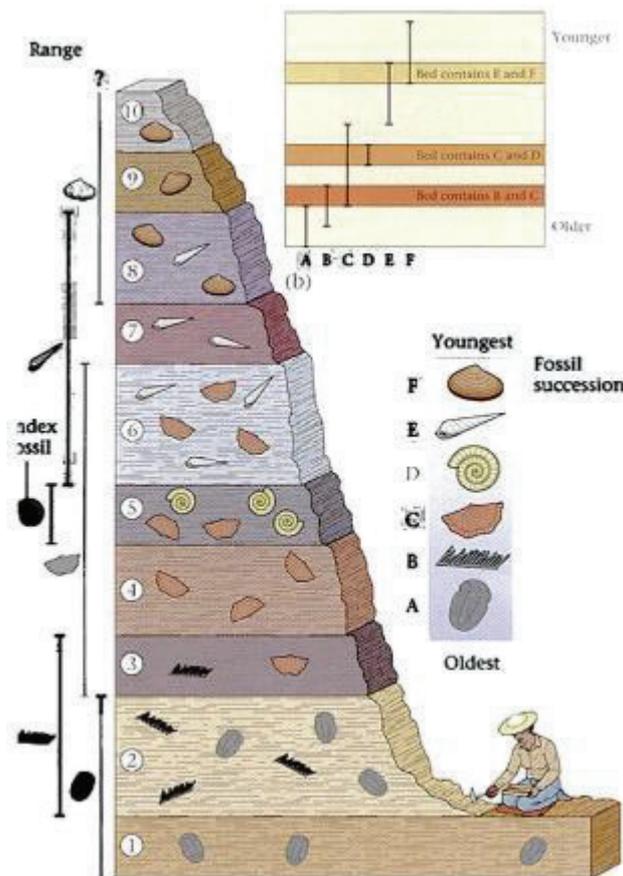


Fig. 1. Exemple de résultat d'une étude stratigraphique (1)

La biostratigraphie est une façon de dater les roches à ce jour en utilisant des fossiles. La biostratigraphie suppose que certains (combinaisons de) fossiles sont caractéristiques pendant une certaine période (le principe de succession fossile) et établit sur cette base des unités biostratigraphiques. Ce sont des périodes (en fait, l'apparence spatiale d'une roche particulière) pour lesquelles un fossile particulier ou une combinaison de fossiles est caractéristique.

En supposant que la séquence du contenu fossile est égale latéralement, des corrélations latérales entre roches ou sédiments peuvent être établies. Ceci est important, car les sédiments du même âge peuvent différer considérablement sur de grandes distances en raison du principe

des faciès sédimentaires (par exemple, l'argile peut être déposée à un endroit, le sable à l'autre en même temps). Si des roches avec le même fossile guide se trouvent à deux endroits, cela montre que les couches ont le même âge.

Parce que la biostratigraphie ne donne pas l'âge absolu à une roche, c'est une manière de datation relative. La paléontologie stratigraphique est incluse dans la magnétostratigraphie.

La biostratigraphie n'est possible que parce que les espèces évoluent et s'éteignent à des moments précis, et l'évolution d'une espèce n'est pas répétable. Les diatomées sont particulièrement intéressantes pour les études biostratigraphiques des sédiments de haute latitude où les microfossiles calcaires sont souvent mal conservés ou de faible diversité.

#### ***a.1. Division en zones :***

L'unité de base de la biostratigraphie est la **biozone**, qui est toute unité de roche se distinguant d'autres unités de ce type sur la base de son contenu fossile.

La biostratigraphie divise les couches de roches et de sédiments en unités appelées biozones. Une biozone est un intervalle caractérisé par la présence d'une certaine espèce. Les biozones peuvent également être définies comme l'intervalle de chevauchement de deux espèces ou des intervalles dans lesquels une espèce donnée est clairement plus ou moins définie que dans les couches supérieure et inférieure. Une séquence d'un certain nombre de biozones s'appelle une biozonation. Ces biozonations peuvent différer régionalement pour des roches du même âge. Les biozones peuvent être définies par l'apparition et la disparition de certains fossiles, mais aussi par les quantités d'un fossile particulier qui s'y trouvent. D'autres biozones sont encore identifiées avec une combinaison de certains fossiles.

Le terme "étage" et le "stade faunique" sont parfois utilisés pour désigner une unité stratigraphique avec un certain contenu fossile. Il s'agit officiellement d'un concept chronostratigraphique, l'utilisation des différents concepts est souvent mélangée et peut sembler déroutante pour les profanes.

#### ***a.2. Utilisations :***

La biostratigraphie est la branche de la stratigraphie qui se concentre sur l'identification et l'organisation des strates en fonction de leur contenu fossile. Les strates avec un contenu fossile distinctif sont appelées unités ou zones biostratigraphiques. La biostratigraphie s'est développée indépendamment en Angleterre et en France juste après 1800 sur la base de la prise de

conscience bien articulée par William Smith que "les mêmes strates se trouvaient toujours dans le même ordre de superposition et contenaient les mêmes fossiles".

Les **biostratigraphes** reconnaissent cinq types principaux de zones biostratigraphiques : les zones d'aire de répartition, les zones d'intervalle, les zones de lignage, les zones d'assemblage et les zones d'abondance. La biochronologie est la reconnaissance des intervalles de temps géologiques par les fossiles. Les fossiles de tout organisme représentent un intervalle de temps géologique particulier appelé **biochron**. La biostratigraphie est généralement utilisée comme méthode de corrélation stratigraphique, c'est-à-dire le processus de détermination de l'équivalence d'âge ou de position stratigraphique de roches stratifiées dans différentes zones. Grâce à son utilisation dans la corrélation stratigraphique, la biostratigraphie est devenue la base principale pour la construction de l'échelle de temps géologique relative.

### *a. 3. Applications :*

La biostratigraphie fait référence à la corrélation et à la détermination de l'âge des roches grâce à l'utilisation de fossiles. La détermination du milieu dans lequel vivaient les espèces fossiles est inhérente à ce type d'analyse. Théoriquement, n'importe quel fossile peut être utilisé pour établir des corrélations physiques entre les horizons stratigraphiques, mais les fossiles les mieux adaptés pour établir des corrélations d'âge précises (corrélations stratigraphiques temporelles) représentent des organismes qui (1) avaient une large dispersion géographique, (2) étaient de courte durée, et/ou (3) avaient des caractéristiques évolutives distinctes et rapidement développées par lesquelles ils peuvent maintenant être identifiés. Les fossiles remplissant ces critères sont appelés **fossiles index**.

L'évolution et les changements dans l'environnement local peuvent provoquer l'apparition ou la disparition d'une espèce, ainsi l'importance temporelle d'un fossile indice particulier doit être démontrée au niveau régional par des distinctions faites entre les effets environnementaux locaux et les événements d'importance temporelle. Les effets environnementaux peuvent entraîner l'apparition/la disparition d'une espèce en raison des conditions locales, tandis que des effets significatifs dans le temps peuvent entraîner l'apparition/la disparition d'une espèce en raison de l'évolution, de l'extinction ou de la migration régionale. Les effets environnementaux locaux ne sont pas nécessairement significatifs dans le temps et ne peuvent pas être utilisés dans les corrélations temporelles entre différentes unités sédimentaires.

Les fossiles des archives sédimentaires marines indiquent l'existence d'une vie primitive peut-être dès 2,1 milliards d'année avant, bien que l'explosion d'une vie abondante dans les mers soit généralement liée au début de l'ère Paléozoïque il y a 544 millions d'années (Ma). L'enregistrement sédimentaire continental indique l'existence de plantes et d'animaux au début du Paléozoïque, avec des indications récentes d'animaux faisant des incursions des mers vers la terre peut-être 530 Ma.

La **biostratigraphie paléozoïque**, en particulier pour les archives sédimentaires marines, est liée à des âges précis et absolus pour la plupart des limites de période et d'étape, mais les lacunes dans les archives fossiles et/ou le manque de roches isotopiquement datables aux limites clés laissent encore certaines divergences à résoudre. La biostratigraphie et la corrélation des zones fossiles sont définies plus précisément pour les ères Mésozoïques et Cénozoïques; ceci est largement dû à la capacité de calibrer la biostratigraphie non seulement avec les âges isotopiques radiogéniques, mais aussi avec le GPTS (Geometric polarity time scale) pour ces périodes.

#### a.4. Unités stratigraphiques :

Sauf localement, les unités lithostratigraphiques ne sont généralement pas fiables comme marqueurs temporels. Ceci est dû aux variations de faciès ainsi qu'à la progradation des unités. Les meilleurs marqueurs temporels lithologiques pourraient inclure des lits d'événements, comme des tempêtes, des diamictites glaciaires ou des dépôts de cendres formés au cours d'un seul épisode. Cependant, la cyclicité potentielle de ces événements rend leur utilisation mondiale problématique.

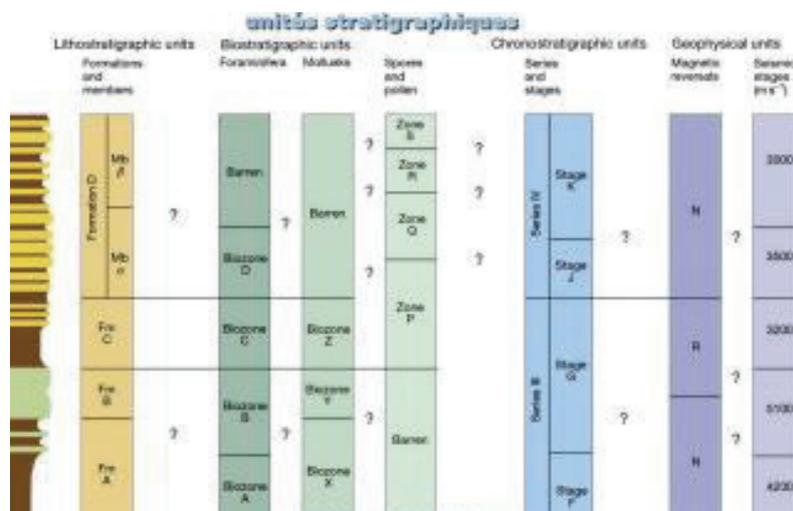


Fig. 2. Affleurement classé par plusieurs techniques stratigraphiques (2)

### ***b) La paléoclimatologie***

Elle étudie l'évolution du climat en se basant sur plusieurs types de données. Si l'étude du fractionnement isotopique de l'oxygène piégé dans les glaces est un bon thermomètre pour ce qui concerne le dernier million d'années, il faut recourir à d'autres proxys pour étudier les climats du passé. Couplées aux indices sédimentologiques, les variations de la faune mais surtout de la flore donnent une indication de ces variations climatiques au cours du temps. L'étude du fractionnement isotopique des fossiles biominéralisés (comme les tests de foraminifères) est aussi un bon proxy quantitatif pour l'étude des variations de température.

### ***c) La paléogéographie***

Elle reconstitue le mouvement des plaques tectoniques au cours du temps. De nos jours, les données paléomagnétiques permettent de retracer le mouvement des masses continentales avec beaucoup de précision. Cependant, historiquement, la paléogéographie a débuté par des corrélations entre géologie et paléontologie. Les fossiles permettent toujours de mettre en évidence des connexions entre continents suite à des épisodes de vicariances ou de migrations pour des laps de temps donnés. La répartition géographique de faunes ou de groupes particuliers fossiles entre dans le cadre des études paléobiogéographiques.

### ***d) La paléoécologie***

Elle étudie les interactions entre les différents organismes passés. Elle se base sur des découvertes particulières comme des animaux ensevelis dans leurs terriers, l'abondance de juvéniles et d'œufs fossilisés indiquant un site de ponte où les animaux élevaient leur progéniture ou encore les restes d'un repas découvert près ou dans un autre fossile.

### ***e) La reconstitution paléoenvironnementale***

En corrélant les restes fossiles avec les indices sédimentologiques, il est possible de reconstituer l'environnement de dépôts dans lequel les organismes ont été fossilisés. Le type de fossilisation (silicification, moulage, impression de matières organiques, niveau de préservation) donnera des indications sur la dynamique de dépôt, sur le contenu chimique et le type du milieu. Un paléoenvironnement est un environnement ancien. Il recouvre deux réalités : la géographie et la biologie de l'environnement. On les reconstitue d'après des accumulations de sédiments et des traces d'activités biologiques.

La reconstitution passe par :

- La définition du cadre physico-chimique : le biotope
- L'évaluation du climat
- La description de la faune et de la flore : les biocénoses

Il faut mettre en évidence les relations entre la biosphère et la géosphère.

### ***Les paramètres environnementaux et leurs enregistrements géologiques***

#### **1. La salinité**

La mer est plus salée aux tropiques et moins aux pôles. S'il y a une salinité importante, on retrouvera des évaporites. Les meilleures indications sont données par les fossiles.

#### **Organismes et salinité Espèces sténohalines :**

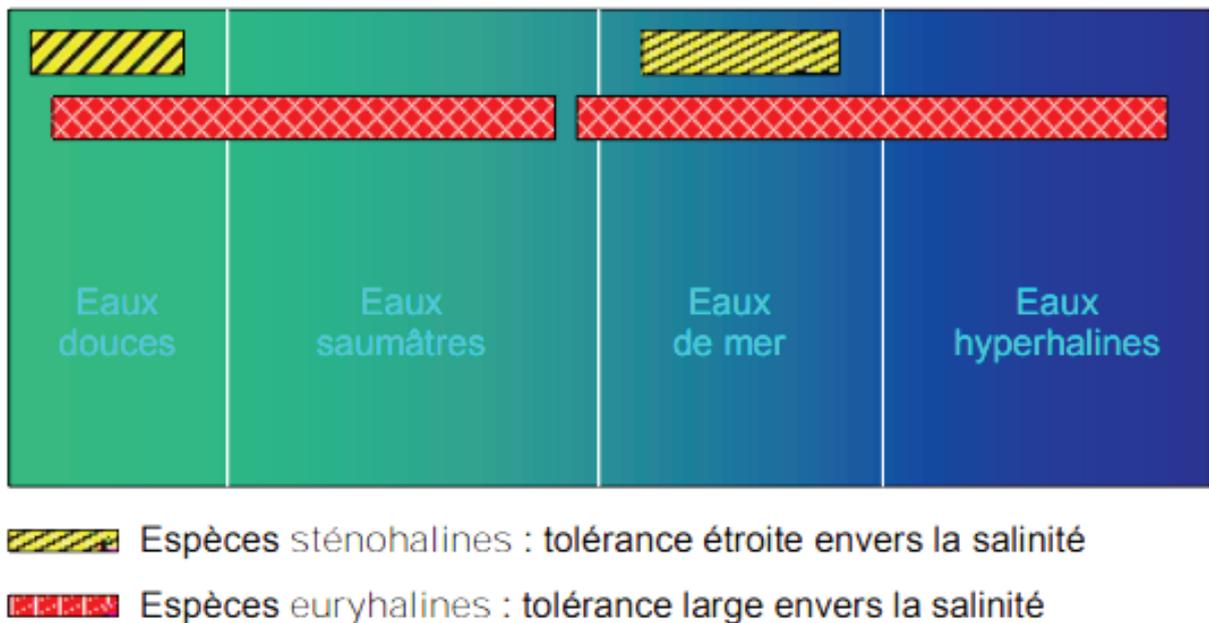


Fig. 3. Répartition des espèces sténohalines et euryhalines (1)

#### ***Peuplement des eaux saumâtres :***

- annélides
- bivalves
- gastéropodes

Le nombre d'espèces est réduit, mais il y a beaucoup d'individus car c'est un environnement particulier (ex : en Mer Morte, il n'y a qu'une seule espèce vivante)

#### **2. La bathymétrie**

Il y a une relation évidente entre la profondeur et la répartition de la faune et de la flore en milieu aquatique. À proximité des côtes, certaines structures sédimentaires sont liées à la bathymétrie.

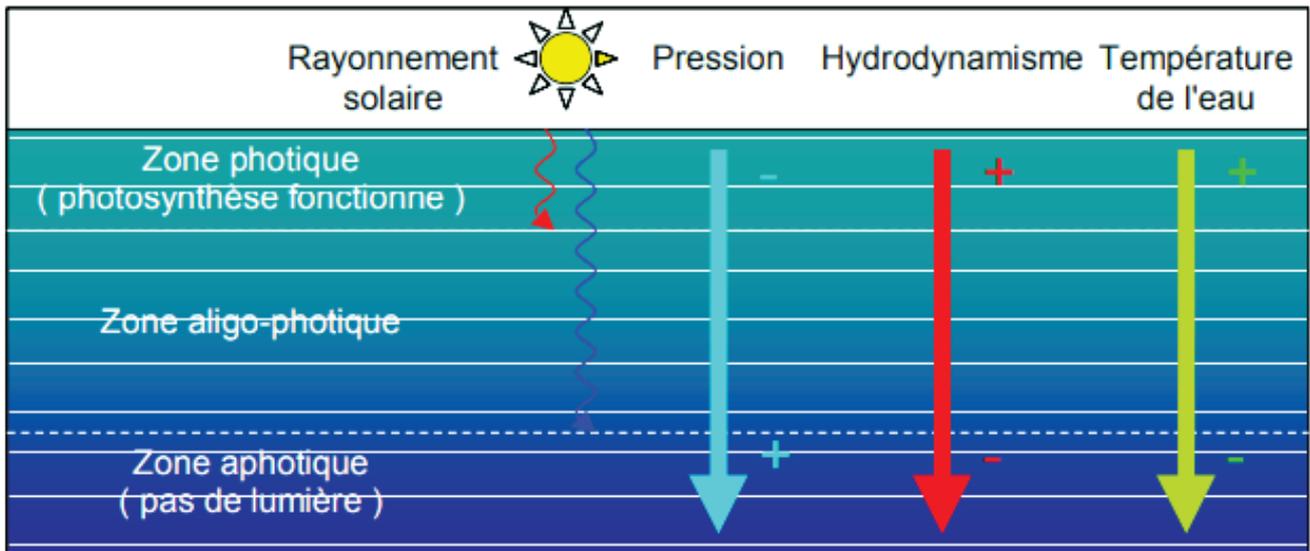


Fig. 4. Influence des différents paramètres environnementaux dans les différentes zones (1)

Répartition des coraux : à La forme varie en fonction de l'éclairement

**Forme des coraux en fonction de leur environnement**

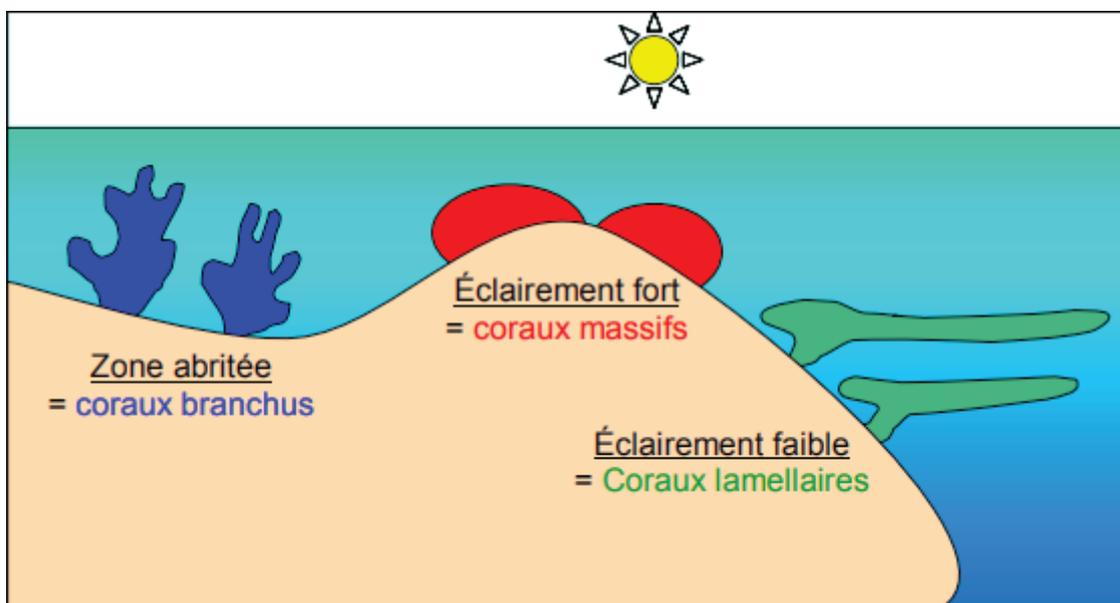


Fig. 5. Relation entre la bathymétrie et la forme du corail (1)

### **3. L'hydrodynamisme (Agitation des eaux) :**

L'hydrodynamisme s'avère parfois un paramètre très important pour la vie de certaines espèces car il s'implique dans la maturation et la respiration de certains organismes.

Ex : les crinoïdes ont besoin d'un certain type de courant

### **4. Le climat**

Il régule la répartition de la faune et de la flore. Les climats résultent de la combinaison complexe de facteurs variés : température, vents, courants marins ... La reconstitution des paléoclimats passe par une bonne connaissance de la paléogéographie.

*Il existe des indicateurs biologiques du climat :*

- Flores tropicales ou tempérées
- Animaux à sang froid

*Il existe également des indicateurs sédimentologiques :*

- Phénomènes d'altération (formation des sols)
- Dépôts glaciaires et périglaciaires (climat froid et humide)
- Dépôts éoliens (climat aride, chaud ou froid)
- Dépôts de plate-forme carbonatée (climat tropical)

Enfin, la géochimie minérale permet d'évaluer les paléotempératures.

### **La démarche paléoenvironnementale**

#### **1. La reconstitution de la biosphère**

La reconstitution de la biosphère repose largement sur la paléoécologie qui met en évidence les interactions entre différents types d'organismes. Parmi ces interactions, on trouve des traces de prédation. Ex : les ichtyosaures qui mangent les bélemnites

#### **2. La reconstitution de la géosphère**

Elle mobilise toutes les disciplines géologiques : la sédimentologie donne des indications sur l'hydrodynamisme, les paléosols, les dépôts carbonatés ... et la géochimie organique indique quels types d'organisme marins ou terrestres ) vivaient là, s'il y avait de l'oxygène, s'il y avait beaucoup d'organismes ...

#### **1. Exemple continental : l'environnement fluvial**

Indices :

- Sédimentation détritique granoclassée
- Paléosols
- Érosion éolienne

## 2. Exemple marin :

### Indices :

- Boue calcaire très fine, décantée
- Lamination dues à des voiles bactériens
- Indices de courants préférentiels
- Terriers rares, mortalité en masse

### *f) La taphonomie*

Cette branche très importante de la paléontologie a pour but de déterminer les processus agissant dès la mort de l'organisme et jusqu'à sa fossilisation. Afin de comprendre ce que l'on observe, il est important de savoir distinguer des structures telles que des marques de prédation, de décomposition ou l'effet de la diagenèse. La taphonomie est donc un point clef de la paléontologie, une condition sine qua non à une interprétation correcte du registre fossile.