# Dessine-moi un fossile

Dossier pédagogique

Musée jurassien des sciences naturelles, Porrentruy /Joseph Chalverat, juin 08

paléojura

JURA CH
RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA

# *Dessine-moi un **fossile***

## 1ère partie :

## Géologie jurassienne : Notions élémentaires

**Table des matières**


1. Quelques traits historiques 03
2. Histoire géologique du Jura 07
3. Jura plissé 09
4. Stratigraphie 13
5. Cycle du calcaire et morphologie karstique 17
6. Tectonique des plaques et Cycle des roches 20
7. Fragmentation de la Pangée 22
8. Périodes géologiques et histoire de la Terre 26

*Gorges du Pichoux (photographie J. Chalverat)*

# 1 Quelques traits historiques

*Jules Thurmann, 1804-1855*

*Louis Agassiz, 1807-1873*

*Amanz Gessly, 1814-1865*

*Edmond Desor, 1812-1882*

En Angleterre, James Hutton (1726-1797), dans sa «Théorie de la terre» a dressé les principes de l'uniformitarisme, William Smith (1769-1839) a dressé la première carte géologique et William Buckland (1784-1856) a établi les principes de la stratigraphie relative. Au début du XIX$^{e}$ siècle, la géologie est donc dans l'air du temps et est en train de prendre son essor. En France, Georges Cuvier (1765-1832) et son collègue de la manufacture de Sèvres, Alexandre Brongniard (1770-1847) à qui l'on doit le terme «Jurassique» en 1829, réalisent de nombreux profils stratigraphiques de la région parisienne et en tirent une carte géologique colorée. Ces travaux, publiés en 1811 sous le titre *Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris* mettaient les couches en relation grâce aux fossiles, c'est pourquoi ils devinrent exemplaires.

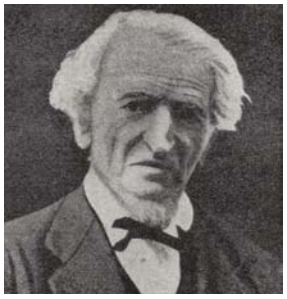
Jules Thurmann (1804-1855), natif de Porrentruy, qui a effectué ses études à Strasbourg et s'est perfectionné à l'Ecole des mines à Paris est par conséquent au fait des principes établis à son époque. C'est donc naturellement, habitant une région où les fossiles affleurent partout, qu'il se penche sur la paléontologie. Observateur attentif, il constate aussi les relations non seulement entre les affleurements et les fossiles qu'ils abritent, mais aussi entre les couches de terrain et la flore, ce qui l'amène à rédiger un ouvrage qui fait figure de pionnier dans l'étude de la phytosociologie *Essai de phytostatique,* en 1849.

Lors de ses déplacements fréquents, il est amené à constater une curieuse symétrie des affleurements entre les flancs sud et nord des anticlinaux qu'il arpente. Il en vient à conclure que la seule explication logique est apportée par une structure en plissements. *Essai sur les soulèvements jurassiques* en 1836, lui permet d'exposer sa théorie sur la formation des chaînes jurassiennes et lui attire la notoriété internationale. A son époque, on ne pouvait évidemment expliquer le déplacement de telles masses et personne ne se doutait qu'il faudrait patienter plus de 120 ans avant la découverte de la tectonique des plaques !

Les relations scientifiques de Jules Thurmann à travers l'Europe se sont développées surtout à l'occasion de la réception à Porrentruy en 1838, de la Société paléontologique de France. Cette rencontre lui a permis de donner à Louis Agassiz l'occasion de présenter pour la première fois au monde scientifique sa théorie glaciaire[1], théorie qui lui a ouvert la célébrité et l'a conduit à faire carrière aux Etats-Unis.

1 : Jules Thurmann : Rapport fait à la Société jurassienne d'Emulation sur l'organisation et les accroissements du cabinet de minéralogie du collège de Porrentruy, 1854

*Charles Contejean, 1824-1907*



*Auguste Quiquerez , 1803-1883*

*Jean-Baptiste Greppin, 1819-1883*

A noter que l'ouvrage paléontologique fondamental de Thurmann *Lethea bruntrutana*, a été édité en 1859, à titre posthume, par A. Etallon, géologue de Gray, ville dans laquelle les remarquables lithographies de l'ouvrage ont été tirées.

Puisque nous évoquons Louis Agassiz, d'origine fribourgeoise et le neuchâtelois Edmond Desor, c'est le moment de parler ici du troisième pôle du triangle Porrentruy-Neuchâtel-Soleure, triangle dans lequel s'est construite la géologie régionale.

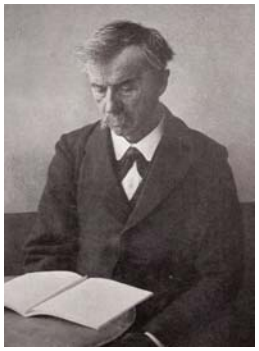
Nous voulons parler d'Amanz Gressly qui assurait par ses voyages permanents le relais entre les trois villes. Elève de Thurmann et dès 1836, collaborateur d'Agassiz, Gressly a construit un relief orographique jurassien, contribué à l'installation des musées de Soleure et Neuchâtel, littéralement inventé la notion de faciès et surtout dressé une carte géologique remarquée à son époque. Expert géologue pour la construction des tunnels ferroviaires à travers le Jura (1853-1862), ses prévisions sur la structure interne des montagnes sont confirmées lors des percements, en particulier celui du Hauenstein et, bien après son décès, lors du percement du tunnel de Granges par Buxtorf & Trösch en 1912-1915. Les recherches de Gressly sont publiées en bonne partie par Edouard Desor, devenu son protecteur après le départ d'Agassiz pour l'Amérique.

Botaniste et géologue de Montbéliard, Charles Contejean (1824-1907) est correspondant de Thurmann et poursuit l'étude des terrains jurassiques notamment en France voisine. En 1859, son *Etude de l'étage kimméridgien dans les environs de Montbéliard et dans le Jura, la France et l'Angleterre* ne passe pas inaperçue, de même que ses *Eléments de géologie et paléontologie* publiés en 1874.

Jean-Baptiste Greppin, médecin originaire de Courfaivre, ami de Thurmann et Gressly, s'est illustré par ses travaux publiés dans *Description géologique du Jura bernois*, accompagné de la feuille XII de l'Atlas fédéral colorié géologiquement (1870). Il est aussi le pionnier de l'étude des couches tertiaires de la vallée de Delémont, couches qui révéleront leurs richesses à la fin du 20e siècle.

Cette première vague de géologues remarquables ne saurait être complète sans qu'on y ajoute un correspondant épistolaire de Thurmann & Gressly. Il s'agit d'Auguste Quiquerez, savant distingué puisqu'il fut ingénieur des mines à Delémont, région où les couches ferrugineuses ont été exploitées jusqu'à la seconde guerre mondiale. Cet érudit éclectique fut, parallèlement à son activité professionnelle le pionnier qui a vraiment assis l'archéologie régionale et fait toujours référence par les inventaires qu'il a établis.

***Paul Choffat , 1849-1919***



***Frédéric-Louis Koby, 1854-1931***

***Perceval de Loriol, 1828-1908***

***Louis Rollier, 1859-1931***

Paul Choffat, avec Louis-Frédéric Koby représentent la génération suivante qui s'est illustrée dans les sciences de la terre.
Né à Porrentruy, après sa formation à l'Ecole polytechnique de Zürich, Paul Choffat quitte la Suisse et entre au Service géologique du Portugal où il œuvre durant 40 ans. Cartes du Portugal mais aussi de l'Angola, étude des traces du tremblement de terre de Lisbonne, survenu en 1777, *Etude géologique du Tunnel du Rocio* (1889), *Aperçu de la géologie du Portugal* (1900) sont autant de publications qui ont émaillé son activité scientifique.

Louis-Frédéric Koby, digne successeur de Thurmann dans les établissements de formation de Porrentruy, s'est intéressé à la paléontologie et plus particulièrement à un groupe animal peu connu au début de ses travaux : les coraux du Jurassique. C'est ainsi qu'il prospecte les sites de Saint-Ursanne et décrit plus de 500 espèces nouvelles, fleurons des collections du Musée jurassien des sciences naturelles de Porrentruy. Reconnu dans le monde entier dans sa spécialité, il effectue de nombreuses publications et sa collaboration avec Choffat et Perceval de Loriol lui a permis d'intégrer les problèmes de stratigraphie à ses études paléontologiques.

F.-J. Pictet de la Rive faisait paraître de concert avec ses étudiants, ses *Matériaux pour la Paléontologie de la Suisse*. En 1858, en collaboration avec son maître, paraît sa première étude, *Monographie de la faune des calcaires néocomiens des Voirons*. Impliqué dès lors dans ces recherches, Perceval de Loriol, poursuivit ses travaux dans cette voie, publiant à peu près chaque année une description faunistique importante. En même temps, il collaborait avec Pellat, Tombeck, Cotteau à la *Description faunistique des étages supérieurs du Jurassique du N.-E. de la France*. Toute sa vie fut consacrée à ce genre d'études et il étendit ses travaux aux formations du Jura, Kimméridgien, Séquanien et Oxfordien.

Louis Rollier, originaire de Nods, élève de Koby avant de devenir professeur au Polytechnicum fédéral de Zürich a, quant à lui, publié *Les faciès du Malm jurassien* en 1888 et réalisé deux cartes géologiques régionales, l'une au 1:100'000 et l'autre au 1:25'000. C'est à cette même époque que paraît son monumental ouvrage intitulé *Structure et histoire géologique du Jura central* ainsi que d'autres recherches telles que *Etude stratigraphique sur les terrains tertiaires du Jura* ou encore *Composition et extension du terrain rauracien dans le Jura.*

La création du réseau de chemin de fer ainsi que la prospection par forages, à Buix en 1917, a permis une confrontation éclatante entre les spéculations sur la structure du sous-sol jurassien et la réalité du terrain, asseyant définitivement la fiabilité de la science géologique.

Au 20e siècle, c'est surtout l'exploration du Jura souterrain qui préoccupe divers scientifiques. Karst et grottes font l'objet de nombreuses observations : Albert Perrone, Lucien Lièvre, Edmond Guéniat, Frédéric-Edouard Koby, puis les membres intrépides de la Société jurassienne de spéléologie vont dresser plans et inventaires.

A la fin du siècle, la géologie va reprendre un essor certain grâce aux études conduites à l'occasion de la construction de l'autoroute A16 qui traversera les chaînes jurassiennes, du Plateau suisse à la France. Dès les années quatre-vingt, plusieurs bureaux de géologues entreprennent études de terrain et sondages en vue de la réalisation des tunnels et des ouvrages d'art qui parsèment le parcours.

La paléontologie jurassienne, elle, est surtout le fait d'amateurs provenant du Jura et des cantons voisins, Bâle et Berne, et dont les collections, parfois d'une richesse remarquable, ont permis des échanges qui les ont conduits à la création de la Fondation paléontologique jurassienne. Aujourd'hui forte d'une douzaine d'amateurs avertis, elle continue ses investigations sur la totalité du territoire.
Dès 2000, institutionnalisant, au vu de l'intérêt scientifique qu'elles présentaient, les prospections et les fouilles effectuées par cette fondation, l'Office fédéral des routes (OFROU) a accepté de prendre en charge un suivi géologique de la construction de l'autoroute A16, à la manière des suivis archéologiques habituels dans ce genre de constructions. A noter que c'est la première fois en Europe qu'un état assume une telle tâche.
C'est ainsi que la Section paléontologique a vu le jour et que des sites remarquables recelant des traces de dinosaures jurassiques, des faunes et flores tertiaires jusqu'à un riche bestiaire pléistocène ont pu être découverts et étudiés dans le canton du Jura. La chance a donc souri à une belle brochette de jeunes scientifiques qui conduisent actuellement fouilles et travaux liés à la construction de l'autoroute.

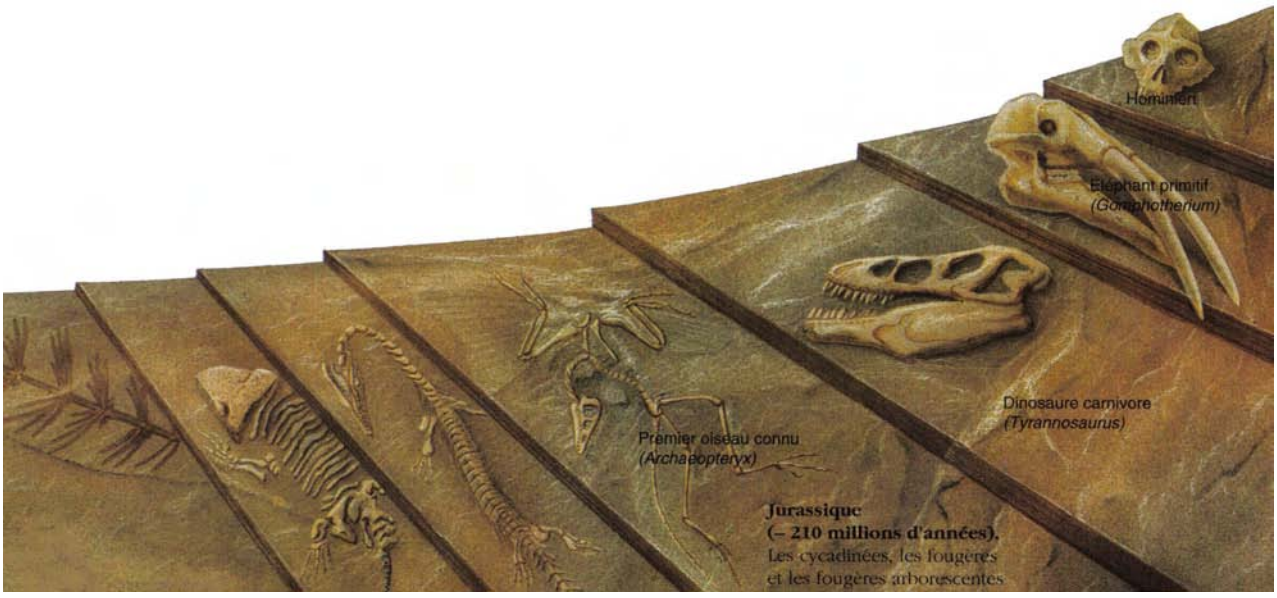
Les richesses de notre sous-sol, stimulant une nouvelle génération de chercheurs, laissent présager d'un bel avenir pour la géologie et la paléontologie jurassienne.

2

# Histoire géologique du Jura

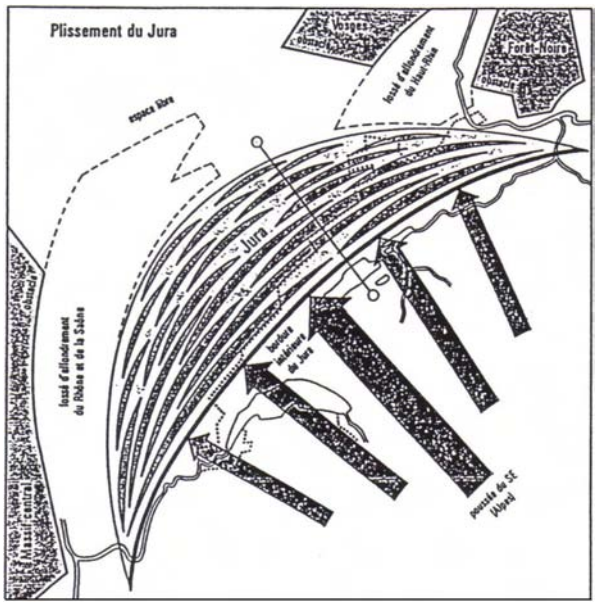
## Première phase : dépôt des sédiments

Les mers ont recouvert notre région dès le *Trias*, il y a 230 millions d'années, et durant une bonne partie de l'ère Secondaire, jusqu'à la fin du *Jurassique*. Durant toute cette période, les sédiments se sont accumulés en couches superposées sur près de mille mètres d'épaisseur.
Le *Crétacé*, dernière époque du Secondaire, voit chez nous une période d'émergence avant qu'une nouvelle transgression marine ne survienne au Tertiaire.
La ***stratigraphie*** régionale reflète donc cette longue histoire, au cours de laquelle les faunes successives ont été conservées comme fossiles-témoins.

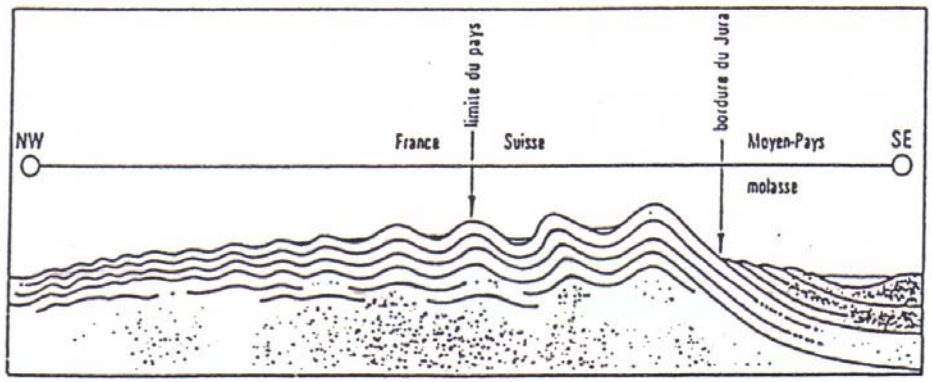



## Deuxième phase : le plissement

Au cours du tertiaire, la ***tectonique des plaques*** engendre la collision de l'Afrique avec la plaque indo-européenne. Ceci a pour conséquence la *formation des Alpes* qui, à leur tour, par la poussée qu'elles engendrent vers le Nord-ouest, sont responsables du plissement des couches sédimentaires dans le Jura.
Au Miocène, il y a de cela environ 10 millions d'années, le plissement du Jura atteint son apogée, mais il semble qu'il continue d'agir encore de nos jours.




*Coupe montrant la situation des plissements par rapport au Moyen-Pays molassique*




***Butant sur les massifs granitiques des Vosges et de la Forêt noire, le substratum jurassien se plisse à la manière d'une nappe poussée à deux mains sur une table lisse et qui serait retenue par deux dictionnaires.***

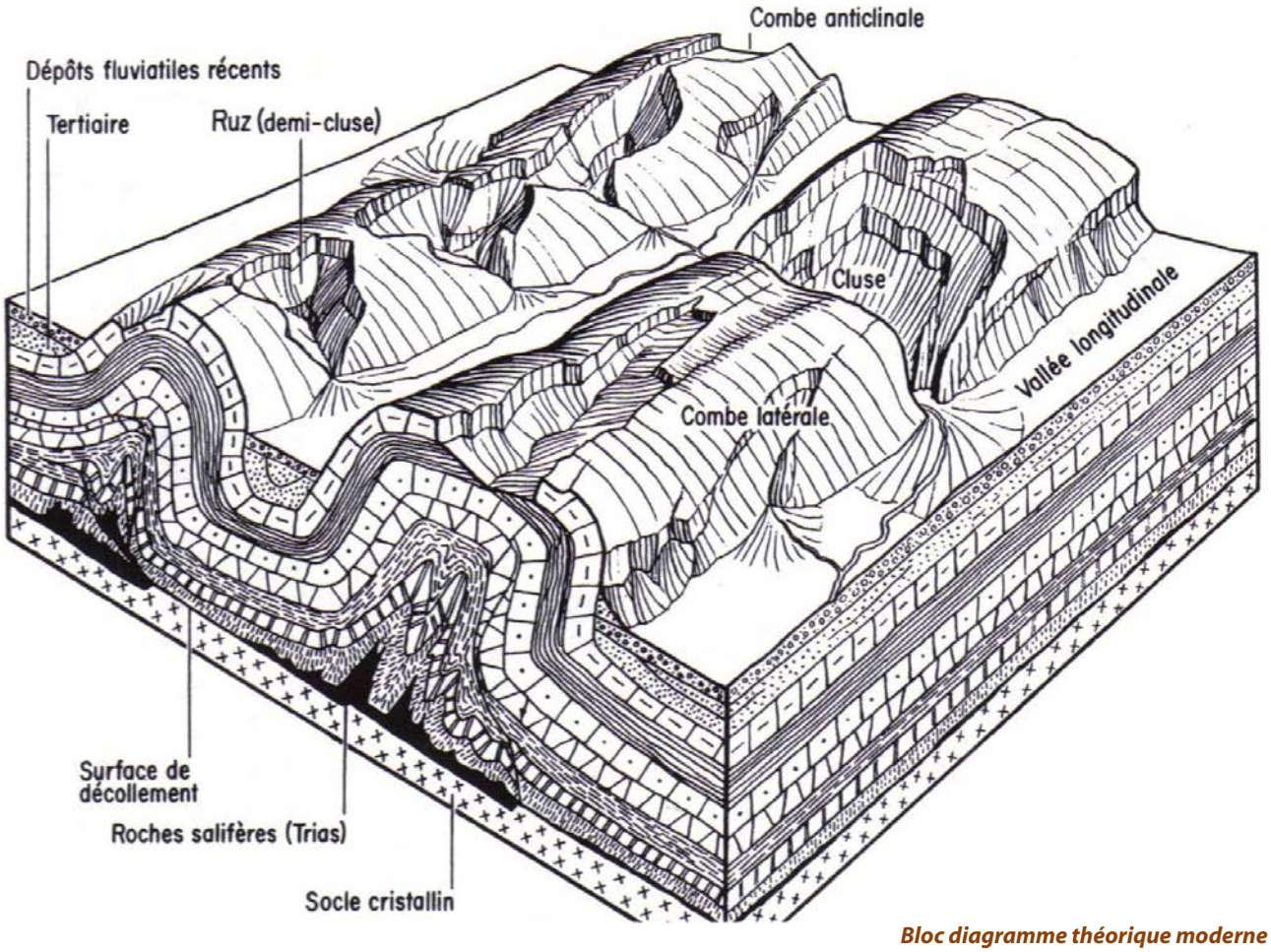
3

# Jura plissé

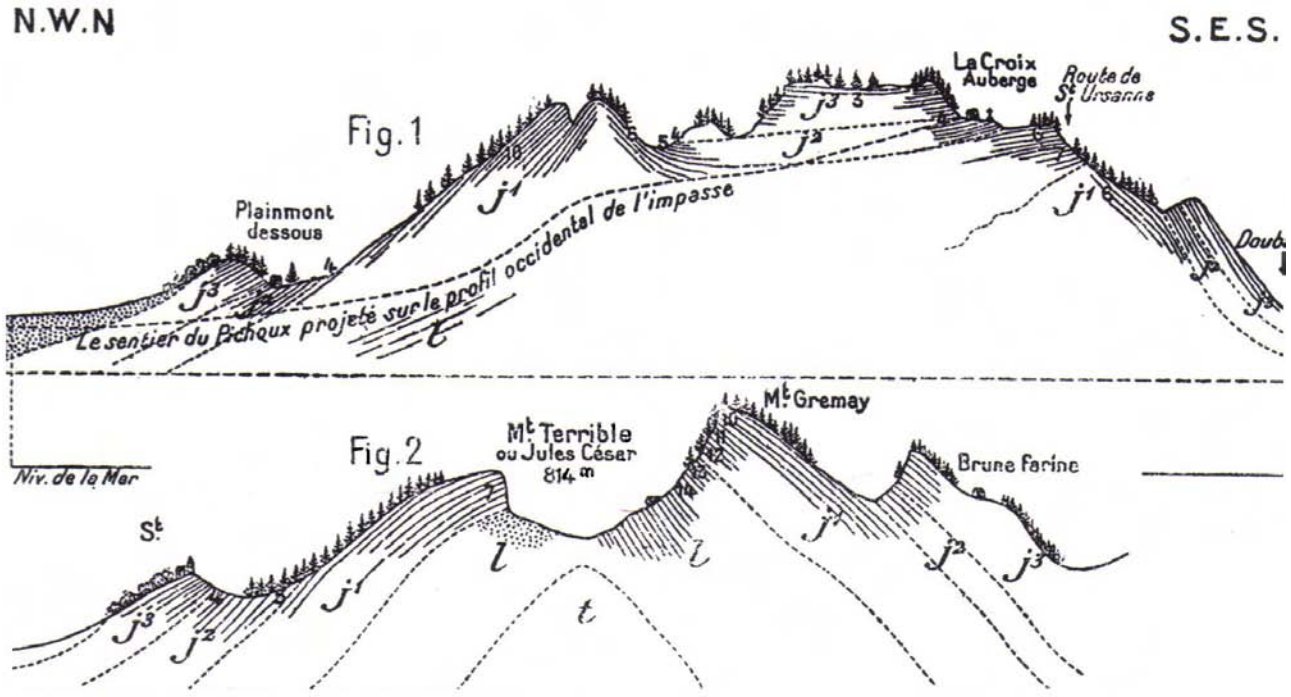
## Structure et morphologie

Partout où les recouvrements tertiaires et quaternaires sont érodés, le sous-sol jurassique affleure. Ainsi, dans les synclinaux (vallées), les crêts et les arêtes des cluses on trouve le MALM appelé anciennement JURA BLANC.
Les anticlinaux (chaînes) décapés laissent apparaître le DOGGER ou JURA BRUN, alors que leur cœur de LIAS constitue le JURA NOIR.
Les teintes qui caractérisent ces étages sont dues à la présence d'impuretés (oxydes de métaux) qui colorent les couches en gris, brun, roux ou jaune, le calcaire très pur étant blanc.

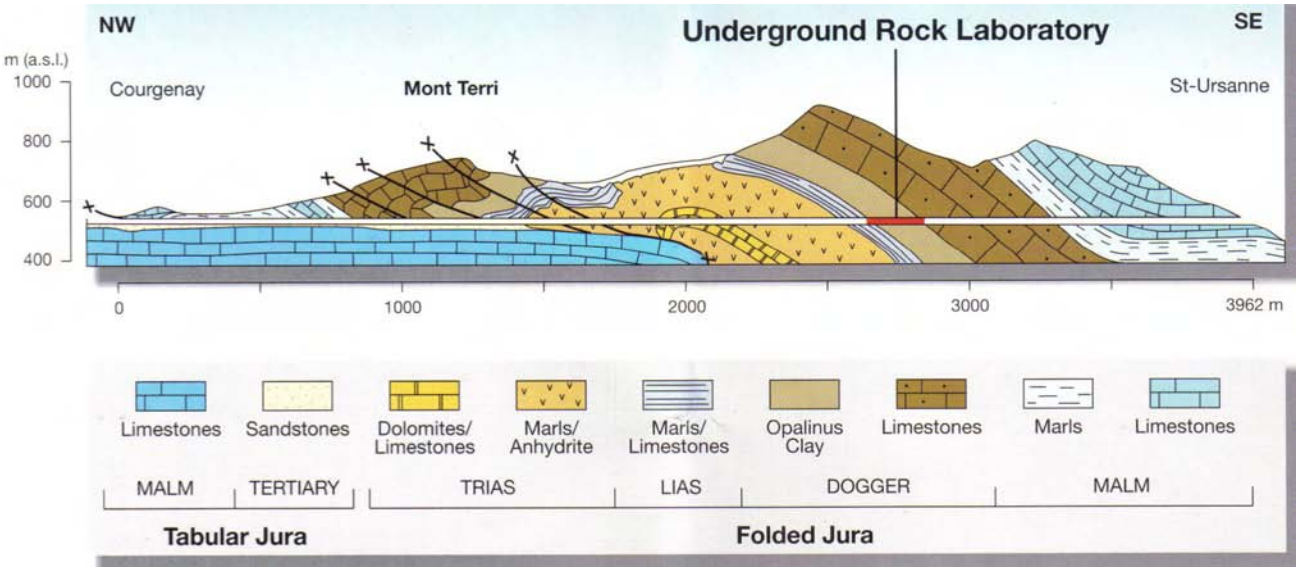
Déjà en 1836, Thurmann avait fait des relevés lui permettant de comprendre la structure des plissements jurassiens et d'élaborer une théorie sur leur formation.




*Bloc diagramme théorique moderne*



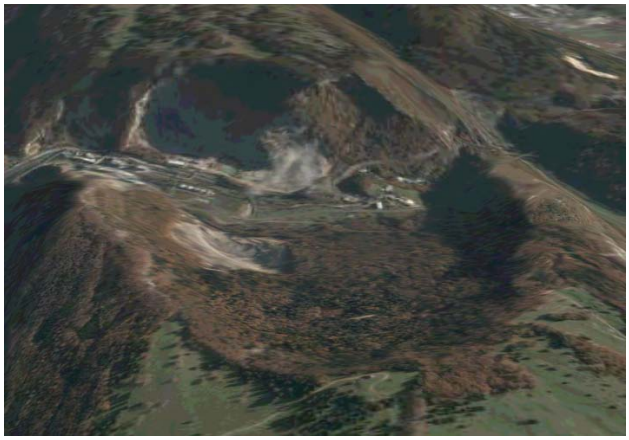

*Coupes du Mont-Terri. En haut: représentations anciennes (tirées des travaux de Jules Thurmann). En-bas: géologie révélée par le percement du tunnel.*



## Géomorphologie des plissements jurassiens

Typiques du Jura plissé, les anticlinaux arrondis sont coupés par des cluses où apparaissent les crêts de Malm très résistants.

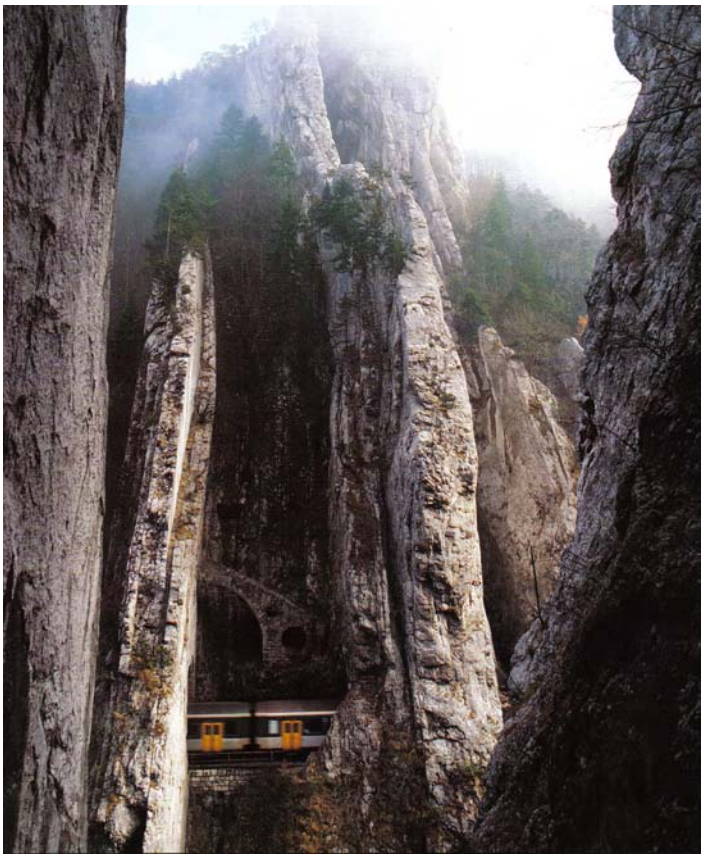
*Boucle du Doubs à St-Ursanne et cluse de Choindez*



*Cluses de Moutier et du Taubenloch (Bienne)*

*Roches horizontales kimméridgiennes formant le toit de l'anticlinal du Pichoux*

*Empilement des calcaires jurassiques (Gorges du Pichoux)*



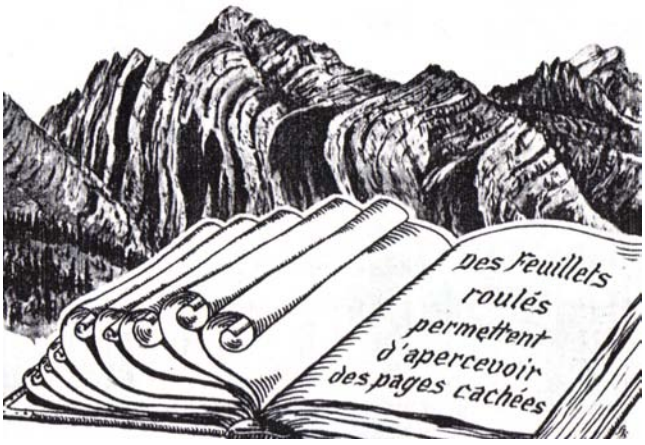
*Crêts du Malm redressés verticalement (Gorges de Moutier)*

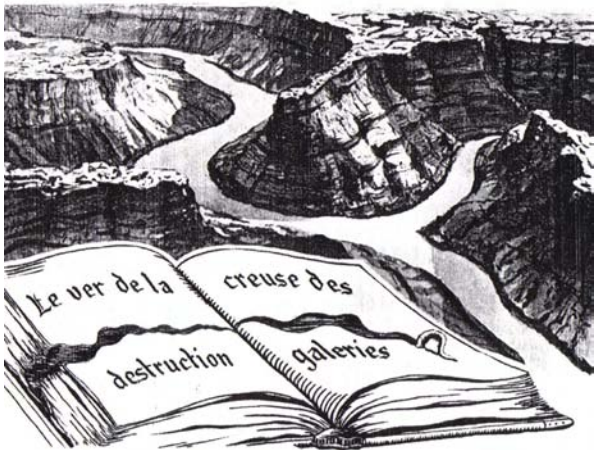
4

# Stratigraphie et couches géologiques

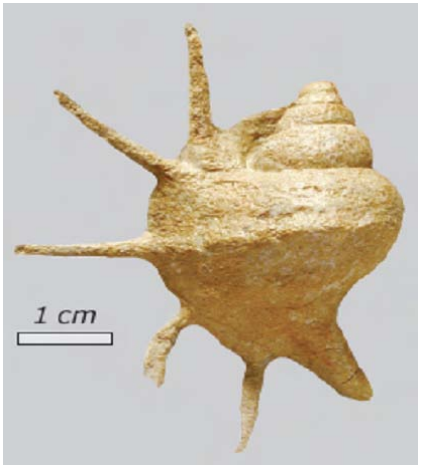
Le dépôt en couches superposées ressemble aux pages d'un livre qui aurait gardé les archives des temps géologiques. Les aléas tectoniques et l'érosion permettent d'entrevoir les bribes qui permettent aux géologues d'interpréter les épisodes passés.

Dès le XVIII[e] siècle, les géologues anglais, en particulier James Hutton et Charles Lyell, ont compris que l'empilement des couches permettait d'établir une chronologie basée sur la stratigraphie.
De plus, des faunes spécifiques sont associées à chacune des strates, fournissant des fossiles caractéristiques. De cette façon, une datation relative des couches peut être effectuée **(du plus vieux au plus jeune).**



Porrentruy est devenue, grâce aux publications de Jules Thurmann (1804-1855), le lieu d'origine des **Marnes à Ptérocères du Banné**. Encore aujourd'hui, cette couche porte ce nom dans la littérature géologique.



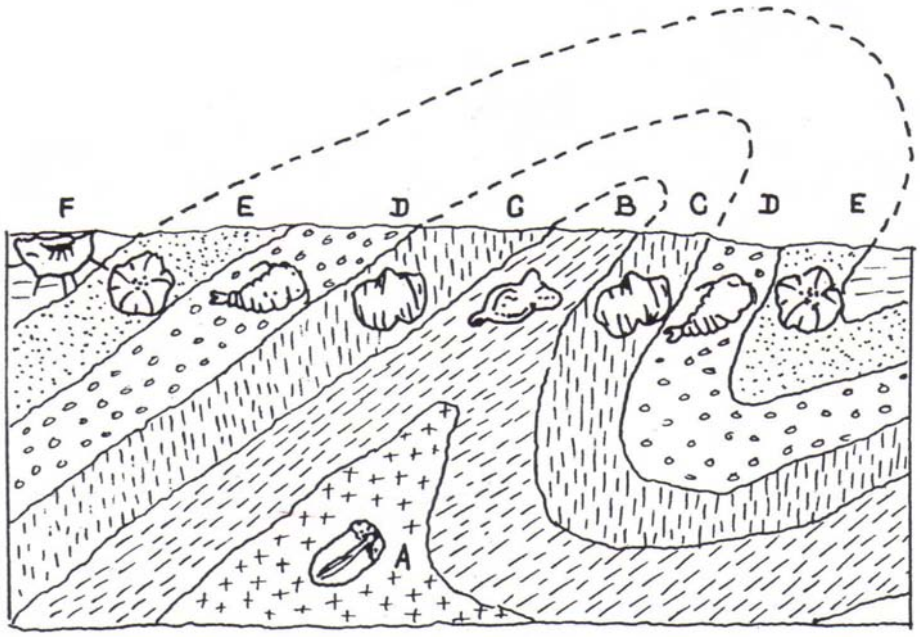

*Le ptérocère (Harpagodes oceani) est le gastéropode caractéristique de cette couche du Kimméridgien.*

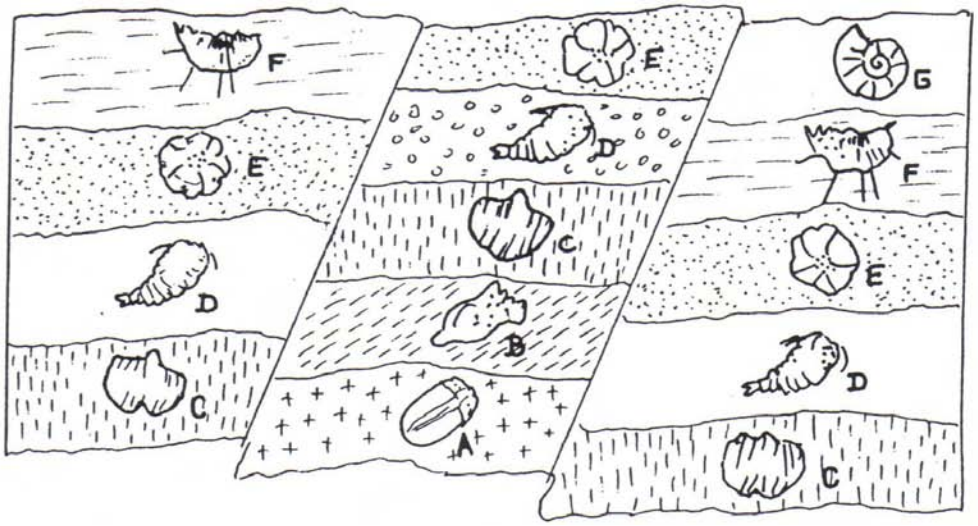
Les notions scientifiques concernant la stratigraphie ont été établie au XVII[e] siècle par Nicola Sténon à la suite des premières idées émises un siècle plus tôt par Léonard de Vinci.
L'étude de la succession des couches ou des formations rocheuses d'une région permet de reconstruire les événements géologiques. Par exemple, la nature des roches sédimentaires nous informe sur le milieu de sédimentation et comment cet environnement a évolué dans le temps. En outre, la stratigraphie permet d'établir une chronologie relative des terrains par l'application des principes suivants:
**1. Le principe de continuité** selon lequel une même couche a le même âge sur toute son étendue.
**2. Le principe de superposition**, selon lequel, dans les terrains non-déformés, les formations les plus profondes sont les plus anciennes (par convention **A)** et les formations les plus superficielles sont les plus jeunes (par convention **D**). C'est la façon d'exprimer l'**âge relatif**. L'âge absolu s'exprime en nombre d'année, ce sont les datations effectuées grâce aux radio-éléments (ex: 400 Ma ou Ordovicien).
**3. Le principe d'horizontalité** selon lequel les couches sédimentaires sont déposées à l'origine plus ou moins horizontalement. Une séquence sédimentaire qui n'est pas en position horizontale a donc vraisemblablement subi des déformations ultérieurement à son dépôt.
**4. Le principe de recoupement** selon lequel les couches sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recoupent.
**5. Le principe d'inclusion** selon lequel les morceaux de roche inclus dans une autre couche sont plus anciens que leur contenant.
À certains endroits dans une série sédimentaire l'information fait défaut; soit que les roches ont disparu suite à l'érosion, soit que la sédimentation se soit interrompue. Ces absences d'information correspondent à des intervalles de temps dans la succession des événements géologiques. Ces manques peuvent être restreints et ne toucher qu'une localité (**lacune**), ou peuvent s'étendre à toute une région (**discordance**).

## Stratigraphie jurassienne

Les couches géologiques, dans le Jura plissé, sont malmenées et sont rarement horizontales comme c'est le cas dans le Jura tabulaire, en Ajoie particulièrement.

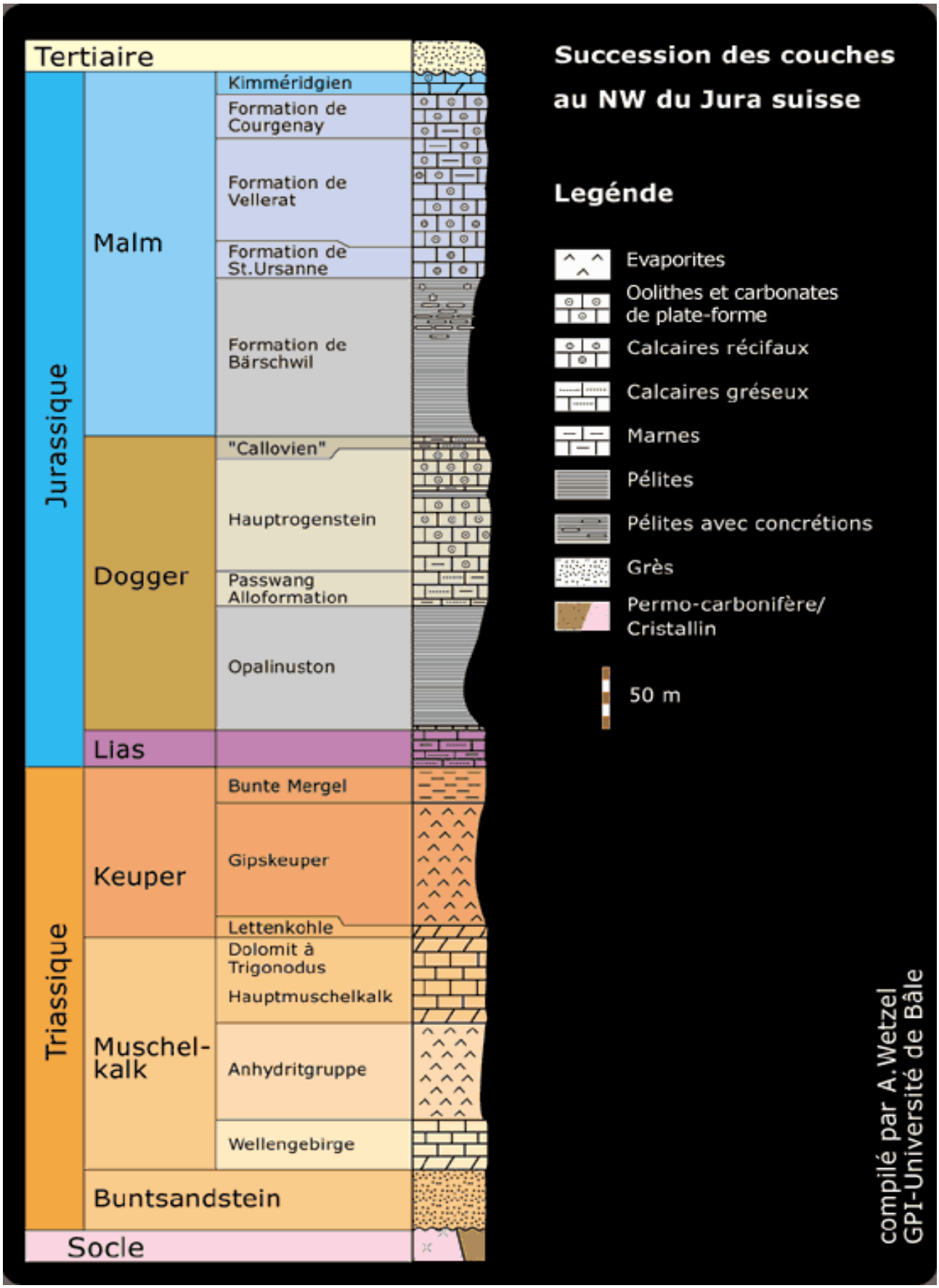
De plus, les dislocations et l'érosion ont occasionné des décalages de couches qui peuvent être remises en connexion grâce à leurs fossiles caractéristiques.




FOSSILES DES DIAGRAMMES
A Trilobite cambrien
B Crinoïde ordovicien
C Brachiopode silurien
D Euryptéridé dévonien
E Blastoïde carbonifère
F Brachiopode permien
G Ammonite triasique

***Stratigraphie régionale***



5

# Cycle du calcaire et morphologie karstique

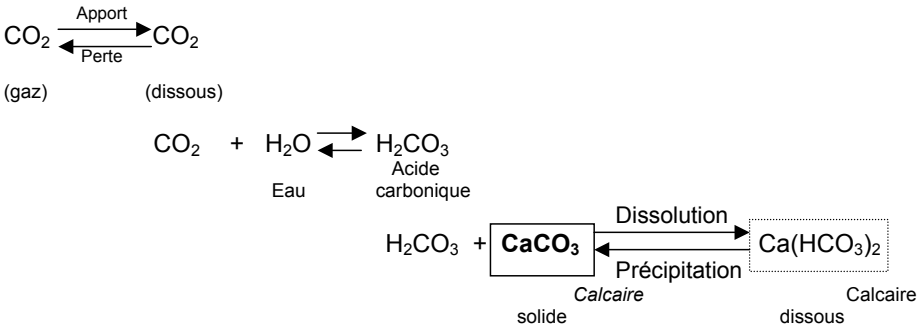
## Le cycle du calcaire - Dissolution/concrétion

Bien qu'insoluble dans l'eau, sous l'effet de *l'acide carbonique*, le calcaire se transforme en *bicarbonate de calcium* ($Ca(HCO_3)_2$). Celui-ci est soluble et peut ainsi être transporté par l'eau, engendrant sa dureté.

## Formation et action de l'acide carbonique ($H_2CO_3$)

Il résulte de la combinaison de l'eau et du gaz carbonique. Le gaz carbonique provient de la combustion ou de la fermentation, mais aussi de la respiration animale et végétale qui s'effectue avec intensité dans l'humus. Ceci explique l'acidité de l'eau qui traverse le sol avant de s'infiltrer, élargissant ainsi par dissolution les failles et creusant cours souterrains, grottes ou autres formes karstiques. Les traces de cette dissolution se retrouvent dans les pierres de rocailles ou les lapiez.
Quand le gaz carbonique est retiré, c'est le phénomène inverse qui se produit et le *carbonate de calcium* ($CaCO_3$) se dépose sous diverses formes de concrétions.

## Le cycle du calcaire




En résumé :

Apport de $CO_2$ : l'équilibre se déplace vers la droite
Perte de $CO_2$ : l'équilibre se déplace vers la gauche

| **Cause des pertes de $CO_2$** | Lieux | Types de dépôts |
|---|---|---|
| - agitation de l'eau<br>- prélèvements végétaux (mousses incrustantes)<br>- augmentation de température<br>- chute de pression | cascades, tourbillons<br>ruisseaux, cascades<br>source, tuyauterie, etc<br>émergences à l'air | couches fines de colmatage<br>formation de travertin<br>tartre<br>stalagmites, stalactites,<br>concrétions de grottes |

## Dureté de l'eau

Elle est due à la présence de sels de calcium en solution :

- bicarbonate de calcium Ca $(HCO_3)_2$ : dureté influençable
- sulfate de calcium (gypse) $CaSO_4$ : dureté permanente

La dureté se mesure en degrés français ou allemands :

- Degré français = 10 mg de $CaCO_3$ par litre
- Degré allemand = 10 mg de CaO par litre

**Eau de Porrentruy :** 28° français, soit 280 mg $CaCO_3$ / litre ->
**qualification :** eau assez dure

## Le karst

### La morphologie karstique

On nomme *karst*, du nom de la région de Croatie qui lui a donné son nom, l'ensemble des formes géomorphologiques produites par l'action de l'eau dans un paysage calcaire. Le climat a une grande influence sur la morphologie de nos paysages.

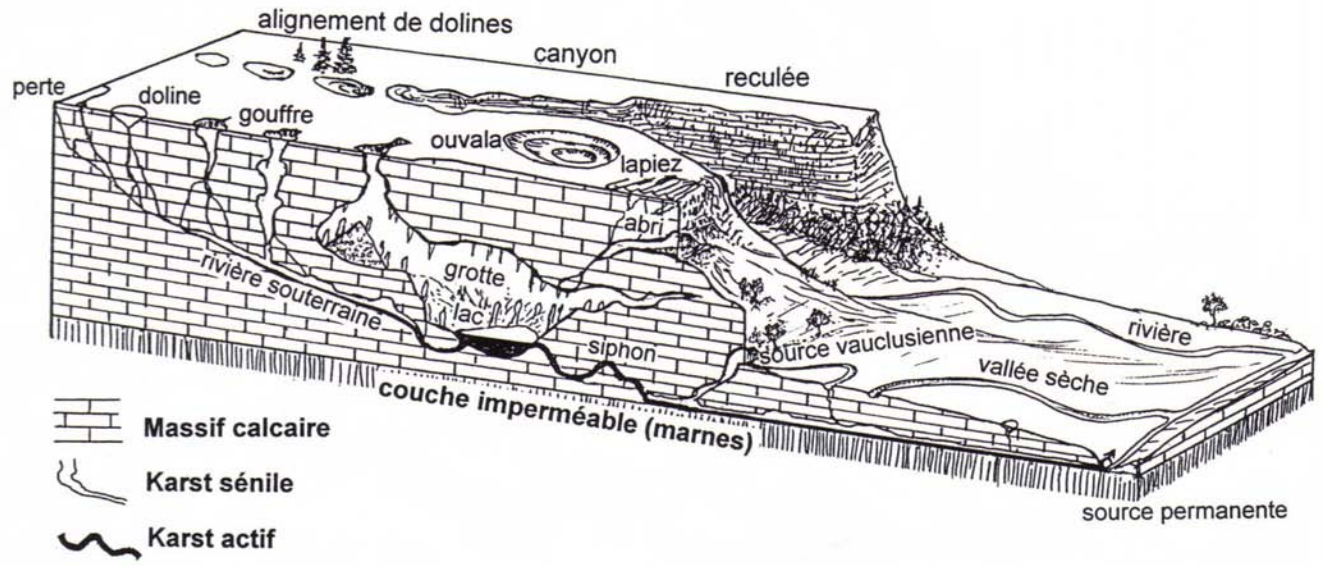
En superficie ou en sous-sol la pluviosité joue un rôle essentiel, car l'eau qui dissout le calcaire, s'insinue dans toutes les fissures. Ainsi les bancs de calcaires, plissés et faillés par la tectonique s'offrent à l'action de l'érosion.

Notre région qui subit son action depuis de nombreux millions d'années, présente ces éléments morphologiques de manière remarquable, que ce soit dans le Jura plissé ou dans le Jura tabulaire.

Réclère, Milandres, le Trou et la vallée sèche du Creugenat, le gouffre de Lajoux, la Rouge-Eau, les cluses du Pichoux, de Moutier et de Choindez ne sont que quelques exemples de hauts lieux karstiques de la région.

En effet, on rencontrera les lapiez, les gouffres, les dolines ou emposieux, les effondrements, les canyons, les abris sous roches, les grottes, les vallées sèches, les lacs et rivières souterraines, les résurgences (sources vauclusiennes) et les cours superficiels temporaires en effectuant quelques kilomètres dans nos campagnes.

**Bloc diagramme d'un paysage jurassien théorique**




Dessin J. Chalverat

| ***Eléments du paysage karstique :*** | ***Exemples :*** |
|---|---|
| Perte | Rouge-eau |
| Doline = emposieux | Franches-Montagnes, Ajoie |
| Gouffre = Aven | Lajoux, Fréteux, |
| Canyon | La Motte |
| Reculée | Baume-les–Dames |
| Lapiez | Grandfontaine, Marchairuz |
| Abri sous-roche | Châtillon, Calbri |
| Grotte | Réclère, Milandres, Orbe |
| Source vauclusienne | Vaucluse, Creugenat |
| Source issue d'un cours souterrain | Porrentruy : La Beuchire |
| Vallée sèche / à cours temporaire | Creugenat, Combe Vatelin |
| Rivière souterraine | Ajoulote, Milandrine |
| Lac souterrain | Réclère, St-Léonard |
| Formation de travertins | Courfaivre, Gorges de Moutier |

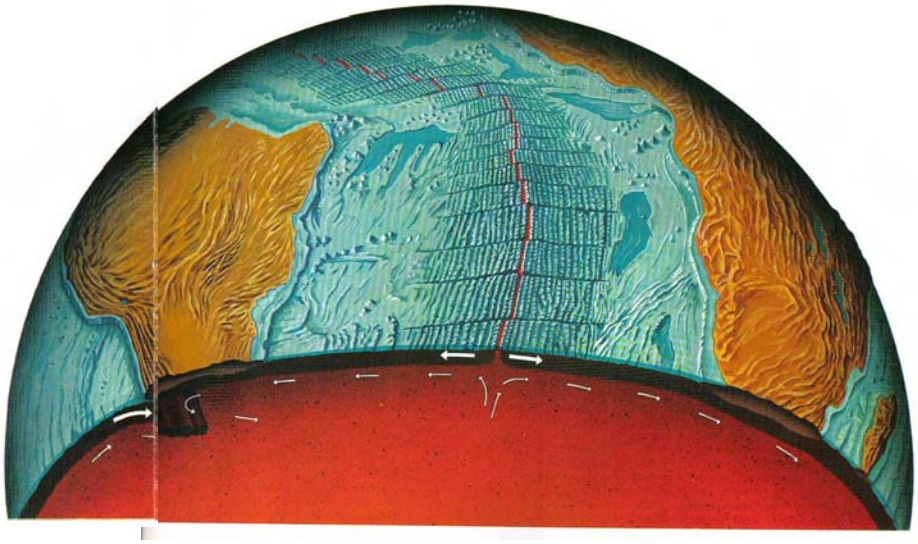
6

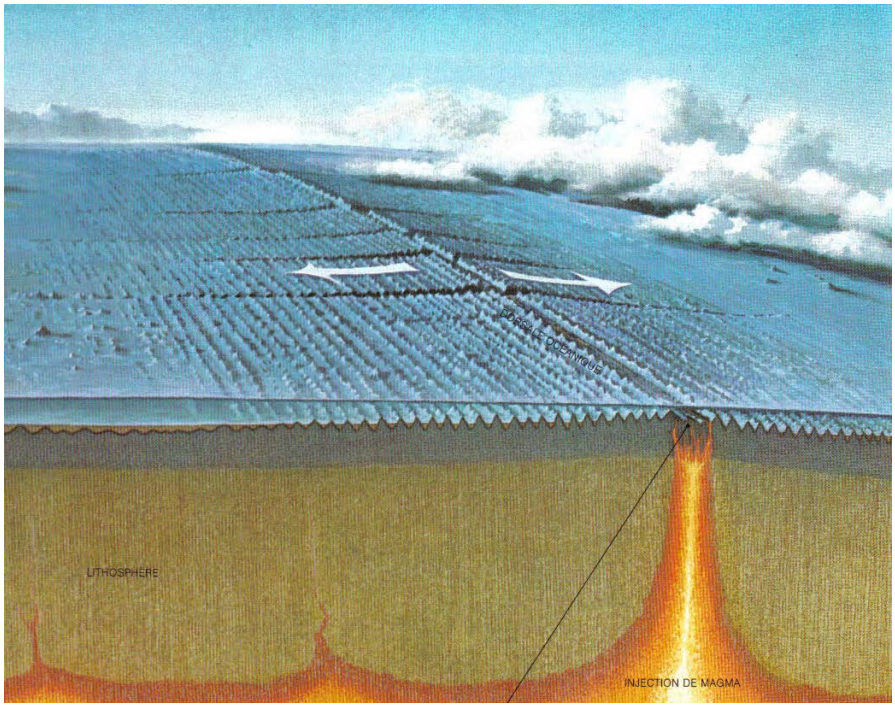
# La tectonique des plaques

Cette théorie, élaborée au cours de années 1960, a vu sa confirmation au cours de recherches sous-marines conduites dans l'Océan atlantique par Xavier le Pichon.
Cette branche des sciences de la terre confirme les intuitions de Wegener et permet d'expliquer la fragmentation de la Pangée tout autant que la répartition du volcanisme et l'érection des grandes chaînes de montagnes.

***Moteur de la tectonique des plaques***

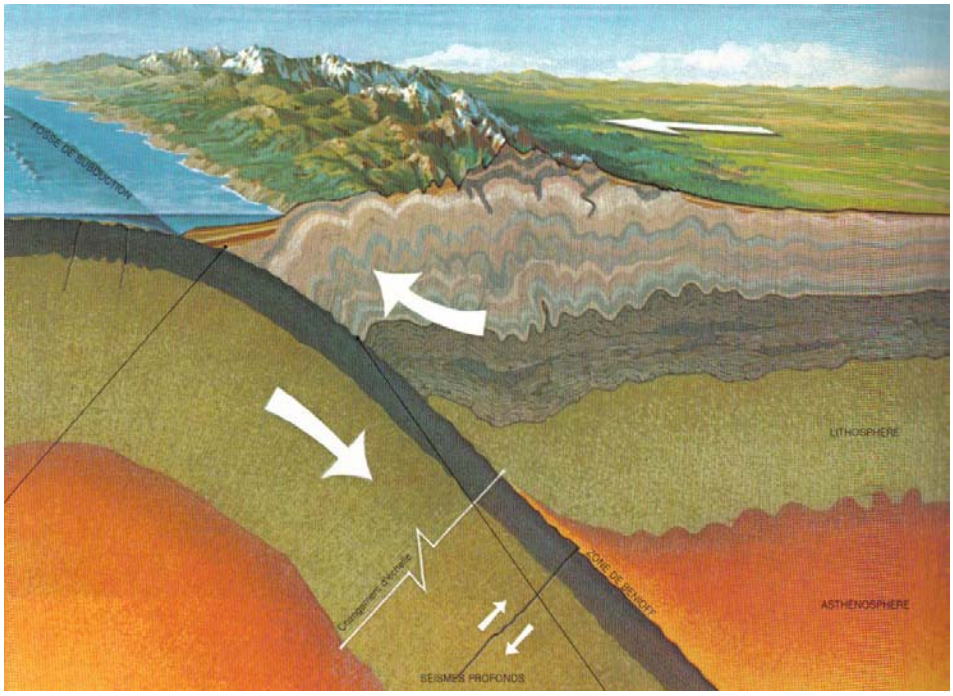
*Les fractures, par afflux de magma s'élargissent en écartant les continents. Dans les zones de subduction par contre, les planchers océaniques s'enfoncent en profondeur. Là, ils fondent et se transforment en magma.*





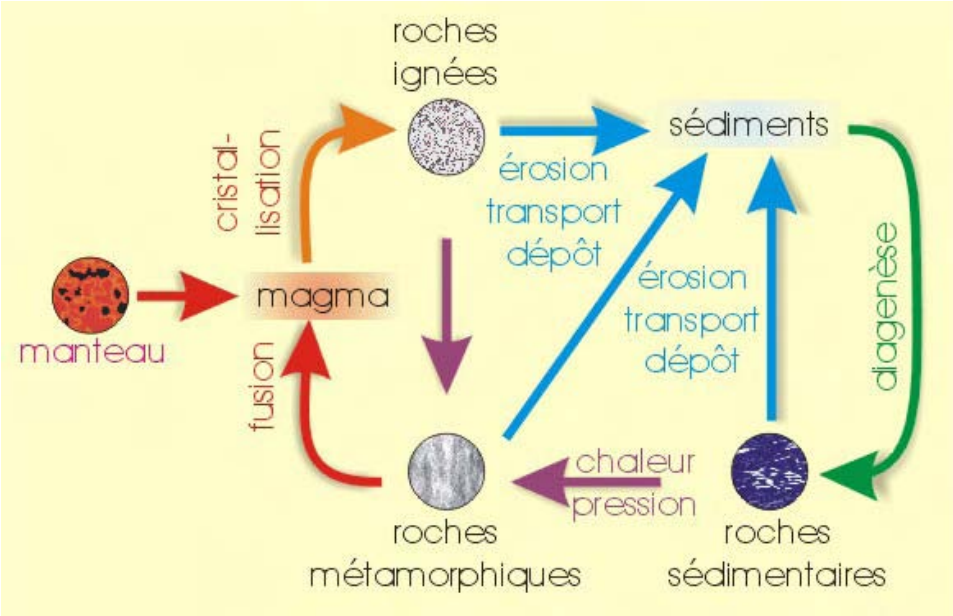

***Dorsales médio-océaniques et zones de subduction***

*Formation d'une dorsale médio-océanique par afflux continu de magma dans une fracture de l'écorce terrestre*




### *La subduction*

*Si de nouveaux planchers océaniques se forment au niveau des dorsales, d'autres doivent nécessairement disparaître car la terre n'augmente pas de volume.*
*Ce phénomène se déroule dans les zones de subduction.*
*Là, le plancher océanique s'enfonce par-dessous un continent provoquant l'érection de chaînes de montagnes ou de volcans (Andes). En profondeur, il se transforme à nouveau en magma.*




### *Cycle géochimique des roches*

*Etapes du cycle géologique impliquant les processus sédimentaires.*

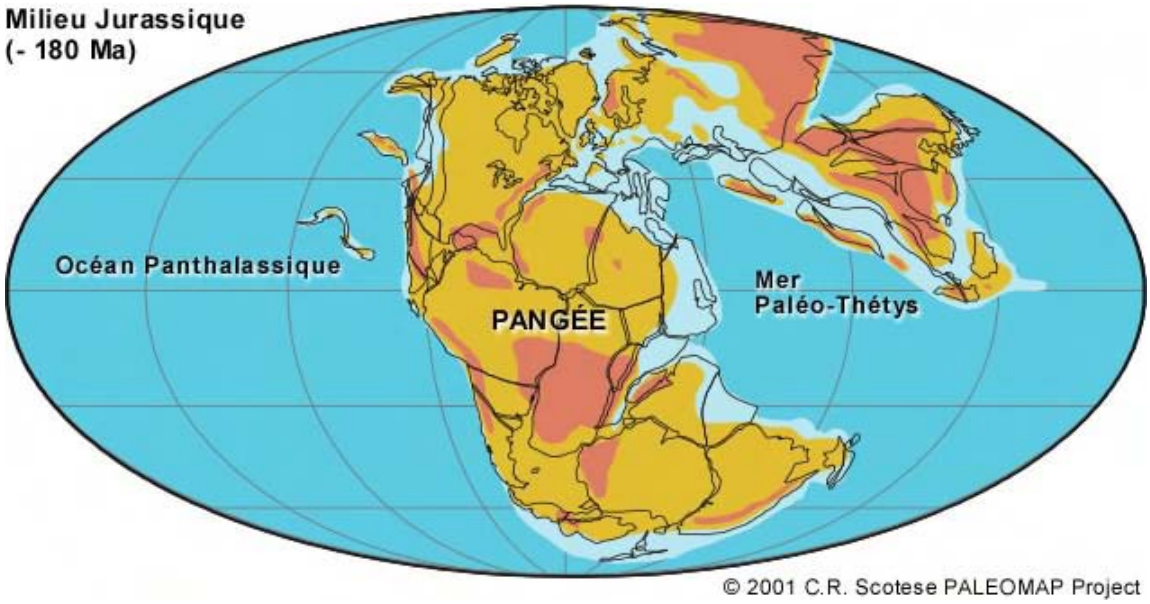
7

# Fragmentation de la Pangée

## Le démembrement de la Pangée : du Jurassique à nos jours

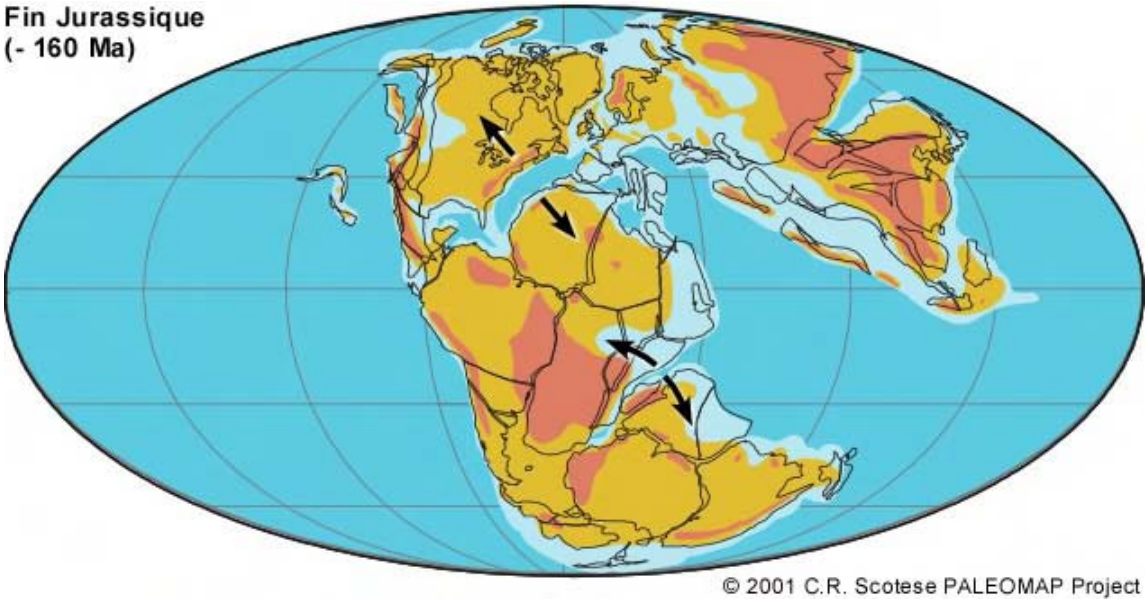
| | | |
|---|---|---|
| CÉNOZOÏQUE | QUATERNAIRE | Holocène (récent)<br>Pléistocène<br>1,6 |
| | TERTIAIRE | 5,3 — Pliocène<br>23,7 — Miocène<br>36,8 — Oligocène<br>57,8 — Éocène<br>Paléocène<br>66,4 |
| MÉSOZOÏQUE (Secondaire) | CRÉTACÉ | 144 |
| | JURASSIQUE | 208 |
| | TRIAS | 245 |
| | PERMIEN | |

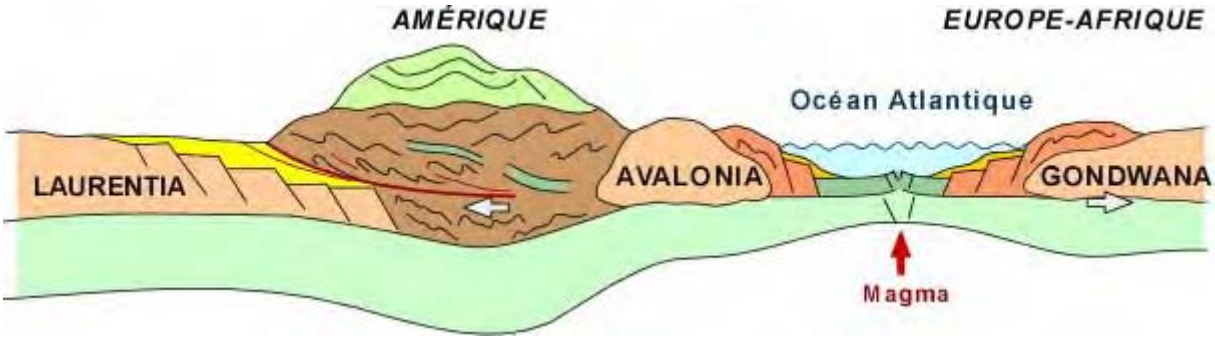
Il aura fallu plus de 200 Ma pour rassembler tous les morceaux de la Pangée, soit de l'Ordovicien au Permien. Il en faudra 200 autres, soit de la fin du Trias à aujourd'hui, pour disperser les morceaux de la Pangée, une dispersion qui se poursuit toujours. Puisque ces événements sont les plus près de nous, en temps, nous avons des détails plus précis, surtout qu'en plus, cette fois, nous connaissons les planchers océaniques.
Au Trias et au début du Jurassique, les principaux mouvements se sont faits du côté de la Téthys, un océan à l'est de la Pangée.



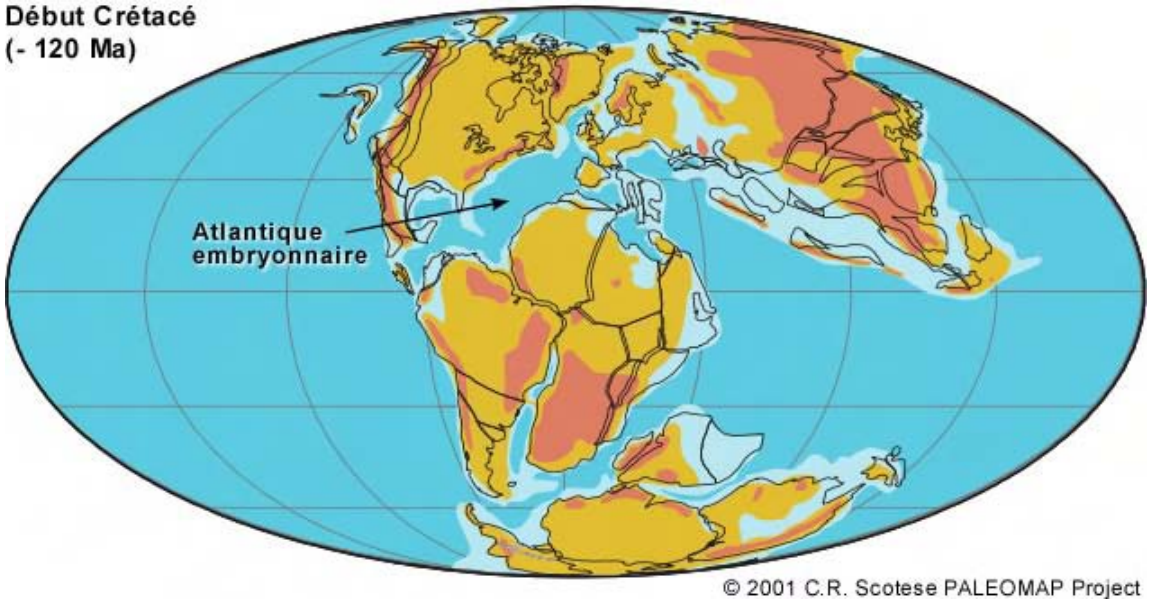

© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

La fragmentation de la Pangée a commencé fin-Trias/début-Jurassique, mais c'est vers la fin du Jurassique, il y a **160 Ma**, que la fragmentation est devenue plus évidente et qu'elle a commencé à individualiser les masses continentales que nous connaissons aujourd'hui.

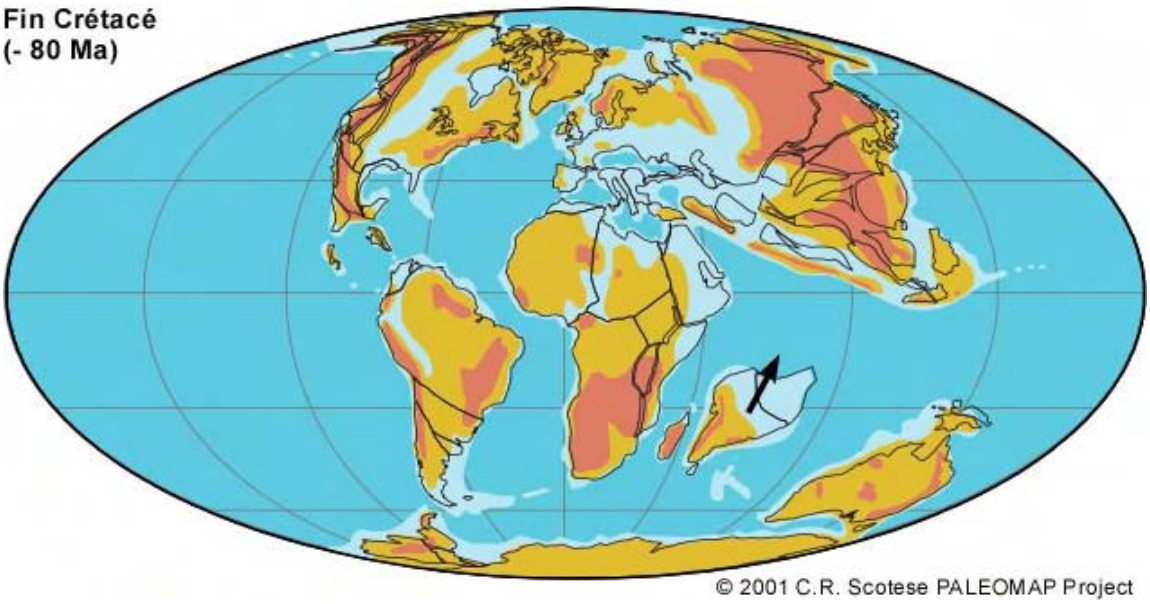



Deux ruptures orientées est-ouest sont bien visibles sur la carte. Au nord, il y a ouverture d'une mer linéaire qui sépare d'une part la masse continentale de l'Amérique du Nord et d'autre part, un bloc formé des masses continentales de l'Amérique du Sud et de l'Afrique (coupe ci-dessus). Au sud, l'ouverture se fait en ciseaux, le pivot se situant au niveau de l'actuel Gibraltar, créant un embryon de mer linéaire entre d'une part, le bloc Amérique du Sud et Afrique, et d'autre part, un bloc formé des masses continentales rassemblées de l'Antarctique, l'Inde et l'Australie.
Au début du Crétacé, il y a **120 Ma**, l'ouverture de la mer linéaire au nord s'accentue. C'est l'embryon de l'océan Atlantique. La rupture du sud est consommée. Les deux blocs continentaux sont séparés; c'est l'embryon de l'Océan Indien. Il est à noter que le bloc Antarctique-Inde-Australie commence à se disloquer.



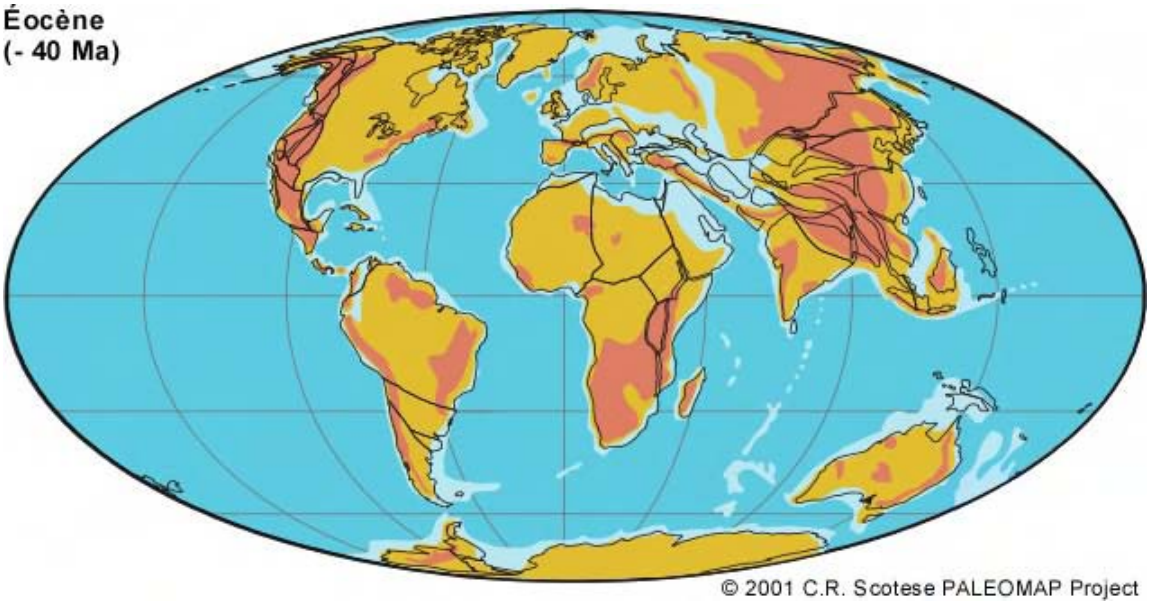

Il y eut un début de rupture entre l'Amérique du Sud et l'Afrique. Une dorsale ouvrit un océan entre le bloc de l'Afrique-Amérique du Sud et le bloc de l'Antarctique-Inde-Australie; une mer linéaire commence à se développer.
Un peu plus tard au Crétacé, soit il y a **80 Ma**, la séparation entre l'Amérique du Sud et l'Afrique fut définitive; une longue mer linéaire, avec une dorsale médiane, divisait ces deux continents.




Le petit bloc continental qui deviendra l'Inde est détaché des autres masses continentales et est en pleine migration vers le nord. Cette migration va se faire entre deux longues failles transformantes. Au nord, la Téthys continuait à se refermer.

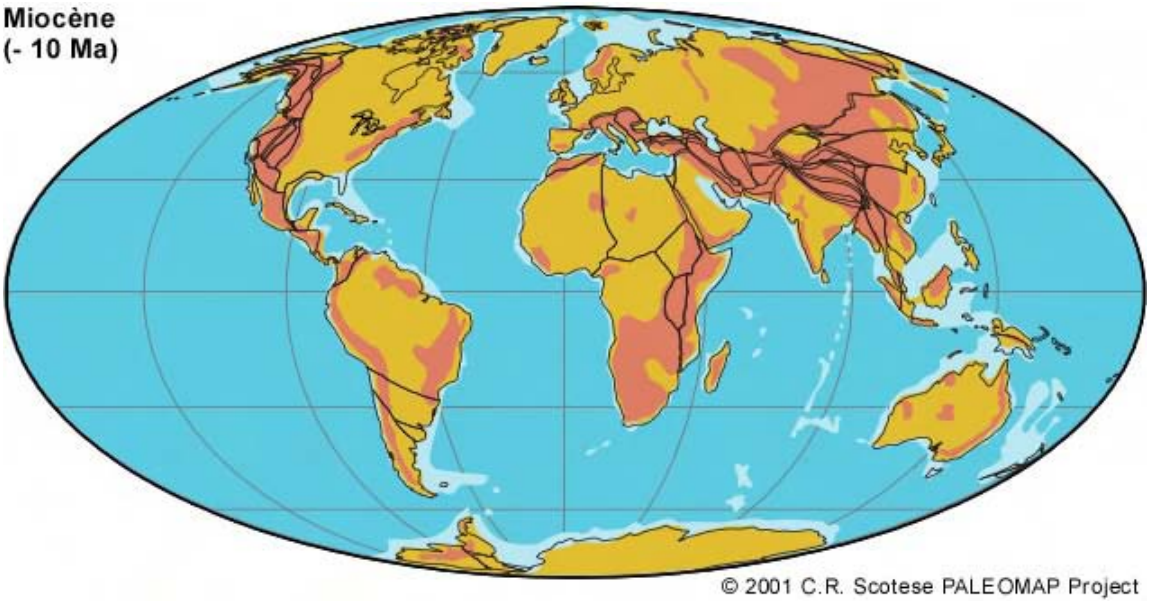
Au début du Tertiaire (Éocène), il y a **40 Ma**, l'océan Atlantique était véritablement individualisé. L'Inde a rejoint une série de microcontinents qui commencent à s'agglomérer. La Téthys se refermait de plus en plus pour former progressivement le système alpin (au sens géologique du terme) en Afrique du Nord, et de l'Europe à l'Iran. C'est ici qu'est née la Méditerranée.
Au Miocène, il y a à peine **10 Ma**, la configuration des continents et des océans ressemblent passablement à ce que nous avons aujourd'hui. L'Inde a embouti tous ces microcontinents et les a comprimés vers la Chine pour former l'Himalaya.

Éocène
(- 40 Ma)



© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

Miocène
(- 10 Ma)



© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

Finalement la poursuite de tous ces mouvements a conduit à la configuration actuelle des continents et des plaques lithosphériques.

8

# Périodes géologiques et histoire de la Terre

| NOMENCLATURE STRATIGRAPHIQUE | | | EVÉNEMENTS GÉOLOGIQUES ET PALÉONTOLOGIQUES |
|---|---|---|---|
| CENOZOÏQUE | Ere Quaternaire | Holocène (- 0,01 à l'actuel) | - 30 000 ans : mammouths jurassiens |
| | | Pléistocène (-2 à - 0,01) | à partir de -2 millions d'années : début des glaciations du Quaternaire |
| | Ere Tertiaire | Pliocène (-5 à -2) | - 7 millions d'années : le plus vieil hominidé connu |
| | | Miocène (-23 à -5) | - 10 millions d'années : plissement du Jura |
| | | Oligocène (-34 à -23) | - 30 millions d'années : molasse de Delémont |
| | | Eocène (-55 à -34) | |
| | | Paléocène (-65 à -55) | - 65 millions d'années : extinction des dinosaures et des ammonites entre autres |
| MESOZOÏQUE Ere Secondaire | | Crétacé (-145 à -65) | |
| | | Jurassique (-200 à -145) | - 150 millions d'années : dinosaures de Courtedoux, Marnes du Banné... |
| | | Trias (-250 à -200) | - 230 millions d'années : premiers dinosaures, premiers mammifères |
| PALEOZOÏQUE Ere Primaire | | Permien (-300 à -250) | - 250 millions d'années : la plus grande crise biologique que la Terre n'ait jamais connue (plus de 90% des espèces disparaissent) |
| | | Carbonifère (-360 à -300) | - 350 millions d'années : premières forêts |
| | | Dévonien (-415 à -360) | - 370 millions d'années : premiers vertébrés terrestres |
| | | Silurien (-440 à -415) | |
| | | Ordovicien (-490 à -440) | - 450 millions d'années : premiers organismes terrestres (insectes, plantes) |
| | | Cambrien (-540 à -490) | - 480 millions d'années : premiers poissons |
| PRECAMBRIEN | | (- 4600 à -540 millions d'années) | - 540 millions d'années : «explosion de la vie», premiers organismes à coquille (Schistes de Burgess) |
| | | | - 600 millions d'années : premiers organismes pluricellulaires |
| | | | - 3500 millions d'années : apparition de la vie |
| | | | - 4600 millions d'années : formation de la Terre |

# 2e partie :

# Paléontologie : Notions élémentaires

**Table des matières**


| | |
|---|---|
| 1. Historique succinct | 28 |
| 2. Reconstitution des environnements disparus | 30 |
| 3. Vie et roches | 32 |
| 4. Modes de fossilisation | 35 |
| 5. Notion de faciès | 45 |
| 6. Fossiles jurassiques d'Ajoie | 48 |
| 7. Mondes disparus | 51 |
| 8. Succession de faunes & faunes disparues | 53 |
| 9. Reconstitutions paléontologiques | 55 |
| 10. Lexique | 59 |

*Ammonites de Cornol, Lugwigia bradfordensis*

# 1 Historique succinct

**Sous l'influence de l'église, et jusqu'au 19e siècle, il était inconcevable de parler d'évolution, car c'était contester le dogme de la création du monde en 6 jours. D'autre part, l'âge de la terre calculé par le primat d'Irlande James Hussher, sur la base de la succession des générations bibliques, remontait selon lui au dimanche 23 octobre 4004 avant J.-C.**

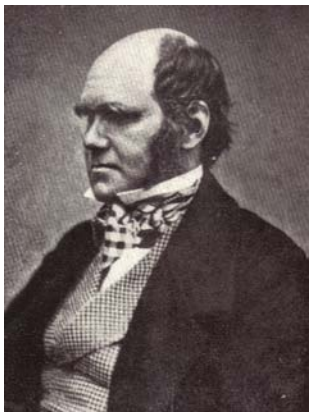
*James Hussher (1580-1655)*

*Buffon 1707-1788*

Dans cet ordre de grandeur de temps, aucune évolution perceptible ne peut effectivement avoir lieu et on comprend pourquoi il était aisé pour l'église de combattre *Darwin* à la sortie de son ouvrage «*De l'origine des espèces*», en 1859. Pourtant *Buffon* en 1778 déjà, dans «*Les époques de la nature*», avait tenté un calcul par l'épaisseur des sédiments et le temps nécessaire à leur dépôt. Il avait aussi fait couler des boulets pour en observer le temps de refroidissement ; il avait osé, par extrapolation, avancer un âge de 75'000 ans tout en admettant que c'était trop peu. Vers 1870, Lord *Kelvin*, physicien anglais, avait calculé qu'en se refroidissant graduellement à partir de la température des roches en fusion, une masse telle que la terre, devait avoir 1 million d'années.

Il faut donc attendre la toute fin du 19e siècle et la découverte de la radioactivité par *Marie Curie*, pour envisager des âges terrestres de centaines de millions, voire de milliards d'années. Aujourd'hui, l'âge admis par les scientifiques est de 4,6 milliards !

Avec de telles durées, le cumul de changements imperceptibles qui s'opèrent sur des millions d'années explique aisément le passage d'une espèce à une autre. La meilleure illustration en est fournie par l'ancien indicatif d'une émission de FR3, «Thalassa», qui montre la métamorphose d'un coquillage en bateau : elle s'opère en trois secondes, soit une succession de 72 images ne portant que d'infimes différences.



*Darwin 1809-1882*

*Noé préparant le départ sur l'arche*

*Kelvin 1824-1907*

*Lamarck 1744-1820*

*Cuvier 1769-1832*

*Brongniard 1707-1882*

Si *Strabon*, naturaliste contemporain de Jésus-Christ, explique déjà la présence de fossiles loin des côtes par des soulèvements et des abaissements des fonds océaniques, l'étude des fossiles ne commence vraiment qu'à la Renaissance. Jusque-là, ces pétrifications étaient, la plupart du temps, considérées comme des coquilles apportées sur les montagnes par le déluge, ou alors de simples artéfacts.

*Léonard de Vinci* est le premier à observer scientifiquement la disposition des fossiles dans des couches distinctes, ce qui lui a permis d'émettre l'hypothèse qu'ils avaient dû faire partie d'anciens rivages d'âges différents et maintenant éloignés de la mer ou déplacés par les mouvements de la croûte terrestre. N'oublions pas que la Toscane est un pays volcanique et que les mouvements tectoniques y sont connus. Buffon, quant à lui, avait assimilé les 6 jours de la création à 6 âges géologiques s'étant déroulés sur 100'000 ans.

*Au 19e siècle, Brongniard,* collaborateur de Cuvier, *Thurmann, Agassiz* et leurs pairs étrangers, mettent au point les nomenclatures géologique et paléontologique modernes (Jurassique, Marnes du Banné, Rauracien, Hauterivien, Valanginien, Oxfordien, Aptien, etc. en sont les témoins toujours actuels).

Parallèlement, les premières cartes géologiques sont élaborées, en particulier pour la prospection de mines de charbon - industrialisation de l'Europe oblige.

Peu auparavant, les premiers géologues, tels *Buckland, Smith, Hutton* et *Lyell*, en établissant la stratigraphie, sont conduits par leurs observations à reconnaître dans les couches géologiques, des successions de faunes. Ceci aboutit à la théorie du **catastrophisme** impliquant des extinctions et des créations successives.

*Lamarck*, suite à de sérieuses observations, est conduit à envisager le **transformisme** qui explique la filiation des espèces**.** Malheureusement, il ne peut en expliquer le mécanisme qu'en invoquant l'héritabilité des caractères acquis et est facilement combattu par *Cuvier*, qui lui demeurera **fixiste**. Pourtant celui-ci, en inventant **l'anatomie comparée**, forge les outils de l'évolutionnisme et prouve l'apparentement des faunes anciennes à la faune actuelle.

Par ce fait, la fixité des espèces, postulée par la création parfaite et en une seule fois, est balayée définitivement – ô ironie – grâce à un fixiste.

Au cours de cette longue histoire, l'église a toujours combattu les chercheurs. Même *Teilhard de Chardin*, Jésuite pourtant, a eu maille à partir avec la hiérarchie catholique quand il s'est intéressé à l'évolution de l'homme. Mais en 1951, devant les évidences scientifiques, et à travers le discours de *Pie X* devant l'Académie des Sciences pontificales, la chrétienté admet enfin que le texte biblique est une métaphore en accord avec l'histoire de la terre telle qu'elle a été décryptée par les savants.

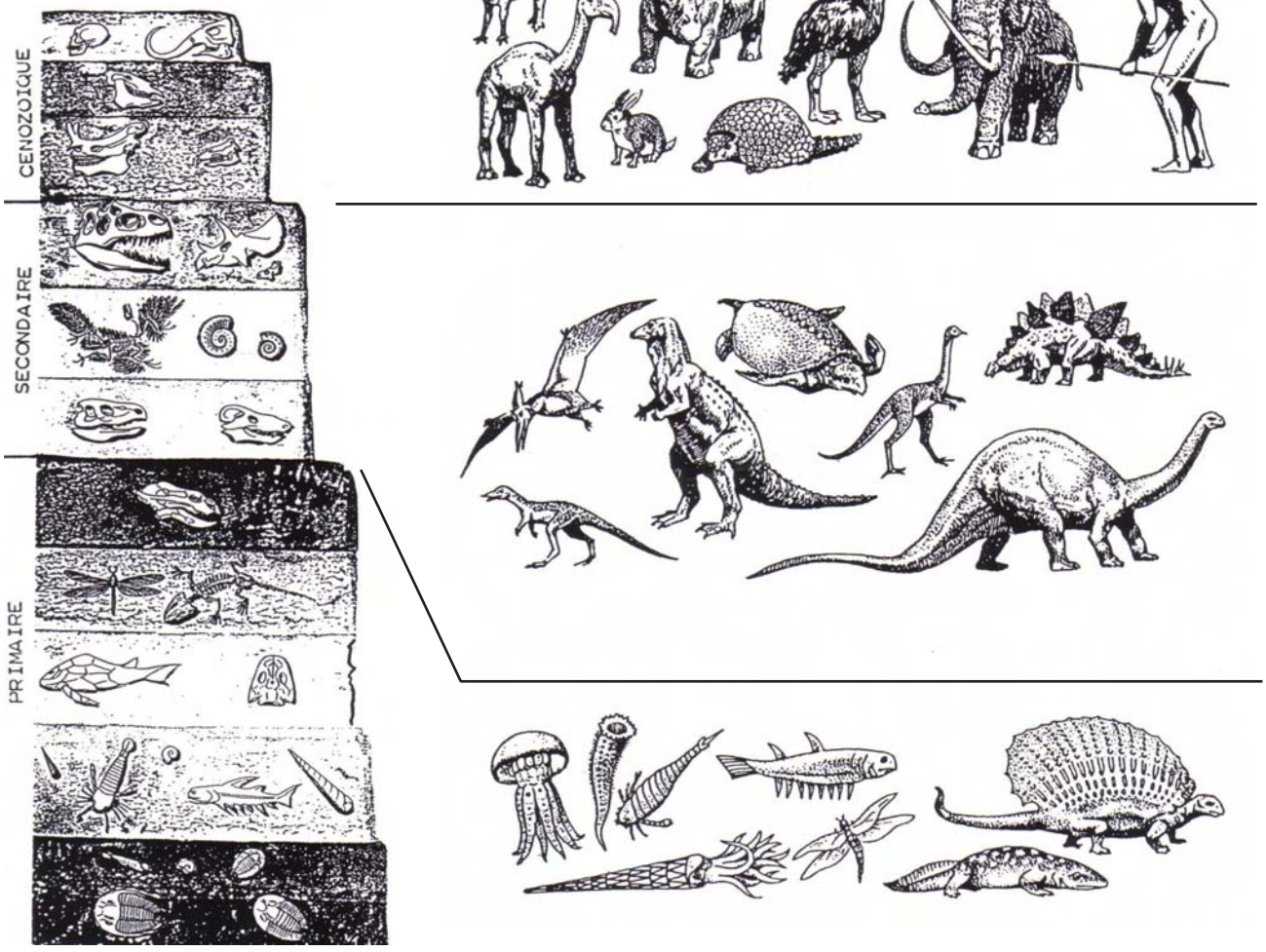
Pourtant, un mouvement intégriste américain prône aujourd'hui encore avec beaucoup de vigueur le dogme **créationniste**. Dans l'Utah, par majorité politique, on a obtenu d'accorder à l'enseignement biblique la même durée qu'à la théorie de l'évolution !

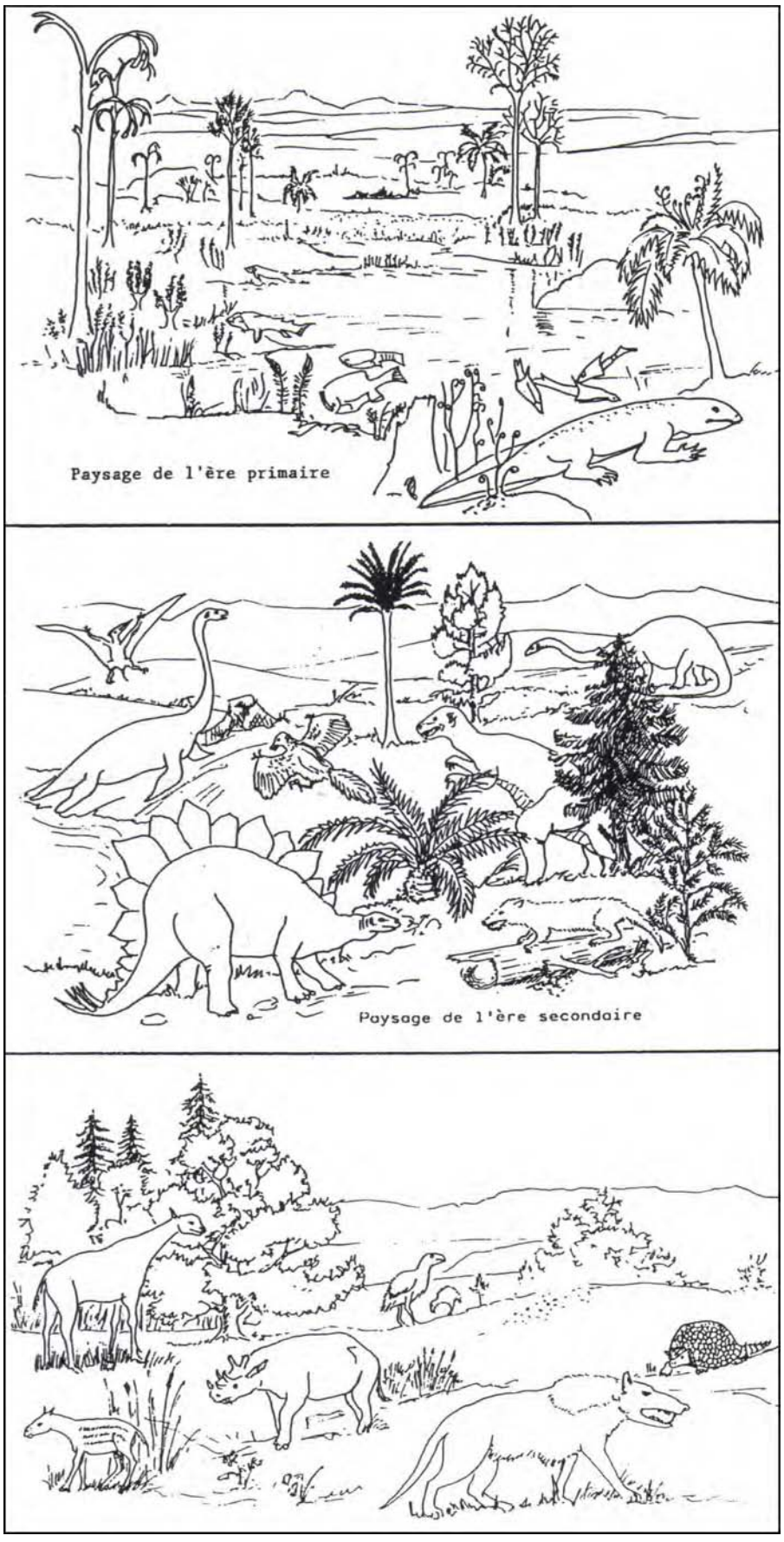
2

# Reconstitution des environnements disparus

## Reconstitution des faunes du passé

L'étude stratigraphique des fossiles permet de reconstituer les associations faunistiques qui se sont succédées au cours des temps géologiques.






***A partir d'études complémentaires comme la microstratigraphie, les microfossiles, les conditions paléoclimatiques, etc., les paléontologues ont pu reconstituer les milieux où s'ébattaient les faunes étudiées. Exemples simplifiés pour le Primaire, le Secondaire et le Tertiaire (en bas).***

# 3 Vie et roches

## Les stromatolites, premiers témoins des débuts de la Vie

Formations rocheuses dues à la précipitation de carbonates de calcium par des algues bleu-vert (cyanophycées), ces constructions minérales d'origine biologique existaient déjà à l'archéen, soit il y a plus de 3,5 milliards d'années. Inventant du même coup la photosynthèse, elles commencèrent à produire dans l'atmosphère de l'époque les premières molécules d'oxygène.

Ces organismes parmi les plus primitifs, chose exceptionnelle, existent encore aujourd'hui sans avoir subi de changements. Véritables «fossiles vivants», ces algues bleu-vert continuent à fixer du fer dans les lagunes chaudes à forte salinité et soumises aux alternances de marées mais séparées partiellement de la haute mer. Ces conditions se rencontrent le long des côtes d'Australie occidentale à Shark Bay, par exemple (photo ci-dessous).

Le musée jurassien des sciences naturelles détient 3 échantillons remarquables :

- 1 plaque de Warrowoona – Australie, - 3,5 milliards d'années
- 1 plaque de Gunflint - Iron formation / Ontario, - 2,5 milliards d'années
- 1 bloc des Bighorn Mountains en forme de coussin encroûté – Wyoming, - 300 millions d'années

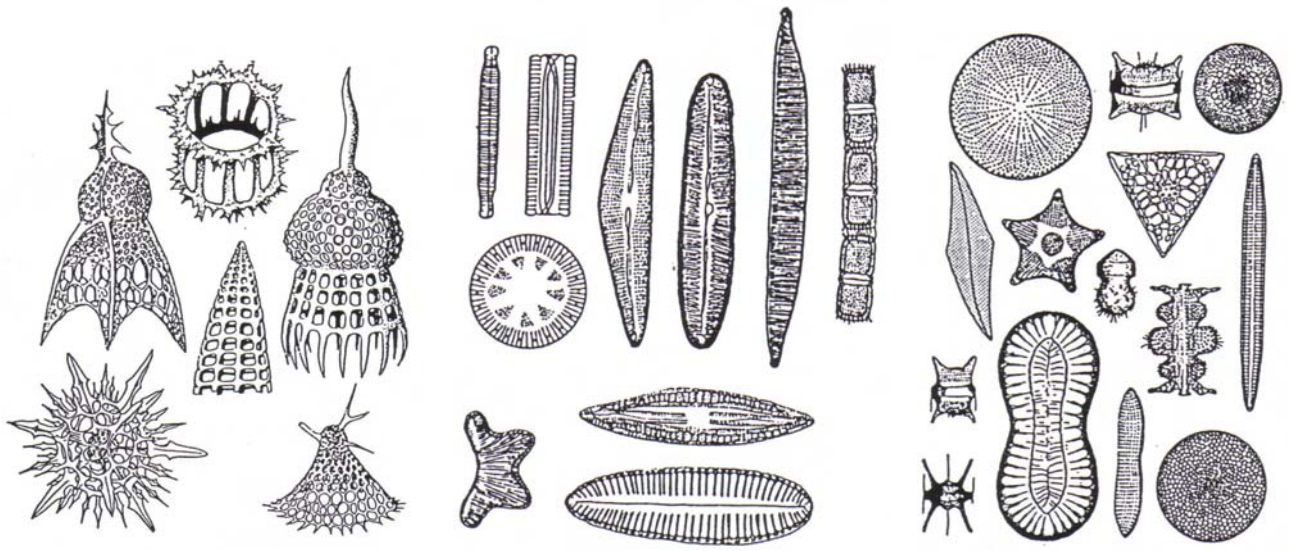
***Plaque polie teinte par l'oxyde de fer et détails de la structure en couches concentriques***

## Vie microscopique édificatrice de roches

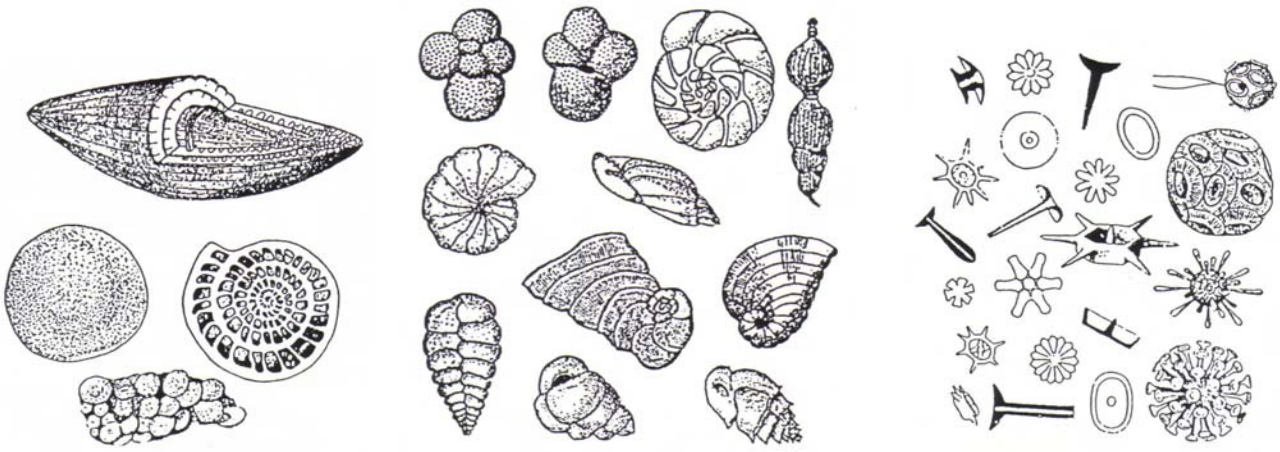
Dans l'eau douce ou salée, certains organismes unicellulaires peuvent proliférer à tel point que l'accumulation de leurs tests (coques), qui se poursuit durant des dizaines voire des centaines de millions d'années, finit par engendrer des accumulations de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, à l'origine de nouvelles roches sédimentaires. La majorité des calcaires jurassiens se sont formés de cette façon.
Le tripoli, la craie, les diatomites et radiolarites, et même le pétrole liquide sont d'autres roches sédimentaires qui trouvent leur origine dans l'accumulation de cadavres d'organismes microscopiques. Ces microfossiles très fréquents dans les roches fournissent de bons et précieux outils pour les datations.

En voici des exemples illustrés par diverses familles d'algues et de protozoaires à tests calcaires et siliceux :

***Diatomées marines et d'eau douce, radiolaires***



***Foraminifères (fusulines, nummulites, etc.) et coccolithes***



N.B. Quand des algues à test siliceux ou des spicules d'éponges se trouvent piégées dans une couche calcaire importante, la silice migre et se regroupe en nodules de silex. Ce sont les fameuses «poupée» que l'on a découvert dans les gisements préhistoriques du Löwenbourg et de Courgenay.

4

# Modes de fossilisation : Qu'est-ce qu'un fossile ?

## Des restes d'organismes vivants

Après sa mort, la probabilité qu'un organisme soit dégradé est grande. En effet, prédateurs et charognards, puis microbes putréfacteurs, aidés par les agents atmosphériques (gel, pluie...), détruisent le plus souvent ce qui aurait pu faire le bonheur des paléontologues quelques centaines de millions d'années plus tard. Ainsi, la fossilisation est bien un phénomène exceptionnel car, sur les 2 à 6 milliards supposés d'espèces ayant vécu sur terre, seuls 300 000 sont parvenues jusqu'à nous.
Si le cadavre est rapidement enfoui dans un sédiment meuble comme la vase ou le sable, à l'abri de l'oxygène et donc des agents de décomposition, ses parties dures (os, coquille) pourront être conservées. Lorsque l'eau, chargée de sels minéraux dissous, percole à travers le sédiment, il se produit des échanges d'éléments chimiques avec les parties restantes qui acquièrent alors une nouvelle composition minérale et deviennent fossiles. Ce remplacement, molécule par molécule, est très lent et s'appelle « épigénie ». Parmi les substances minérales composant les fossiles, on trouve le plus souvent la calcite, la silice et la pyrite. D'autres modalités peuvent aboutir à la formation de fossiles. C'est le cas par exemple lorsque la partie conservée est dissoute et qu'il se forme un moule.

## Les moulages de dame nature

Il arrive que le fossile, enfoui dans le sédiment déjà dur, disparaisse. Seule subsiste son empreinte dans la roche, le moule externe. Il pourra se remplir à nouveau de débris et il se forme alors un moulage de l'organisme. Mais il se peut que le fossile, une coquille par exemple, ait été rempli avant sa destruction. Si la coquille disparaît, il n'en restera que le moule interne. Dans le cas des coquilles, les moulages externes permettent d'identifier une espèce car l'ornementation est conservée. Si les stries d'accroissement sont visibles, elles offrent la possibilité d'étudier les conditions du milieu, comme le climat.
Les moulages internes sont souvent de moindre intérêt car il n'est pas toujours facile d'identifier l'organisme. Par contre, des détails anatomiques peuvent avoir été préservés. Ainsi, chez certains poissons, en dégageant la gangue qui avait rempli les cavités de l'animal, on a réussi à obtenir une reconstitution fidèle de l'anatomie, ce qui est extrêmement rare.

## Un lit de sédiments pour tombeau

Il faut qu'il y ait dépôt abondant de sédiments pour que des fossiles se forment. Aussi est-ce dans les milieux aquatiques, marins ou d'eau douce qu'ils sont les plus abondants. Certains milieux, très pauvres en oxygène, protègent les organismes et favorisent la fossilisation. C'est le cas des forêts houillères et des tourbières, comme celles de Rhynie, en Écosse, qui ont permis de connaître les premiers organismes continentaux.
Certains fossiles se forment à l'air libre : les animaux sont alors préservés ou desséchés par l'aridité de l'air. On a ainsi retrouvé des dinosaures conservés avec leur peau écailleuse et des mammifères avec leurs poils.
La conservation des fossiles au cours des millions d'années dépend du devenir de la roche dans laquelle ils se trouvent. En effet, si elle est enfouie lors de la subduction (glissement d'une plaque océanique sous une autre) par exemple, les fossiles seront perdus à tout jamais. C'est la raison pour laquelle ils sont particulièrement nombreux dans les régions géologiquement calmes, les bassins sédimentaires.

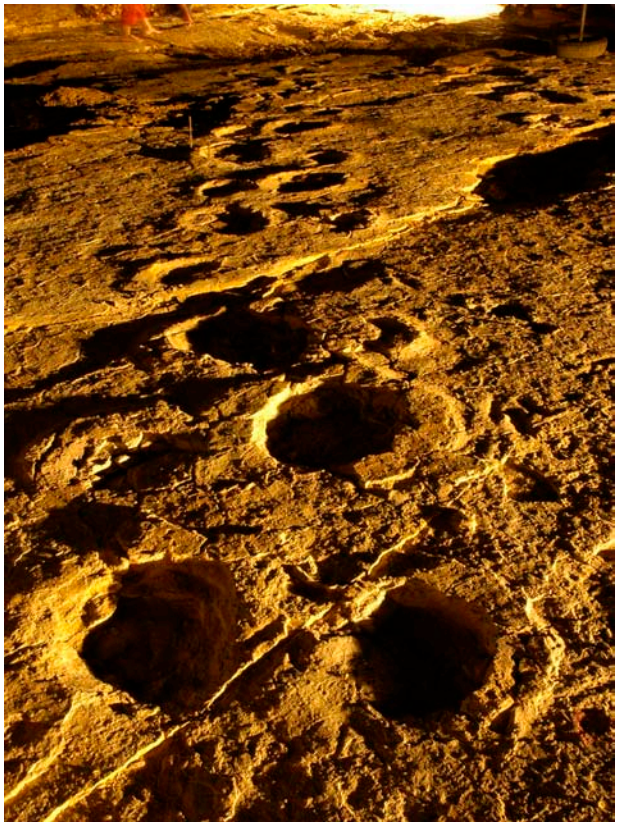
## Des tissus mous parfaitement conservés

Os, dents, coquilles et autres parties dures des organismes ne sont pas les seuls à être fossilisés. Ce peut être aussi le cas des plumes, poils, peau, muscles, etc. Leur conservation est rare car ces parties sont en général dégradées après la mort. Mais leur transformation en fossile peut avoir lieu si elles sont rapidement minéralisées. C'est ainsi qu'en Italie, le gisement de Monte-Bolca a livré des fossiles de poissons pour lesquels la structure histologique de la rétine est conservée.
Dans d'autres cas, comme celui de mammouths retrouvés dans la glace, la présence de végétaux dans leur bouche et leur estomac a apporté des informations sur le régime alimentaire de l'animal et aussi sur le milieu naturel de cette époque.
Chez les végétaux, les tiges sont parfois conservées avec leur organisation interne. Ainsi, on peut pratiquer des coupes fines, observables au microscope, qui montrent les faisceaux libéro-ligneux.

## Des traces de pas dans la roche

L'activité des êtres vivants peut aussi laisser des traces. Lorsque des empreintes de pas ou des terriers sont remplis de sédiments, ces traces sont conservées et deviennent des fossiles. Témoins directs de l'activité des organismes, ils apportent de nombreuses informations sur le mode de vie des animaux. Ainsi a-t-on pu évaluer la vitesse de déplacement de différentes espèces de dinosaures à partir de la longueur de l'enjambée et de la taille de l'animal. L'étude des traces (ichnologie) apporte aussi des informations sur le mode de vie, solitaire, familiale ou en groupe.
Les empreintes les plus célèbres sont celles laissées à Laetoli, en Tanzanie, il y a 3,7 millions d'années, dans une couche de cendres volcaniques humidifiées par la pluie. Là, trois hominidés (des Australopithèques) ont traversé ce champ de cendres qui a ensuite été recouvert et protégé par une seconde couche. Ces traces ont apporté la preuve irréfutable de la bipédie des premiers Hominidés.
L'analyse des traces de sauropodes et de théropodes qui ont passé à Courtedoux il y a 152 millions d'années permettra aussi d'en savoir plus sur la vie des dinosaures de cette époque jurassique.

*Les empreintes de Laetoli…*



*… et celles de Courtedoux (photo OCC-SAP)*

## Des excréments pétrifiés

Enfin, l'analyse des excréments fossiles (coprolithes) de divers animaux a aussi permis de connaître leur régime alimentaire.

## Autres types de fossilisation...

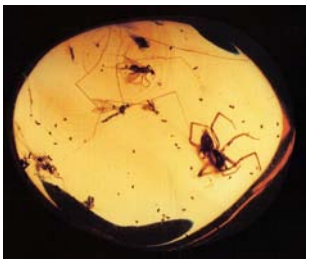
## La congélation et la momification

Des mammouths et des rhinocéros laineux entiers ont été retrouvés dans la glace en Sibérie.
Depuis des siècles, le commerce d'ivoire de mammouth est florissant et aujourd'hui remplace heureusement l'ivoire d'éléphant.
Lorsqu'un organisme est momifié, c'est qu'il y a eu interruption temporaire de sa décomposition, car si on le remet au contact de l'air, il recommence à se dégrader.
La momification exige une atmosphère sèche et stérile comme on la trouve dans certaines grottes ou dans certains déserts.
Les piège à bitume permettent l'ensevelissement de cadavres qui se conservent alors de façon remarquable. La momification s'opère aussi dans l'eau froide et acide des tourbières. Celles du nord de l'Europe ont fourni de nombreux cadavres animaux et humains parfaitement momifiés.

*Homme de Tollun, Danemark*

*Dima, bébé mammouth mort en Sibérie il y a 26'000 ans*

## Pris dans l'ambre ou le copal



Il y a plusieurs millions d'années, la résine s'écoulant sur l'écorce de conifères comme les pins et les mélèzes, a emprisonné quantité de petits organismes. Cette résine transformée en ambre par fossilisation a conservé la morphologie externe des insectes, araignées, grenouilles ou même lézards retenus prisonniers, mais non leur structure interne.

*L'ambre de la Baltique est connue pour la faune qu'elle a piégée il y a 30 millions d'années.*

## La carbonisation

La décomposition partielle de grandes forêts durant le Carbonifère notamment, est à l'origine des grands dépôts qui forment les mines de charbon. Anthracite, lignite, houille et autre charbon ont souvent conservé les troncs et les feuilles des fougères et des prêles arborescentes de cette époque.

*Végétaux transformés en charbon. Parfois le talc des argiles (blanc) imprègne le fossile.*

## La calcification

La calcite conserve très bien les détails des organismes même très petits.
Les roches calcaires, sont parfois formées de petites couches feuilletées, résultant d'une sédimentation régulière dans lesquels les dépôts se sont fait en milieu calme. Dans ces dépôts en plaques comme les calcaires lithographiques ou les schistes bitumineux de certains gisements allemands, on y rencontre des fossiles exceptionnels comme des traces animales et végétales présentant tous les détails dont la peau ou les viscères, que l'on ne peut obtenir dans d'autres sédiments.

*Ammonites, squelettes, coquillages ou microfossiles sont facilement calcifiés*

## La silicification

La silice provenant des cendres volcaniques pénètre lentement dans le bois d'arbres partiellement dégradés. La présence de fer et d'autres minéraux pendant la silicification peut donner des effets de couleur ressemblant un peu à du marbre coloré. On peut trouver du bois silicifié dans des sédiments provenant de milieux terrestres ou d'eau douce, composés de sable ou d'argile.

*Tronc silicifié, mollusques en opale ou en quartz ont parfaitement conservé leur anatomie*

## La pyritisation

Certains fossiles, comme par exemple des coquilles d'ammonites, ont subi des transformations cellulaires grâce à de la pyrite lors de la fossilisation. La pyrite, un sulfure de fer que l'on retrouve souvent dans le calcaire, est venue altérer la composition chimique ordinaire de la coquille pour la transformer en un fossile de pyritisé. Ces fossiles doivent être protégés contre l'air humide lorsqu'on les a retirés de la roche qui les contenait, car la pyrite réagit rapidement à l'air. Elle s'oxyde et produit de l'acide sulfurique qui entame un processus de destruction du fossile.

***Ce paraspirifer, comme nos ammonites oxfordiennes, a été minéralisé en pyrite.***

## La phosphoration

Les os et les dents ensevelis dans des sédiments composés en grande partie de phosphate sont bien préservés. Certaines dents de requins par exemple ont été ainsi conservées pendant des millions d'années.

## Les molécules organiques, des fossiles comme les autres

Jusqu'à un passé récent, il était admis que la matière organique, c'est-à-dire fabriquée par les êtres vivants, disparaissait au cours de la fossilisation. Les techniques modernes d'extraction et d'analyse ont montré que des composés organiques persistent encore après des millions d'années à l'intérieur de certains fossiles.
Une nouvelle branche de la paléontologie, la paléobiochimie, a ainsi vu le jour. Une des molécules les plus étudiées est le collagène, protéine filamenteuse présente dans le squelette des Vertébrés. Une fois la molécule extraite, il est possible, après digestion enzymatique, d'analyser les acides aminés qui la composent. On peut alors comparer la composition en acides aminés d'une molécule à une autre chez les fossiles comme les êtres vivants actuels. La séquence en acides aminés, qui est une image du génome, permet ainsi de préciser les distances évolutives entre les espèces.
Des études immunologiques ont également été menées sur l'albumine (protéine du sérum) d'un Mammouth congelé. En l'injectant à des Lapins, ceux-ci ont produit des anticorps, dont la propriété est de se fixer à l'albumine. Les résultats ont permis de déduire que les Mammouths sont apparentés, de la même manière, à l'Éléphant d'Afrique ou à celui d'Asie, et que ces trois animaux se sont différenciés il y a environ 3 à 5 millions d'années.
De tels résultats peuvent nous interroger sur l'avenir de la paléontologie: deviendra-t-elle moléculaire, comme l'est devenue la biologie ?

## Fossilisation : des processus très divers

Un fossile résulte souvent de la conservation d'une partie dure d'un organisme, tels squelettes, dents ou coquilles. C'est pourquoi les organismes entiers sont plutôt rares.
Parfois ce n'est que la trace laissée par un animal qui perdure : terrier, sillon, empreintes, etc.
Pourtant, dans des cas tout à fait exceptionnels, quand l'organisme est enseveli aussitôt après sa mort et isolé de l'oxygène, les parties molles peuvent quelquefois se conserver.
**La discipline en paléontologie qui cherche à comprendre les processus qui mènent un organisme mort à se fossiliser s'appelle la taphonomie.**

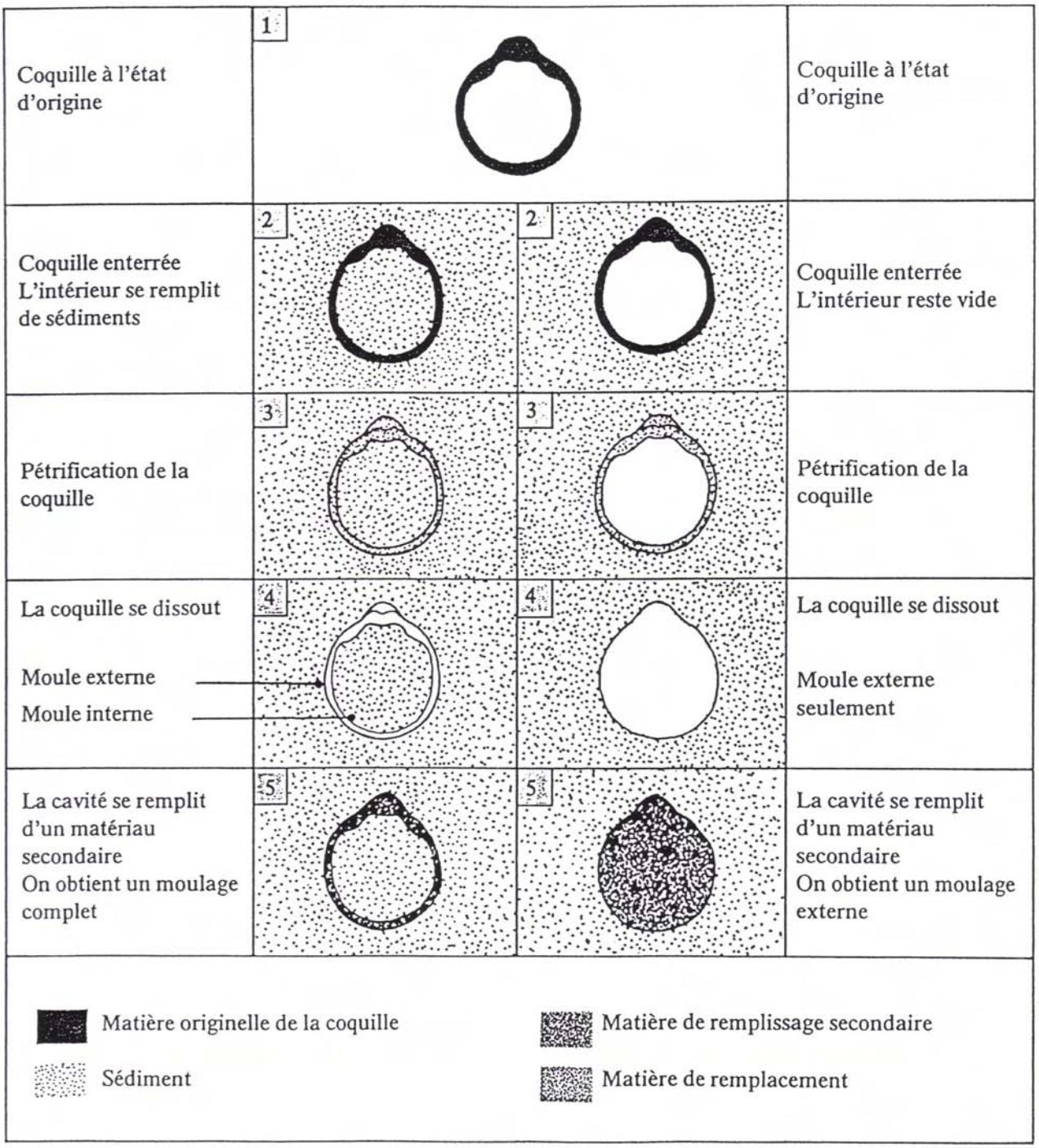



***Tableau général des voies qui conduisent à la fossilisation d'une coquille de lamellibranche***

***N.B.** Ce tableau démontre qu'il ne reste parfois plus rien de l'original à la fin du processus de fossilisation. La matière d'origine peut même être entièrement remplacée, molécule par molécule, par des minéraux exogènes (silice, calcaire, etc.).*

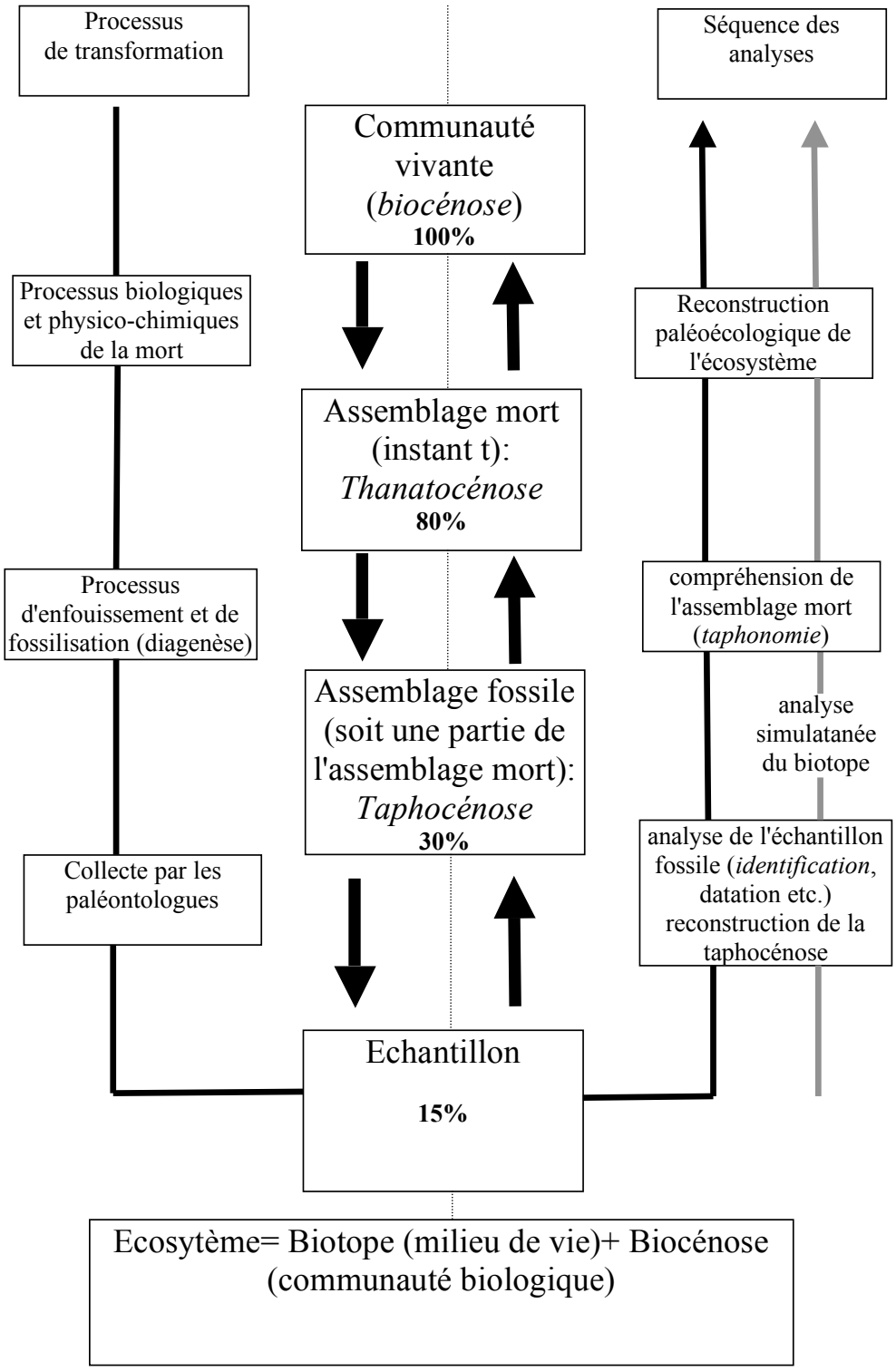



***Schéma de synthèse relatant les différents biais taphonomiques et les diverses analyses possibles sur le matériel récolté***

5

# Notion de faciès

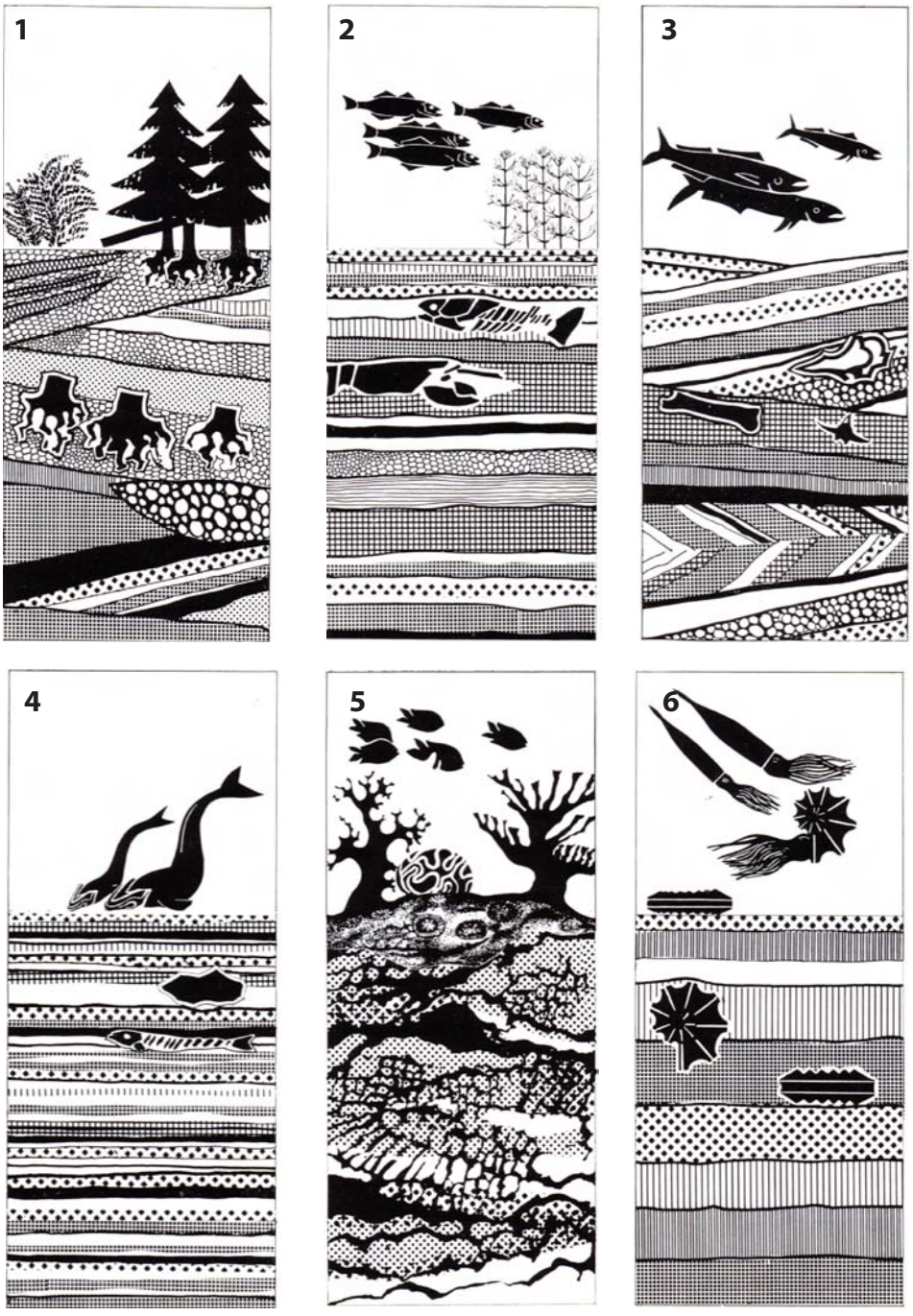
La notion de *faciès* caractérise une roche par rapport à sa structure et son contenu minéralogique et paléontologique. Les roches présentant un même faciès ont pu être formées à des périodes différentes mais dans un contexte sédimentaire similaire. On doit cette notion aux observations d'un géologue soleurois, Amanz Gressly, publiées en 1837. Ce terme est fréquemment utilisé par les paléontologues et les géologues. pour décrire les couches sédimentaires.

**Exemples :**

**Faciès marins :**

*Faciès littoral*
*Faciès corallien (récifal) (5)*
Faciès bathyal (6)
(à grande profondeur)
Faciès abyssal
(fosses océaniques)
Faciès lagunaire (4)

**Faciès continentaux :**
*Faciès éolien (lié au vent)*
*Faciès forestier (1)*
*Faciès fluviatile*
Faciès lacustre (2)
Faciès fluvio-glaciaire
Faciès deltaïque (3)

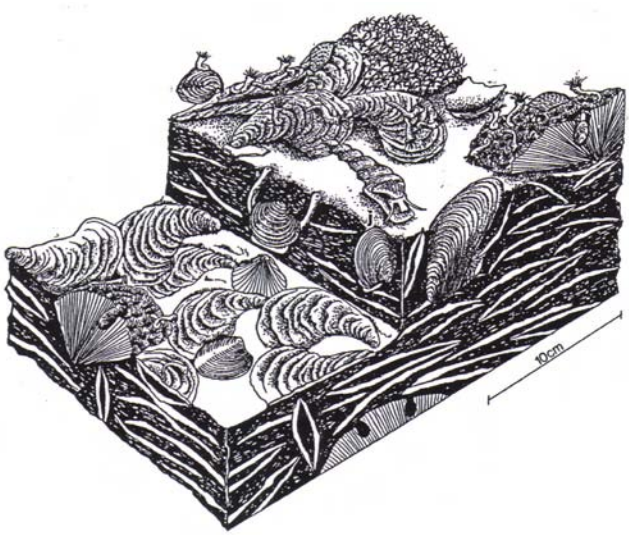


## Paléoécologie

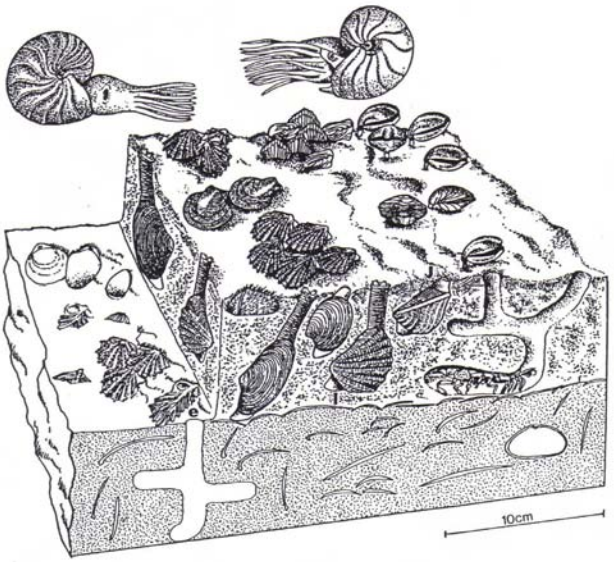
L'étude des associations de diverses espèces de fossiles provenant d'un même faciès permet d'établir des comparaisons avec les associations actuelles de milieux similaires. Par ce procédé, il devient possible d'établir les conditions écologiques dans les quelles vivaient ces animaux autrefois ; cette science s'appelle la **paléoécologie** et elle a pris une très grande importance récemment.
Ainsi, les paléontologues ne se contentent plus de chasse aux trophées, mais à la manière des archéologues, ils conduisent des fouilles qui permettent la restitution des niches écologiques et du contexte de dépôt des fossiles qu'ils étudient.

**Quelques exemples d'associations :** En bas, on y voit la couche fossilifère avec sa faune et, sur la marche supérieure, la reconstitution du milieu qui en a été faite.

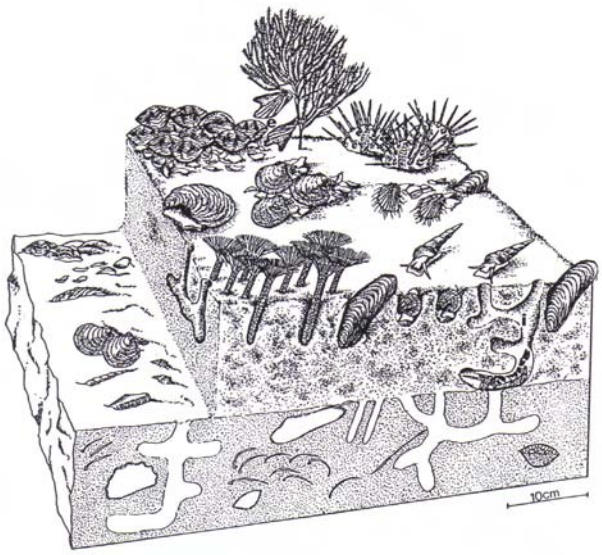
***Quatre faciès et milieux paléoécologiques du Jurassique (ci-dessous et page 47) :***



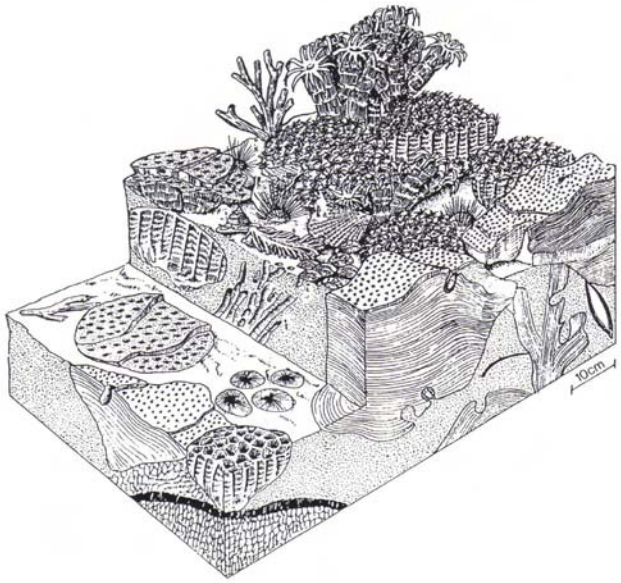

*Huîtres, gastéropodes, coraux*




*Ammonites, bivalves fouisseurs, brachiopodes*




*Oursins, coraux, mollusques et crinoïdes*



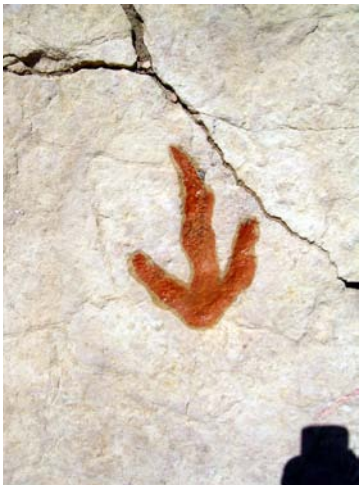

*Massif corallien*

Note : actuellement les fouilles entreprises par la Fondation paléontologique jurassienne à la Caquerelle et par la Paléontologie A16 à Courtedoux visent des objectifs essentiellement paléoécologiques.

6

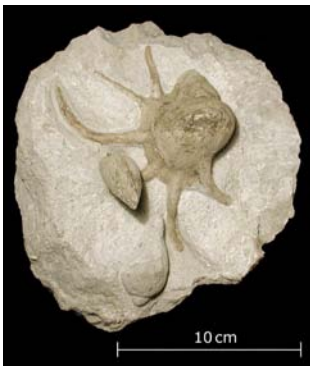
# Fossiles jurassiques d'Ajoie

Il y a 152 millions d'années, notre région, alors sous une latitude tropicale, était en bordure d'une mer chaude avec des plages et des dunes hantées par les dinosaures (sauropodes et théropodes). Les traces et les pistes de ces animaux ont été conservées dans les couches géologiques et mises au jour récemment à Courtedoux.



*Piste d'un sauropode et empreinte tridactyle (10 cm) du site de Courtedoux (photos OCC-SAP).*

## Les Marnes du Banné (ou Marnes à ptérocères)




*Ptérocère (Harpagodes oceani) est un gastéropode caractérisé par son carénage et les longues digitations qui entourent son labre (photo OCC-SAP).*

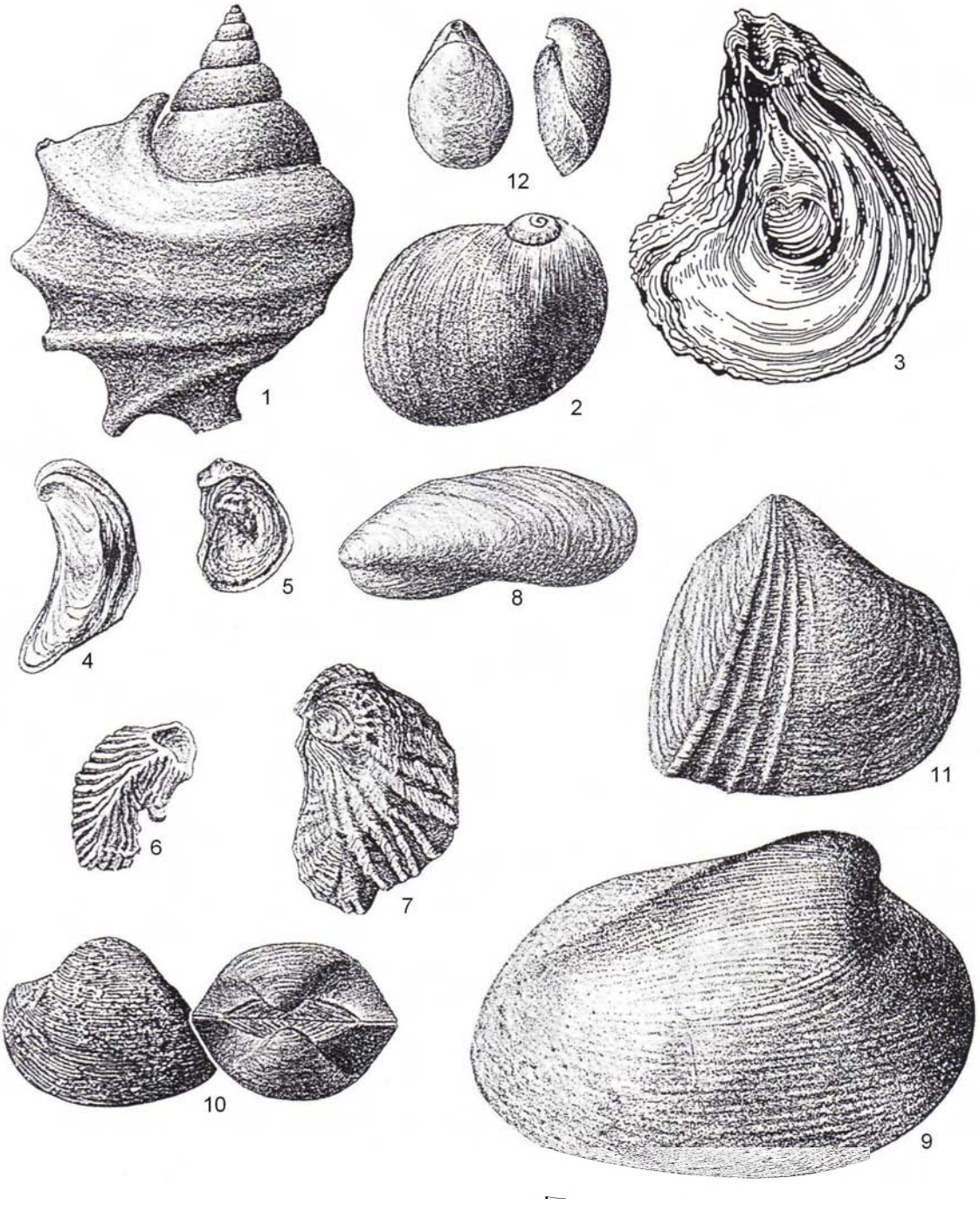
Il y a 160 millions d'années, quelque temps avant que les dinosaures n'arpentent les plages de Courtedoux, une mer peu profonde recouvrait notre région et l'on en trouve la trace dans une couche particulièrement riche en fossiles.

**Cette couche porte encore aujourd'hui, dans la nomenclature géologique, le nom que Jules Thurmann lui a donné :** Marnes à Ptérocères du Banné.

Décrite vers 1840 dans les environs de Porrentruy, elle affleure en de nombreux lieux ajoulots.

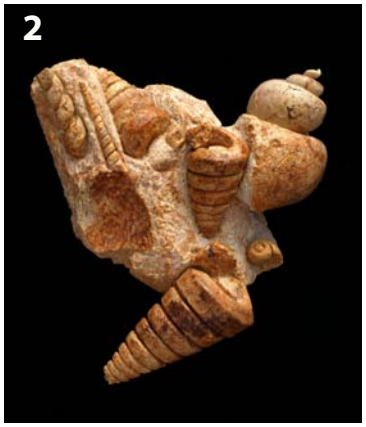
Les fossiles de cette couche sont difficiles à identifier car leurs coquilles, très souvent, ont disparu, et l'on ne trouve plus que des moules internes.

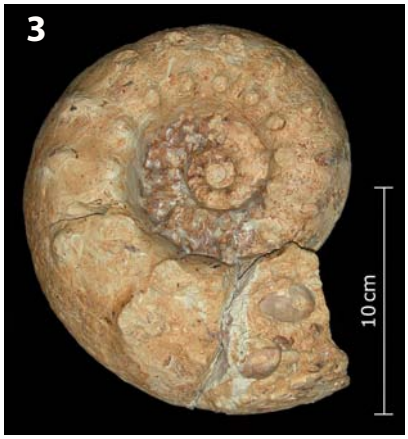
*La Trigonia et son moule interne ci-contre illustrent la difficulté de détermination quand la coquille est dissoute et que seul le moule interne subsiste.*




***T ypique d'un fond marin, les Marnes du Banné (Marnes à ptérocères) comprennent de nombreux coquillages fossiles dont les plus fréquents figurent ci-dessous.***

1. *Ptérocère, aujourd'hui Harpagodes (gastéropode)*
2. *Natica (gastéropode)*
3. *Trichites (huître deltoïde, géante souvent trouvée sous forme de fragments bruns et striés*
4. *Nanogyre virgule (huître)*
5. *Nanogyre naine (huître)*
6. *Lopha grégaire (huître)*
7. *Lopha solitaire (huître)*
8. *Moule (lamellibranche)*
9. *Ceratomya excentrique (lamellibranche)*
10. *Protocardia (lamellibranche)*
11. *Pholadomya (lamellibranche)*
12. *Térébratule (brachiopode)*



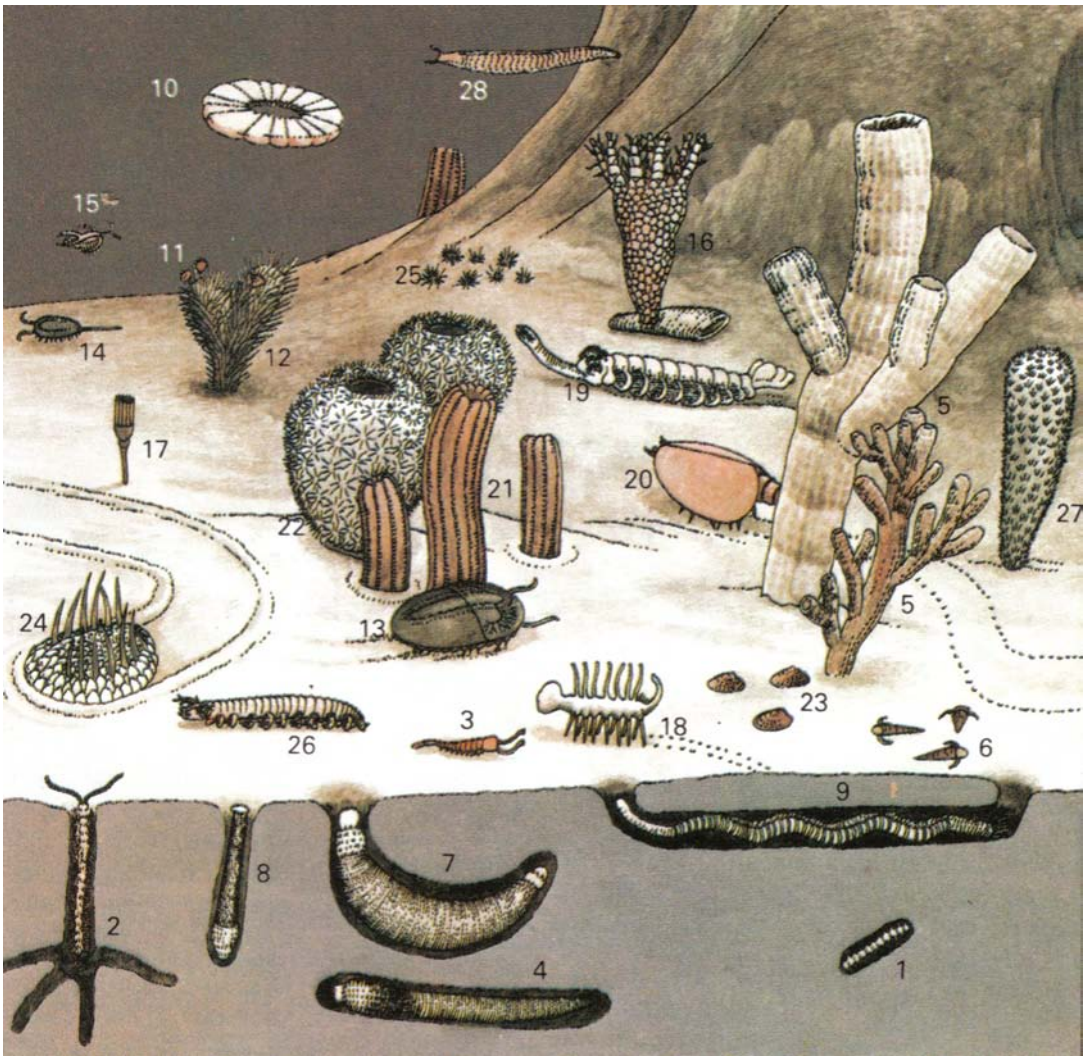
***Fossiles d'Ajoie (fossiles mis au jour par la Paléontologie A16, photos OCC-SAP).***
***Note : A part la molaire de mammouth, d'âge Pléistocène, tous les autres fossiles sont du Jurassique supérieur (Kimméridgien)***

*1 : molaire de mammouth*
*2 : gastéropodes*
*3 : ammonite*
*4 : restes de carapace de tortue*
*5 : calice de crinoïde (lys de mer)*
*6 : palais denté de poisson*
*7: oursin*
*8 : huîtres sur gastéropode*

7

# Mondes disparus

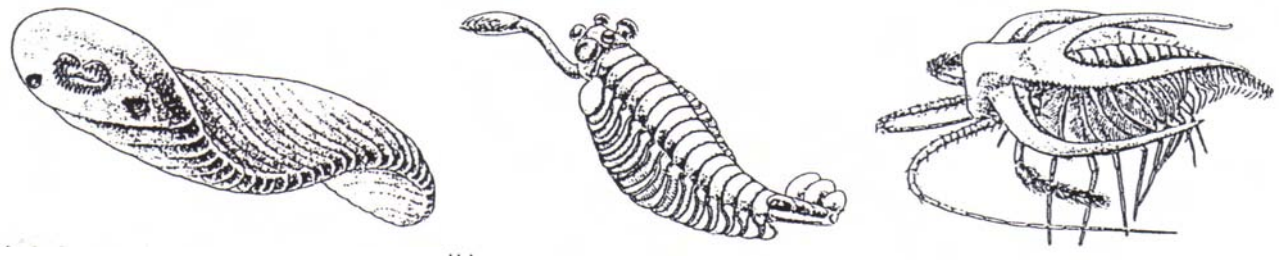
En Amérique, vers 1930, une découverte extraordinaire a permis de mettre au jour une couche fossilifère du Cambrien (-530 millions d'années) montrant un grand nombre d'invertébrés disparus. Un flanc argileux s'est probablement effondré en engloutissant les êtres marins vivant sur ce fond, les préservant miraculeusement de la décomposition.
Une interprétation récente de ces schistes de Burgess par *Stephen Jay Gould* (décédé en 2002) démontre une richesse insoupçonnée de plans d'organisation différents chez les arthropodes.
Alors qu'aujourd'hui on n'en compte plus que cinq, ces couches en présentent une vingtaine. Depuis cette époque, l'extinction massive de la fin du Cambrien, frappant au hasard, a fait disparaître les 3/4 des plans d'organisation inventés par la nature.
Il est donc remarquable que la diversité biologique des arthropodes actuels ne résulte que des cinq plans d'organisation survivants.




***Reconstitution de la faune extraordinaire des schistes de Burgess***

## *Quelques exemplaires de la faune de Burgess reconstitués par S. J. Gould*

*Odontogryphus, Opabinia, Marrella*



*Anomalocaris, Sanctacaris*

*Leanchoilia, Sidneya, Canadaspis*

*Dinomischus, Hallucigenia*

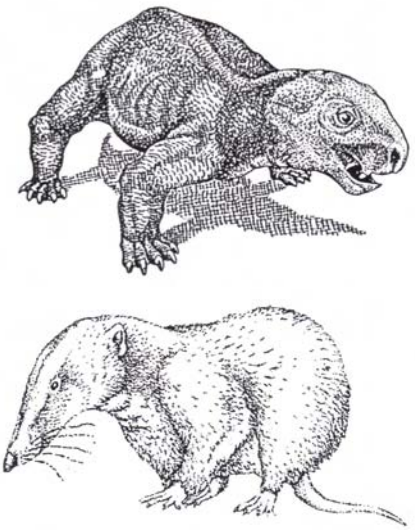
8

# Succession de faunes & faunes vicariantes

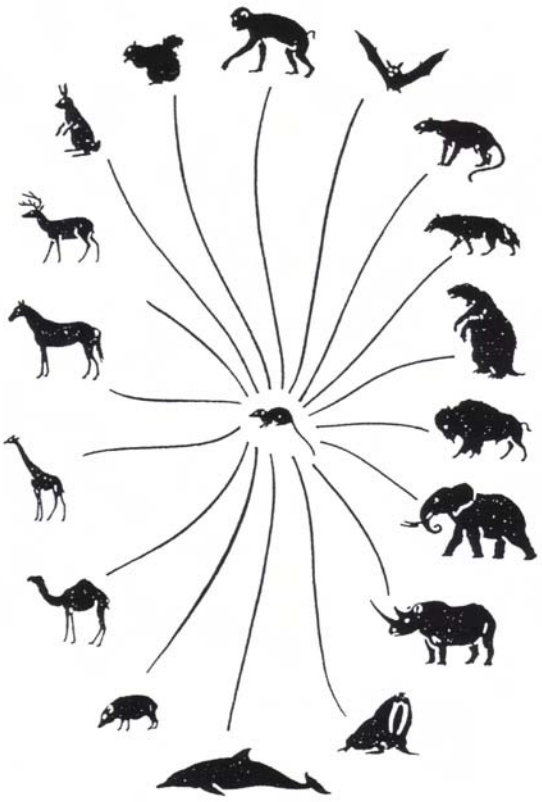
Depuis que la vie existe sur terre, les êtres vivants se sont succédés. Si les remplacements par sélection évolutive (survie des mieux adaptés ou des plus forts) sont difficiles à suivre par manque de documents fossilisés, les causes liées à de grandes extinctions suivies de différenciations spectaculaires des survivants sont bien connues.

## Exemple : Radiation des mammifères

Quand il y a 65 millions d'années, les faunes du Crétacé ont été anéanties dans une proportion de ¾, les mammifères qui vivaient jusque là dans l'ombre des dinosaures, ont pu occuper le terrain.
Les niches écologiques libérées ont en effet offert un champ d'action sans limites à la spéciation.
Cela a si bien réussi aux lignées primitives de mammifères que, 15 millions d'années après seulement, toutes les classes actuelles étaient déjà bien différenciées.

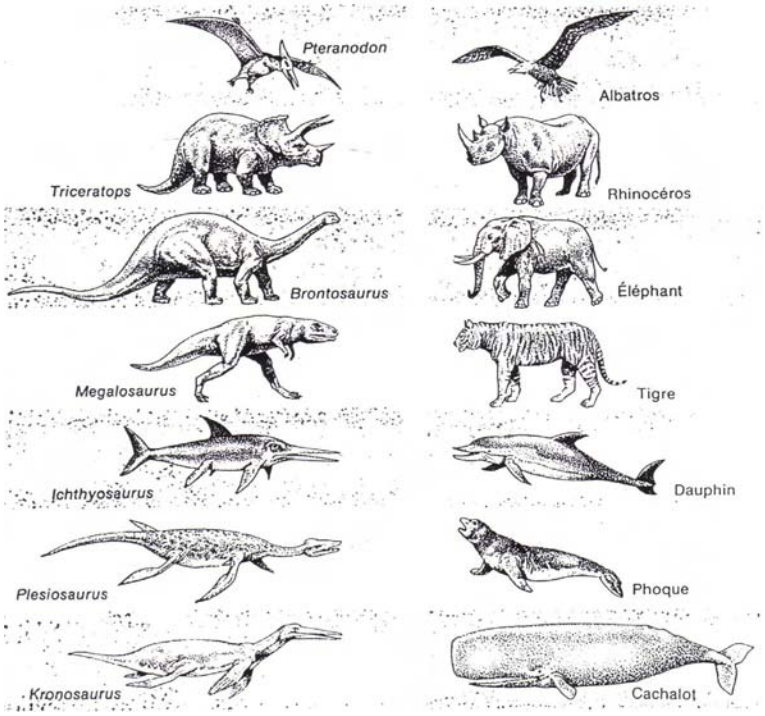


*Dicynodonte, reptile mammalien et Morganocodonte, l'un des premiers mammifères*



Les niches écologiques d'un milieu donné conditionnent non seulement le rôle de chacun de leurs habitants, mais aussi leur morphologie.

Des niches écologiques semblables voient le développement de faunes analogues.
Cette constatation se vérifie autant quand ces niches sont dispersées géographiquement sur plusieurs continents que si elles sont fort éloignées dans le temps.



***Exemples :***

***A gauche:*** *Périodes géologiques différentes…* ***(Secondaire et actuel)***

***En haut:*** *zones géographiques différentes* ***(Asie, Amérique et Afrique)***

## Vicariance

Périodes géologiques différentes et zones géographiques différentes entraînent une convergence très marquée entre des faunes sans contacts, ni même parfois sans apparentement.
Les niches écologiques d'un milieu donné conditionnent non seulement le rôle de chacun de leurs habitants, mais aussi leur morphologie (convergence).
C'est pourquoi, quand une faune disparaît ou évolue, elle est progressivement remplacée par une nouvelle tout à fait analogue.
De même, isolées sur des continents différents, les niches écologiques semblables voient le développement de faunes analogues.

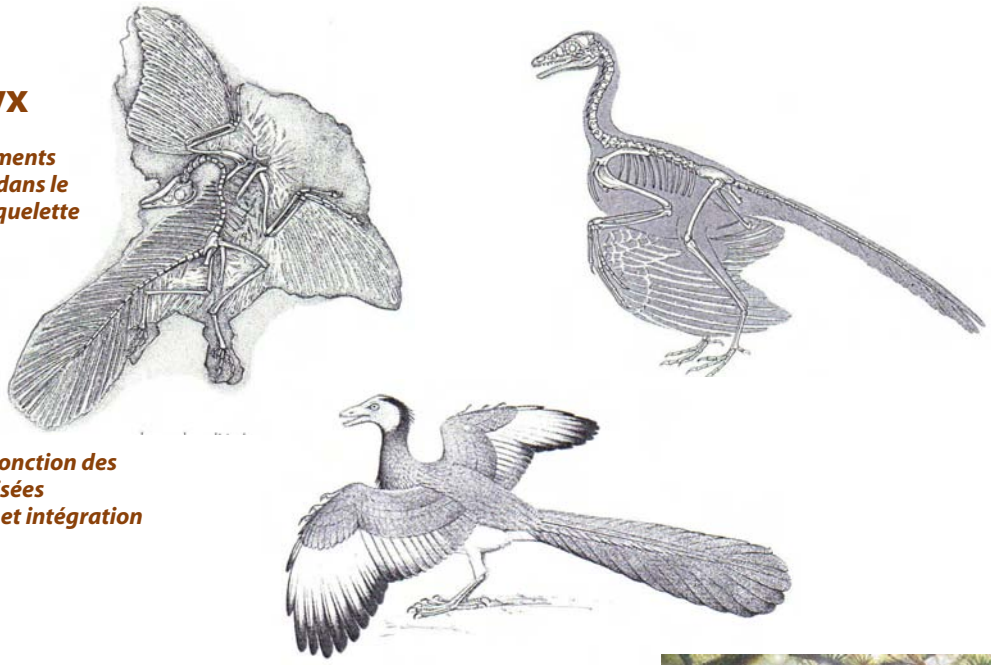
Ces faunes sont appelées faunes vicariantes.

9

# Reconstitutions paléontologiques

Georges Cuvier, un des pères de la paléontologie, fut le premier, au début du 19e siècle, à proposer la reconstitution scientifique d'un animal disparu, le paléothère ou « cheval-tapir ». Depuis, pour redonner vie aux fossiles, les paléontologues font appel aux talents des artistes animaliers (dessinateurs, peintres, sculpteurs, etc.) et aux compétences techniques des informaticiens.
Les simulations par images de synthèse affinent aujourd'hui les représentations, toujours plus réalistes.

## Exemple de l'Archéoptéryx



***De la trouvaille des ossements (spécimen de Solnhofen dans le sud de l'Allemagne) au squelette reconstitué***

***Habillage de plumes en fonction des traces du plumage fossilisées Reconstitution du milieu et intégration de l'animal***

***La couleur peut être imaginée par comparaison avec les espèces actuelles qui vivent dans des milieux analogues à celui que nous connaissons pour l'archéoptéryx***

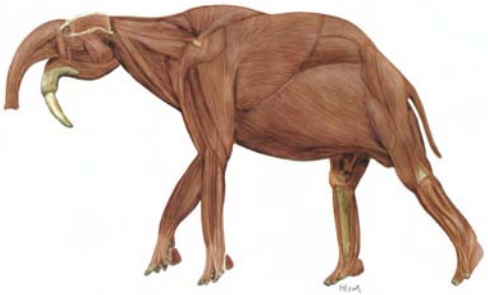
## Exemple du Dinothérium (du squelette à l'animal dans son milieu)

***Découverte d'ossements lors d'une fouille.***

***Parfois, le nettoyage et l'extraction des os permettent de mettre à la disposition des paléontologues des squelettes entiers et en connexion.***

***Montage du squelette***

***Actuellement, celui-ci s'effectue plus fréquemment au moyen d'os moulés, les originaux restant à disposition pour les études scientifiques.***

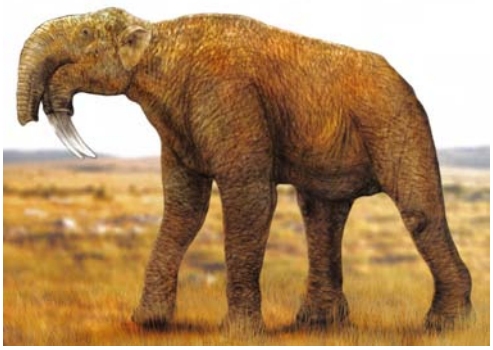


***Restitution de la musculature***

***La restauration des masses musculaires, avec un ajout pour le tonus, permet de reconstituer un écorché anatomique tout à fait fiable au point de vue scientifique.***

***Reconstitution de l'aspect de l'animal vivant.***

***Ici interviennent l'anatomie comparée et la connaissance d'espèces actuelles zoolo-giquement proches.***
***Les couleurs et les phanères sont extrapolées à partir de comparaisons avec les espèces vicariantes actuelles.***
***Les données ichnologiques apportent les moyens de restituer l'allure de l'animal vivant.***



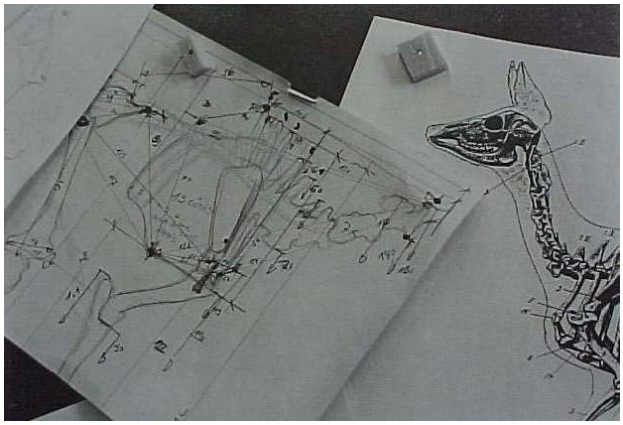
***Reconstitution paléoécologique***

***Le milieu naturel est restitué à partir des indices de flore et de faune compagnes identifiés lors de la fouille, d'où la nécessité d'effectuer des tamisages de sédiments. L'analogie avec les milieux naturels existant permet d'approcher une probable réalité.***

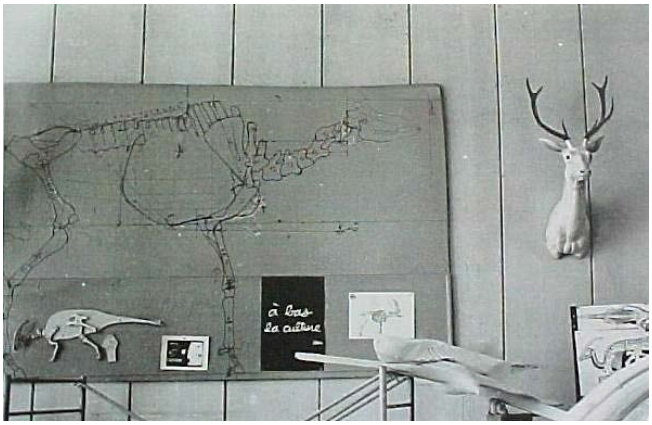
## Exemple du Mégacéros

*Mesures préalables au musée*

*Représentation préhistorique (Cougnac)*



*Relevé des mesures sur les os*



*Recherches en atelier*

*Reconstitution du profil par le squelette*

*Réalisation du volume*

*Façonnage des bois*

*Confrontation avec l'œuvre*

*L'animal est installé en forêt (Préhisto-Parc de Réclère - Jura)*

Il est important de garder un œil critique devant toute reconstitution paléontologique car elle comporte toujours une part plus ou moins importante d'interprétation. Cependant, en plus de l'effet qu'elles produisent sur notre imagination, ces reconstitutions peuvent aussi être le point de départ de nouvelles recherches.

10

# Lexique

**Age absolu** : temps (en milliers ou millions d'années) qui s'est écoulé depuis un événement donné jusqu'au présent. Cette durée est le plus souvent déterminée en utilisant des phénomènes physiques, comme la désintégration des isotopes radioactifs naturels que contiennent les minéraux (radiochronologie).

**Biostratigraphie** : stratigraphie fondée sur les fossiles caractéristiques présents dans les couches.

**Chronologie relative** : reconstitution de la succession chronologique des objets géologiques et des événements qui leur ont donné naissance, sans indication sur leur âge absolu.

**Diagénèse :** ensemble des processus physiques et chimiques qui transforment un sédiment (en général meuble) en roche sédimentaire (en général cimentée et consolidée); La compaction s'accompagne d'une perte d'eau et l'enfouissement entraîne une élévation de température (3°C par 100 m en moyenne) qui favorise les réactions chimiques participant à cette transformation.

**Epigénie (ou épigénisation) :** remplacement lent, molécule à molécule, d'un minéral par un autre au sein d'une roche. Ce phénomène est lié à un apport de substance au point considéré. Il y a en général conservation très précise des formes du spécimen d'origine.

**Faciès** : (signifie aspect) catégorie dans laquelle on range une roche sédimentaire, en prenant en compte ses constituants minéraux (caractères lithologiques) et les fossiles qu'elle contient (caractères paléontologiques). Le faciès d'une roche permet de déterminer son milieu de formation (marin plus ou moins profond, côtier, fluviatile…).
Exemples : Ammonites = milieu marin assez profond, Coraux = milieu marin récifal

**Géochronologie** : correspond à un ensemble de méthodes qui permettent d'attribuer un âge aux roches ou à leurs minéraux. On parle de *chronologie relative* quand elle est fondée sur les principes de la stratigraphie et sur le contenu en fossiles et de *chronologie absolue* quand elle est fondée sur un « chronomètre « physique (radiochronologie, utilisant les isotopes comme le Carbone 14 radioactif se transformant spontanément en azote 14)

**Paléogéographie** : reconstitution des différents milieux et paysages des époques du passé. Exemple : l'ancien continent de Gondwana, qui a existé du Carbonifère au Trias, regroupait Amérique du Sud, Afrique, Inde, Australie et Antarctique. Il a été mis en évidence par l'identité des faunes et flores fossiles, retrouvées sur des territoires aujourd'hui très éloignés les uns des autres.

**Paléontologie** : science qui étudie les êtres vivants du passé, aujourd'hui pour la plupart disparus et connus essentiellement par leurs restes fossiles ou les traces de leur activité. La paléontologie végétale (paléobotanique) étudie les plantes fossiles, la paléontologie animale (paléozoologie) les animaux fossiles et la micropaléontologie les fossiles de très petite taille dont l'étude nécessite loupe ou microscope.

**Stratigraphie** : discipline qui étudie la succession des dépôts sédimentaires, disposés en strates. Elle permet d'établir une chronologie relative fondée sur les principes de stratigraphie qui sont le *principe de continuité* (une même couche a le même âge sur toute son étendue) et le *principe de superposition* (de deux couches superposées, la plus ancienne est située au-dessous). Ces deux principes rencontrent parfois quelques exceptions.

**Strate** : ensemble sédimentaire homogène, compris entre deux surfaces à peu près parallèles. On parle également de banc (banc de calcaire, banc de grès…) ou de couche. L'épaisseur d'une strate est très variable (du mm à plusieurs mètres). Les strates sont souvent regroupées en ensembles qui ont en commun une composition lithologique homogène et que l'on date de la même période.

**Taphonomie** : discipline de la paléontologie qui étudie les processus physiques, chimiques et biologiques qui interviennent entre la mort d'un organisme et sa découverte à l'état fossile