

EXTRAITS

**LES ROCHES,
MÉMOIRE DU TEMPS**

Nouvelle édition avec exercices corrigés

Georges MASCLE

edp sciences

17, avenue du Hoggar
Parc d'Activité de Courtabœuf - BP 112
91944 Les Ulis Cedex A - France

Grenoble Sciences

Grenoble Sciences est un centre de conseil, expertise et labellisation de l'enseignement supérieur français. Il expertise les projets scientifiques des auteurs dans une démarche à plusieurs niveaux (référés anonymes, comité de lecture interactif) qui permet la labellisation des meilleurs projets après leur optimisation. Les ouvrages labellisés dans une collection de Grenoble Sciences ou portant la mention « Sélectionné par Grenoble Sciences » (*Selected by Grenoble Sciences*) correspondent à :

- des projets clairement définis sans contrainte de mode ou de programme,
- des qualités scientifiques et pédagogiques certifiées par le mode de sélection (les membres du comité de lecture interactif sont cités au début de l'ouvrage),
- une qualité de réalisation assurée par le centre technique de Grenoble Sciences.

Directeur scientifique de Grenoble Sciences

Jean BORNAREL, Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1

Pour mieux connaître Grenoble Sciences :

<http://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Pour contacter Grenoble Sciences :

Tél : (33) 4 76 51 46 95, e-mail : grenoble.sciences@ujf-grenoble.fr

Livres et pap-ebooks

Grenoble Sciences labellise des livres papier (en langue française et en langue anglaise) mais également des ouvrages utilisant d'autres supports. Dans ce contexte, situons le concept de **pap-ebook**. Celui-ci se compose de deux éléments :

- un **livre papier** qui demeure l'objet central avec toutes les qualités que l'on connaît au livre papier,
- un site **web compagnon** qui propose :
 - › des éléments permettant de combler les lacunes du lecteur qui ne posséderait pas les prérequis nécessaires à une utilisation optimale de l'ouvrage,
 - › des exercices pour s'entraîner,
 - › des compléments pour approfondir un thème, trouver des liens sur internet, etc.

Le livre du **pap-ebook** est autosuffisant et certains lecteurs n'utiliseront pas le site web compagnon. D'autres l'utiliseront et ce, chacun à sa manière. Un livre qui fait partie d'un **pap-ebook** porte en première de couverture un logo caractéristique et le lecteur trouvera le site compagnon de ce livre à l'adresse internet suivante :

<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr/pap-ebooks/masclé>

Grenoble Sciences bénéficie du soutien du **Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche** et de la **Région Rhône-Alpes**.

Grenoble Sciences est rattaché à l'**Université Joseph Fourier de Grenoble**.

ISBN 978 2 7598 1265 3

© EDP Sciences 2014

Les roches, mémoire du temps

Cet ouvrage, labellisé par Grenoble Sciences, est un des titres du secteur *Sciences de la Terre et de l'Univers* de la collection Grenoble Sciences d'EDP Sciences, qui regroupe des projets originaux et de qualité. Cette collection est dirigée par Jean BORNAREL, Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

Comité de lecture de la première édition :

- François **DE CARLO**, professeur agrégé (Paris)
- Michel **GUIRAUD**, professeur à l'Université de Bourgogne (Dijon)
- Jean-Emmanuel **MARTELAT**, maître de conférences à l'Université Joseph Fourier (Grenoble)
- Jean-Sébastien **STEYER**, chargé de recherche (CNRS) au Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris)
- Marc **TARDY**, professeur à l'Université de Savoie (Chambéry)
- et la contribution de
 - James ALLIBON, doctorant (Universités de Lausanne et Joseph Fourier - Grenoble)
 - Jérémie VAN MELLE, doctorant (Université Joseph Fourier - Grenoble)

Cet ouvrage a été suivi par Laura **CAPOLO** pour la partie scientifique et Sylvie **BORDAGE** du centre technique Grenoble Sciences pour sa réalisation pratique. L'illustration de couverture est l'œuvre d'Alice **GIRAUD**, d'après : stratigraphie : falaise de grès (Roy LUCK/Flickr) ; stries de croissance d'un arbre (Chris BROWN/Flickr) ; stromatolites, fossiles : trilobite (James St. John/Flickr) & *Charniodiscus* (Tina NEGUS/Flickr) ; zircon zoné (photo J.M. BERTRAND).

Autres ouvrages labellisés sur des thèmes proches (chez le même éditeur) :

Hydrothermalisme (M. Piboule & M. Chenevoy) • *Energie et environnement. Les risques et les enjeux d'une crise annoncée* (B. Durand) • *L'énergie de demain* (Groupe Energie de la Société Française de Physique, sous la direction de J.-L. Bobin, E. Huffer & H. Nifenecker) • *La plongée sous marine* (P. Foster) • *L'air et l'eau. Alizés, cyclones, Gulf Stream, tsunamis et tant d'autres curiosités naturelles* (R. Moreau) • *Turbulence* (M. Lesieur) • *Turbulence et déterminisme* (M. Lesieur en collaboration avec l'institut universitaire de France) • *La Cavitation. Mécanismes physiques et aspects industriels* (J. P. Franc et al.) • *Sous les feux du Soleil. Vers une météorologie de l'espace* (J. Liliensten & J. Bornarel) • *Du soleil à la terre. Aéronomie et météorologie de l'espace* (J. Liliensten & P.L. Blelly) • *L'Asie, source de sciences et de techniques* (M. Soutif) • *Naissance et diffusion de la physique* (M. Soutif) • *En physique, pour comprendre* (L. Viennot) • *Description de la symétrie. Des groupes de symétrie aux structures fractales* (J. Sivardière) • *Symétrie et propriétés physiques. Des principes de Curie aux brisures de symétrie* (J. Sivardière) • *Magnétisme : I Fondements, II Matériaux* (sous la direction d'E. du Trémolet de Lacheisserie) • *Mathématiques pour les sciences de la vie, de la nature et de la santé* (J.P. Bertrandias & F. Bertrandias) • *Outils mathématiques à l'usage des scientifiques et ingénieurs* (E. Belorizky) • *Méthodes numériques appliquées, pour le scientifique et l'ingénieur* • *Analyse statistique des données expérimentales* (K. Protassov) • *Physique et Biologie* (B. Jacrot) • *Éléments de Biologie à l'usage d'autres disciplines. De la structure aux fonctions* (P. Tracqui & J. Demongeot) • *Science expérimentale et connaissance du vivant* (P. Vignais) • *Respiration et photosynthèse. Histoire et secrets d'une équation* (C. Lance)

et d'autres titres sur le site internet :

<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Quand se lèvent les Pléiades commence la moisson
et sème quand elles se couchent.

HÉSIODE

1 - PRINCIPE DE BASE DE LA STRATIGRAPHIE : LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION

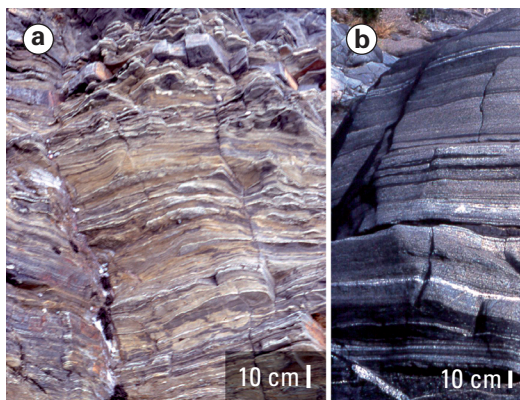
1.1 - DÉFINITION

STENON (1669) observe des séries sédimentaires du Tertiaire de Toscane. Il en tire une loi très simple : un lit sédimentaire est plus jeune que celui qu'il recouvre, et plus vieux que celui qui le recouvre. Dans un ensemble de lits sédimentaires, les lits se succèdent dans le temps, les plus récents reposant sur les plus anciens.

Ce faisant il énonce le **principe fondamental de la stratigraphie** :

"Quant à la position des couches, on pourra regarder comme certaines les propositions suivantes : Au moment où se formait une couche quelconque, il existait sous cette couche un autre corps qui empêchait la descente ultérieure de la matière pulvérulente, et par conséquent où se formait la couche la plus inférieure, il existait en dessous d'elle un autre corps solide, ou bien un fluide différent par sa nature du fluide supérieur, et d'une pesanteur spécifique plus grande que celle du sédiment du même fluide supérieur. A l'époque où se formait une des couches supérieures, la couche inférieure avait déjà acquis une consistance solide." [traduction L. ELIE DE BEAUMONT]

Ce principe est défini à l'échelle de l'affleurement, quelques mètres à quelques dizaines de mètres (Fig. 1.1).



**Fig. 1.1 - Principe de superposition
à l'échelle de l'affleurement**

a - Talus entaillé dans les "schistes et calcaires de Nehou" (région de Carteret, au sud de Cherbourg, Normandie) ; la série du Dévonien inférieur (419-407 Ma) est constituée de l'alternance de bancs de grès calcaires et de pélites. **b** - Gabbros lités du Wadi Haylayn (ophiolite d'Oman, 85 Ma).

Il implique que le matériel constitutif des couches ait subi un processus de dépôt, un processus gravitaire. C'est généralement un dépôt de particules sédimentaires, comme illustré sur la Fig. 1.1a qui montre une superposition de couches, épaisses d'une dizaine de centimètres, constituées de grès calcaires et de pélites. Il peut s'agir aussi de l'accumulation de cristaux dans une séquence de cumulats gabbroïques (Fig. 1.1b).

Ce principe est valable quelle que soit l'échelle d'observation, depuis celle du paysage, comme le montre un panorama de Chartreuse (Fig. 1.2), jusqu'à celle du microscope (Fig. 1.3).



Fig. 1.2 - Principe de superposition à l'échelle du paysage : panorama de Chartreuse (Isère)

La Chartreuse est vue de l'est, depuis les balcons de Belledonne. En montant depuis la vallée du Grésivaudan (alt. 250 m), on observe un premier escarpement calcaire, qui supporte le plateau de Saint-Hilaire-du-Touvet (alt. 1000 m ; il s'agit de la "barre tithonique" (152-145 Ma). Au-dessus se développe, jusque vers 1700 m, un talus constitué de séries marno-calcaires plus tendres du Crétacé inférieur "talus néocomien" (145-131 Ma), plus ou moins recouvert d'éboulis provenant de l'escarpement supérieur. Celui-ci, qui forme la Dent de Crolles (alt. 2026 m), est constitué par la "barre urgonienne" (131-113 Ma) [photo J.P. BOUILLIN].

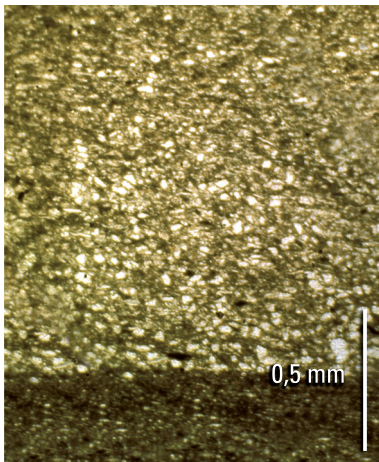


Fig. 1.3 - Principe de superposition à l'échelle de l'échantillon : lame mince de "schistes et calcaires de Nehou"

Observation microscopique d'une lame mince taillée dans un échantillon situé à peu près au milieu de la coupe de la figure 1.1a. On observe le contact entre la base d'un banc de grès calcaire, assez riche en quartz avec un granoclassement des grains, et le sommet du banc pélitique sous-jacent beaucoup plus riche en argiles et où les quartz sont très fins. Observation en lumière polarisée non-analysée (LPNA).

2.2.2 - INCLUSIONS MAGMATIQUES

Certaines roches volcaniques montrent parfois des inclusions. C'est souvent le cas de basaltes qui contiennent fréquemment des éléments de péridotites, et parfois d'autres matériaux comme des granites ou des roches sédimentaires. Ces éléments ont été arrachés à l'encaissant durant la remontée du magma ; ils sont entourés par une auréole (bordure réactionnelle) plus ou moins large. Celle-ci caractérise des réactions entre des matériaux en déséquilibre chimique, induites par la haute température du magma basaltique. Elle est d'autant plus large que le déséquilibre chimique était plus important (Fig. 2.31).

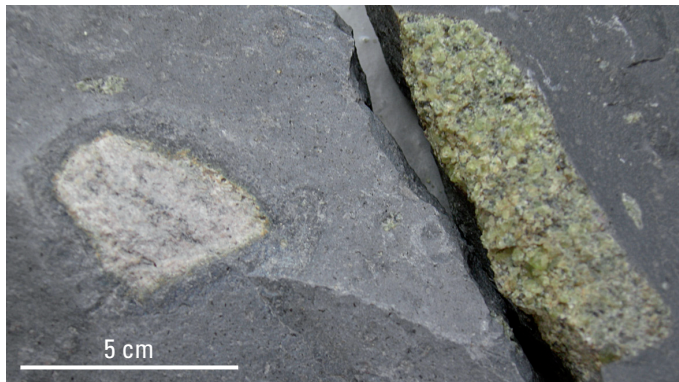


Fig. 2.31 - Inclusions dans un basalte

Carrière de Ringue (Allègre, Haute-Loire) ; on observe des inclusions mantelliques (péridotite vert jaunâtre, longueur 8 cm) et crustales (granite folié gris pâle, grand axe 4 cm) dans le basalte du Mont-Bar (790 000 ans).

2.2.3 - MINÉRAUX

A l'échelle des minéraux, les inclusions sont fréquentes. On observe des cristaux complètement inclus dans d'autres : zircon dans une biotite (Fig. 2.32), biotites incluses dans un grand cristal d'orthose. Ceci renseigne sur l'ordre de cristallisation ou sur les différentes étapes de croissance d'un même minéral (Fig. 2.33).

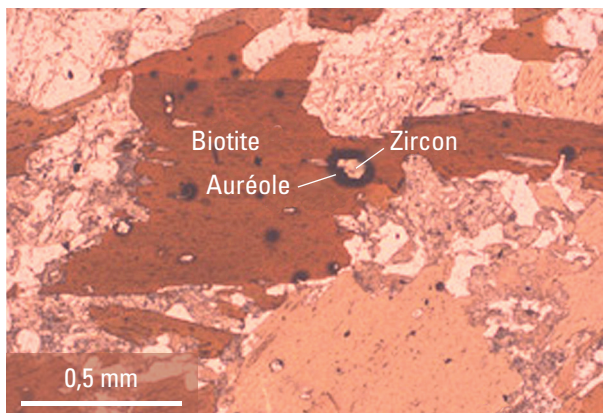


Fig. 2.32 - Principe d'inclusion à l'échelle du minéral

Zircon inclus dans une biotite dans un gneiss panafricain (560 Ma) de Madagascar (Maevatanana). L'uranium contenu dans le zircon a endommagé le réseau cristallin de la biotite [photo J.E. MARTELAT].

*Notre époque ne peut contempler les siècles passés
que si le raisonnement nous en révèle les traces.*

LUCRÈCE

3 - CONTINUITÉ LATÉRALE

La notion et l'énoncé de ce principe sont encore dus à STENON (1669), toujours à partir des observations dans les séries sédimentaires du Tertiaire de Toscane :

"A l'époque où se formait une couche quelconque, elle a été circonscrite latéralement par un autre corps solide, ou bien elle a couvert le globe entier. De là, il résulte aussi que partout où l'on voit à découvert les tranches des couches, on doit, ou trouver leur continuation, ou découvrir un autre corps solide qui arrêta la matière de ces mêmes couches ou l'empêcha de s'étendre." [traduction L. ELIE DE BEAUMONT]

3.1 - CARACTÉRISATION DE LA CONTINUITÉ LATÉRALE

Examinons un panorama de la bordure de l'Adrar de Mauritanie (Fig. 3.1).



Fig. 3.1 - Bordure nord-ouest de l'Adrar de Mauritanie

La séquence sédimentaire du Précambrien supérieur - Cambro-Ordovicien (600-460 Ma) est vue de l'ouest depuis la piste de la passe d'Amogjar. On observe la continuité de la barre inférieure rocheuse, ainsi que celle d'une barre mince à mi-pente et la discontinuité de la barre supérieure, morcelée par l'érosion. Les taches plus claires (orangées) sont dues à des sables éoliens actuels. A noter que cette séquence du Précambrien supérieur - Paléozoïque inférieur se suit dans tout le Sahara, soit sur plusieurs milliers de kilomètres.

4.3 - EFFETS DE LA DÉFORMATION

La déformation joue un rôle fondamental, et assez paradoxal, dans la genèse et la conservation de l'enregistrement du temps. En effet, c'est grâce à la dynamique lithosphérique que sont produits les sédiments, très directement en ce qui concerne les sédiments détritiques, à travers les apports chimiques en ce qui concerne les sédiments biogéniques. C'est donc bien grâce à la dynamique lithosphérique que l'on dispose sur Terre d'un enregistreur suffisamment dilaté pour être précis. Sur les "astres morts", la production sédimentaire se limite la plupart du temps à l'arrosage météoritique et aux débris provoqués par les impacts ; elle est donc extrêmement limitée à la fois en quantité et en surface. Ainsi, sans dynamique lithosphérique, donc sans déformation, l'enregistrement du temps est restreint à sa plus simple expression.

Mais paradoxalement, sur Terre, le même phénomène, la dynamique lithosphérique, aboutit à détruire l'enregistrement. La création de reliefs en surface aboutit à l'érosion des roches préexistantes et donc à la perte de l'information qu'elles contiennent. En profondeur, les conditions thermodynamiques débouchent sur des transformations physiques qui conduisent à remplacer l'information par une autre, et donc encore à la perte de l'information originelle (Fig. 4.31).

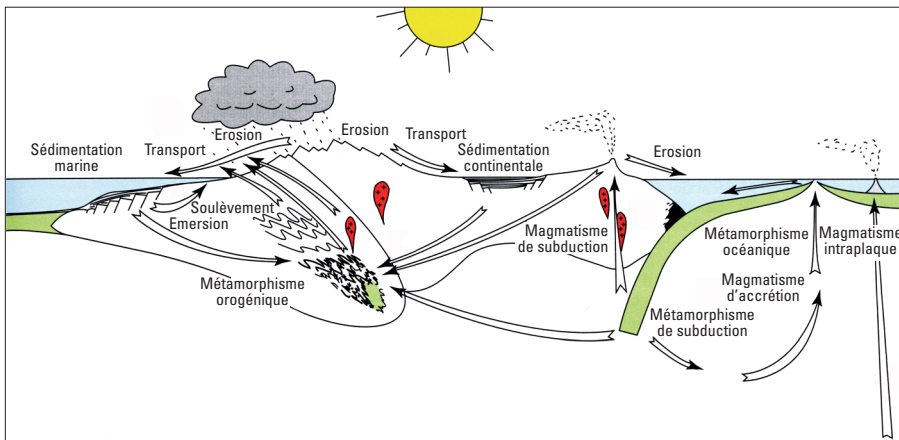


Fig. 4.31 - Cycle de la matière [d'après J.M. CARON *et al.*, 2003]

4.4 - ENREGISTREMENT PAR LES AUTRES TYPES DE ROCHES

Les roches magmatiques et métamorphiques constituent également des enregistreurs du temps. Mais dans ces roches, ce qui est enregistré, c'est un état thermodynamique : état d'équilibre entre différents minéraux, changement d'état par cristallisation... C'est donc le "temps-instant" et non le "temps-durée" qui est conservé. En effet, même si aucun de ces processus n'est réellement instantané, à l'échelle de temps des phénomènes géologiques, on peut les considérer comme tels. Par exemple, les coulées de lave se mettent en place en quelques heures, ou en quelques jours, exceptionnellement quelques mois ; elles peuvent mettre assez

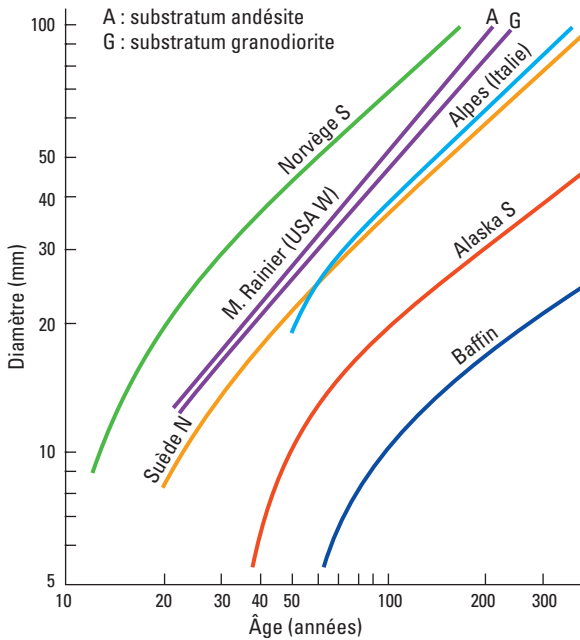
5.2.3 - LICHÉNOMÉTRIE

Les Lichens sont des végétaux composites résultant d'une symbiose Algue - Champignon. Ce sont des végétaux pionniers, qui colonisent rapidement les substratums nouvellement mis à nu, à la suite d'une régression marine, d'un désenglacement, du jeu d'une faille ou d'un éboulement de versant (sans parler des surfaces anthropiques : murs, toitures...). Certaines espèces (Fig. 5.33) supportent des conditions climatiques rigoureuses (hautes latitudes et hautes altitudes).



Fig. 5.33 - *Rhizocarpon geographicum*

Une des espèces de lichens les plus utilisées en lichénométrie : plan de l'Aiguille (2354 m), massif du mont Blanc, Haute-Savoie ; diamètre = 9,5 cm, âge = environ 300 ans [photo J. ASTA].



Les formes à thalle foliacé se développent en formant des taches plus ou moins circulaires qui s'accroissent à chaque saison. On peut donc évaluer, pour une espèce donnée, et dans des conditions climatiques données, une vitesse de croissance moyenne, et ainsi remonter à l'âge de colonisation d'une surface (Fig. 5.34). Cette méthode a été utilisée pour dater des surfaces quaternaires post-glaciaires.

Fig. 5.34 - Courbes d'étalonnage lichénométrique

5.2.4 - INTENSITÉ D'ALTÉRATION

Les roches proches de la surface subissent une altération pédologique qui dépend de la nature de la roche, des conditions climatiques et de la durée d'exposition. A condition d'avoir étalonné ces paramètres, il est possible d'utiliser l'intensité

6.10.1 - MÉTHODE ^{14}C

La méthode au ^{14}C est une des plus anciennement mises en application. Compte tenu de la courte période du ^{14}C (5730 ans), elle ne s'applique qu'à la période récente (moins de 50 000 ans) et est donc souvent mise en œuvre sur du matériel archéologique.

La méthode se fonde sur un petit nombre de principes simples. En premier on admet que le taux de rayonnement cosmique atteignant la haute atmosphère est constant, et donc que le taux de production de ^{14}C est lui-même constant. Ceci n'est vrai qu'en première approximation, et les âges ainsi obtenus sont qualifiés de conventionnels. Il existe des périodes où le bombardement cosmique est plus intense, en particulier lorsque le champ magnétique terrestre est perturbé ("excursion de Laschamps" vers - 41 000 ans) induisant une plus forte production d'isotopes cosmogéniques, et de même les explosions atomiques du xx^{e} siècle ont provoqué une surproduction d'isotopes cosmogéniques (voir Fig. 6.21). Il est donc nécessaire d'effectuer des corrections (voir p. 146) pour obtenir des âges plus réalistes dits âges calendaires.

Admettant donc que le taux de production de ^{14}C soit constant, on aboutit à un équilibre où les rapports des différents isotopes du carbone (^{12}C , ^{13}C et ^{14}C) sont aussi constants. Les êtres vivants producteurs primaires qui fabriquent leur matière organique à partir du CO_2 de l'air ou de l'eau, par fonction chlorophyllienne ou bactériochimie, puisent donc dans un réservoir à composition constante. Les successeurs dans la chaîne alimentaire sont eux-mêmes alimentés par un réservoir (les producteurs primaires) à composition constante. De même les organismes qui sécrètent un test carbonaté (Algues, Foraminifères, Mollusques, Echinodermes...), ou ceux dont le squelette comporte une phase carbonatée (Vertébrés), se fournissent dans des réservoirs à composition isotopique constante (Fig. 6.12 ci-contre).

Tant que l'organisme est vivant, le renouvellement constant de la matière vivante maintient un taux constant. A la mort de l'organisme, le système isotopique se ferme, le ^{14}C commence à décroître, le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ également. On datera ainsi les os, dents, fragments de bois, de tissus et de charbon (par exemple le charbon de bois des torches et du "fusain" ayant servi à dessiner dans la grotte Chauvet, Fig. 6.13), ainsi que certaines coquilles à condition que celles-ci n'aient pas été transformées.

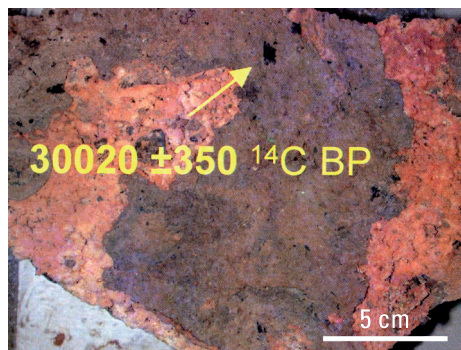


Fig. 6.13 - Age ^{14}C de charbon de bois

Datation d'un fragment de charbon de bois prélevé sous le plancher stalagmitique daté par U/Th (voir Fig. 6.8) dans la grotte Chauvet [d'après D. GENTY *et al.*, 2005].

Les faciès de bassin sont datés, quant à eux, grâce aux Ammonoidés et aux Conodontes (voir Fig. 7.14) et les séries de plate-forme, grâce aux Brachiopodes (Spiriferacés, Productacés... ; Fig. 7.16) et aux Fusulines (Fig. 7.17a et b).

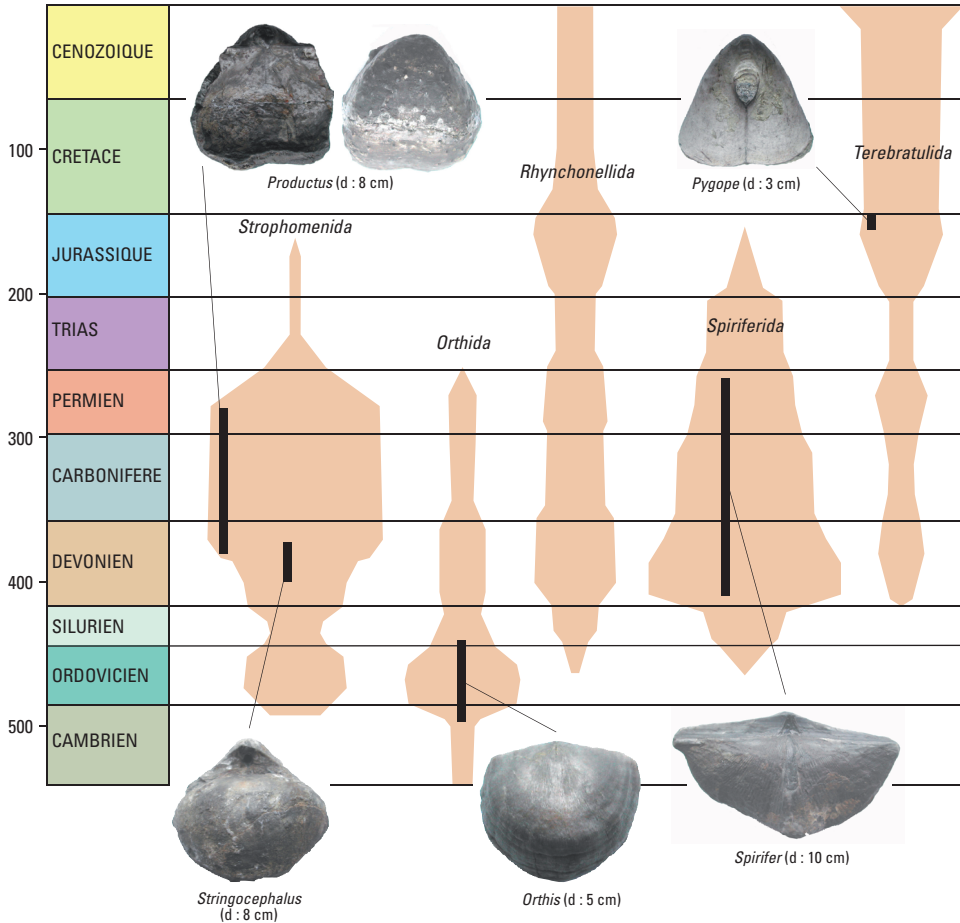


Fig. 7.16 - Répartition stratigraphique de quelques Brachiopodes

Seuls sont représentés quelques ordres ayant un intérêt stratigraphique [d'après C. BABIN, 1971]. Les organismes figurés proviennent de la collection d'enseignement de l'université de Grenoble.

Au Mésozoïque (voir Fig. 7.8), la biostratigraphie marine se fonde toujours sur les Ammonoidés (Ammonites et Cératites ; Fig. 7.18 et 7.26). Du point de vue des Microfossiles, les Conodontes (voir Fig. 7.14) disparaissent avec le Trias, et sont remplacés dans leur rôle par les Foraminifères planctoniques (Fig. 7.19), les Nanofossiles calcaires et les Radiolaires qui se développent largement (Fig. 7.11, 7.20, 7.21) et, au passage Jurassique - Crétacé, par les Calpionelles (Ciliés à test calcifié ; Fig. 7.22). Les Algues calcaires et certains groupes de Lamellibranches (Rudistes) (Fig. 7.23) sont utilisés sur les plates-formes, et les Charophytes pour les milieux lacustres et saumâtres (Fig. 7.24).

Un étage est une époque en tout identique
à l'époque actuelle.

Alcide D'ORBIGNY

8 - ÉCHELLE STRATIGRAPHIQUE

8.1 - ÉTABLISSEMENT D'UNE ÉCHELLE STRATIGRAPHIQUE

L'établissement d'une échelle stratigraphique a été très tôt la préoccupation des chercheurs en Sciences de la Terre (Fig. 8.1 ci-après). Elle était en effet un préalable absolu à tout effort d'analyse de l'évolution terrestre, en particulier à l'établissement de cartes géologiques.

La première carte géologique date de 1793 (William SMITH) ; elle est construite sur une base lithostratigraphique. A l'échelle d'un département (en France), ou d'un comté (en Angleterre), voire à celle d'un bassin, la lithostratigraphie a constitué le premier outil de corrélation. Les descriptions historiques du Tertiaire du Bassin de Paris en constituent un bon exemple (Fig. 8.2).

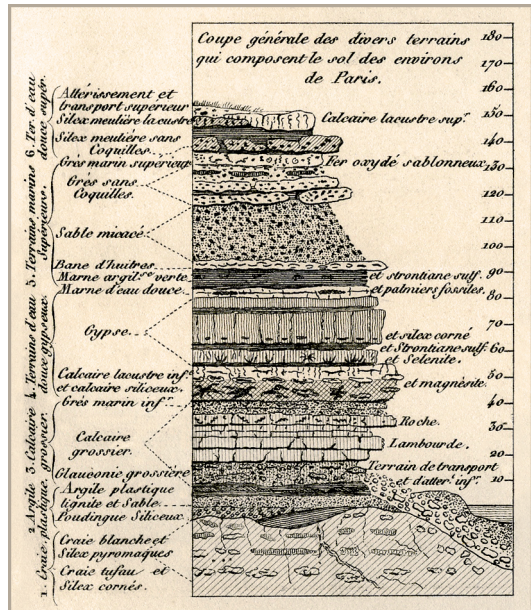


Fig. 8.2 - Le Tertiaire du Bassin de Paris

Premier essai de profil stratigraphique en France par G. CUVIER et A. BRONGNIART (1808, 1811, 1822, 1835)

8.1.1 - SUBDIVISIONS

Sur cette base lithostratigraphique a été défini, entre 1795 et 1841, l'essentiel des grands ensembles qui constituent les systèmes actuels. A l'échelle interrégionale, la lithostratigraphie n'est cependant plus efficace. Nous avons vu plus haut (p. 161) que A. BRONGNIART (1822) avait eu le premier l'idée de corréler des formations différentes du point de vue lithologique, mais identiques du point de vue temporel, grâce

9.5.7 - EXPLOSION DE LA VIE ET CRISES BIOLOGIQUES

A partir de 542 Ma, les fossiles commencent à être abondants et variés. En fait ce moment est celui à partir duquel des organismes à squelette sont présents. Les fabrications biologiques à test résistant ne se limitent plus aux seuls Stromatolites. La très célèbre faune de Burgess Pass (Canada) montre ainsi des représentants de nombreux groupes pourvus de squelette : Cnidaires, Spongiaires, Mollusques, Brachiopodes, Arthropodes, Echinodermes (Fig. 9.12). Elle a fourni plus de 65 000 spécimens, appartenant à 119 genres animaux et 10 végétaux. Sa caractéristique est cependant aussi de comporter de très nombreuses empreintes de formes molles, représentant près de 85 % des espèces et 98 % des récoltes. Ces formes appartiennent à des Algues, Cnidaires, Annélides, Chordés... ; certaines d'entre elles sont d'attribution discutée (*incertae sedis*) ; elles représentent probablement des stades larvaires des groupes précédents.

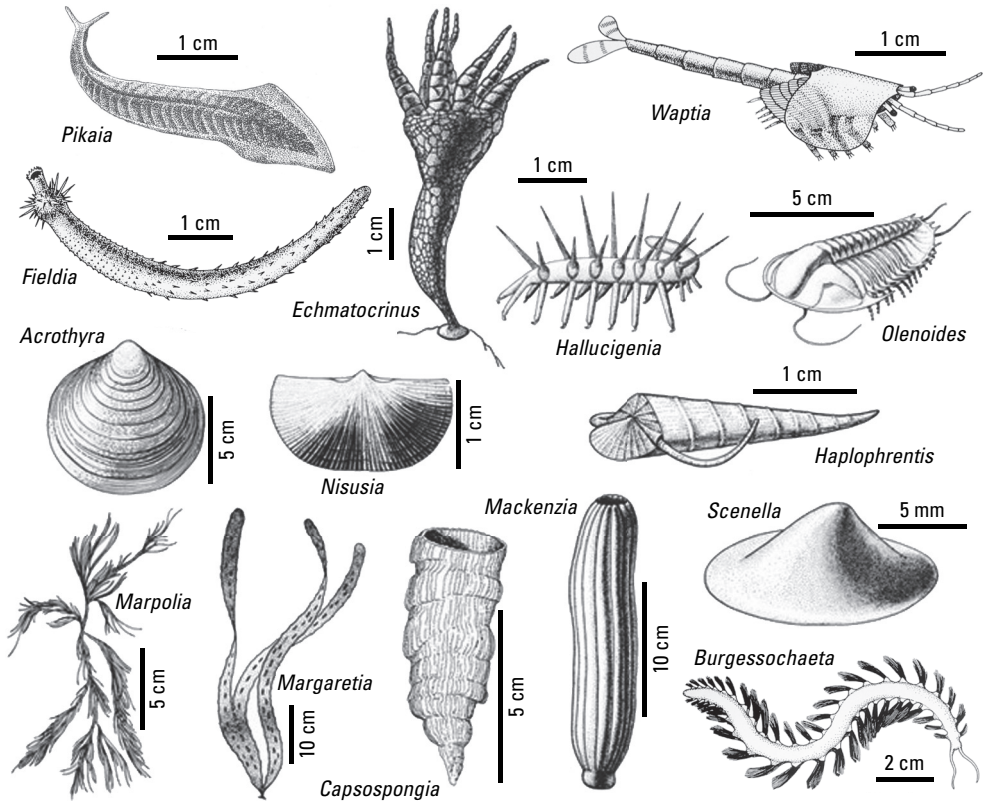


Fig. 9.12 - Quelques représentants des riches faunes du Cambrien (Chenjiang, Burgess, Emu Bay, Sirius Passet, Orsten...)

Pikaia = Chordé [© Vega, www.norarte.es] ; *Waptia* = Crustacé copépode ; *Fieldia* = Priapulien ; *Echmatocrinus* = Crinoïde ; *Hallucigenia* = Onychophore ; *Olenoides* = Trilobite ; *Acrothyra* = Brachiopode inarticulé ; *Nisusia* = Brachiopode articulé ; *Haplophrentis* = Hyolithidé ; *Marpolia* = Cyanobactériale ou Algue verte ; *Margaretia* = Algue verte ; *Capsospongia* = Eponge ; *Mackenzia* = Cnidaire ; *Scenella* = Mollusque monoplacophore ; *Burgessochaeta* = Annélide [d'après D. BRIGGS *et al.*, © 1994, Smithsonian Institution].

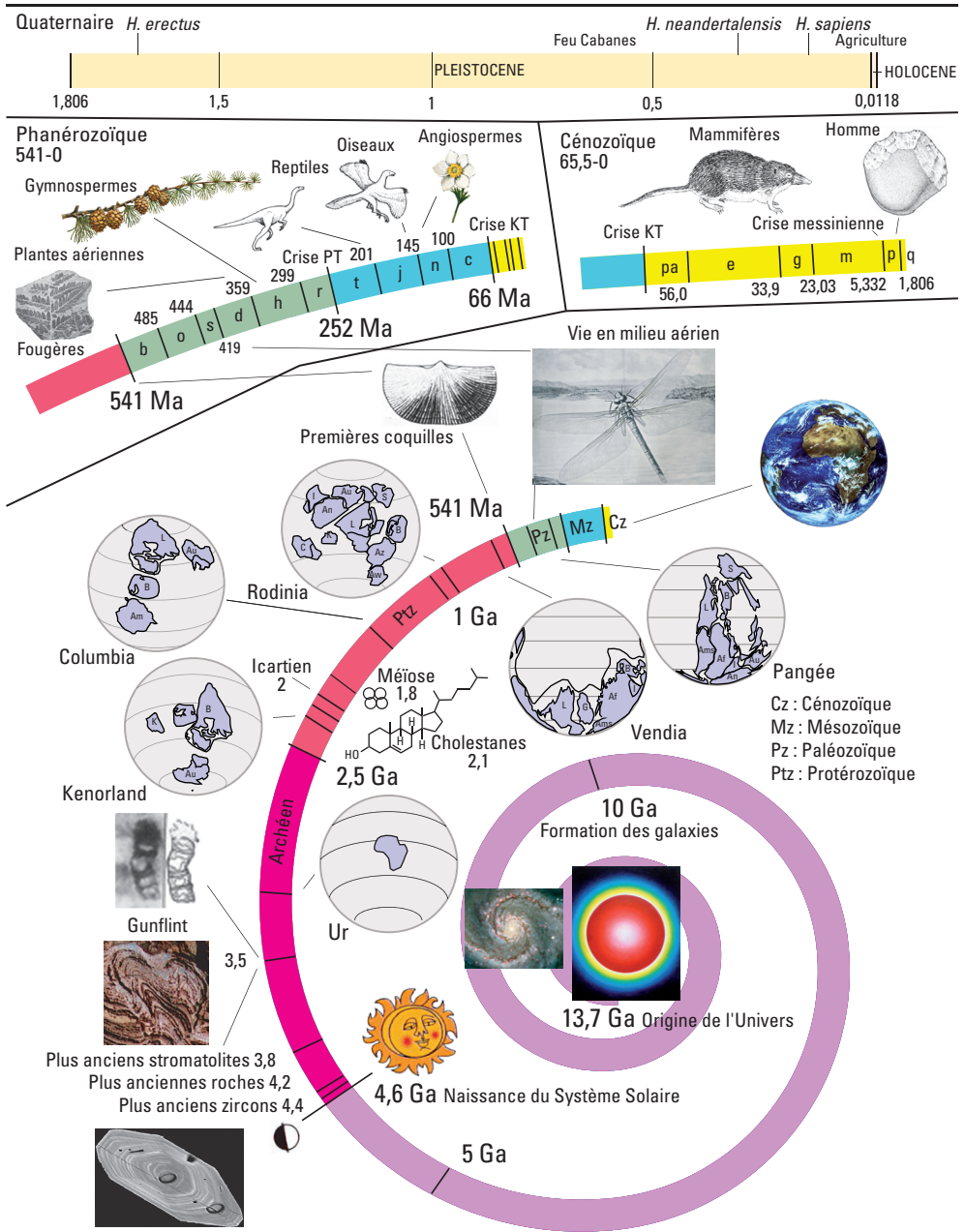


Fig. 10.9 - Le déroulement du temps

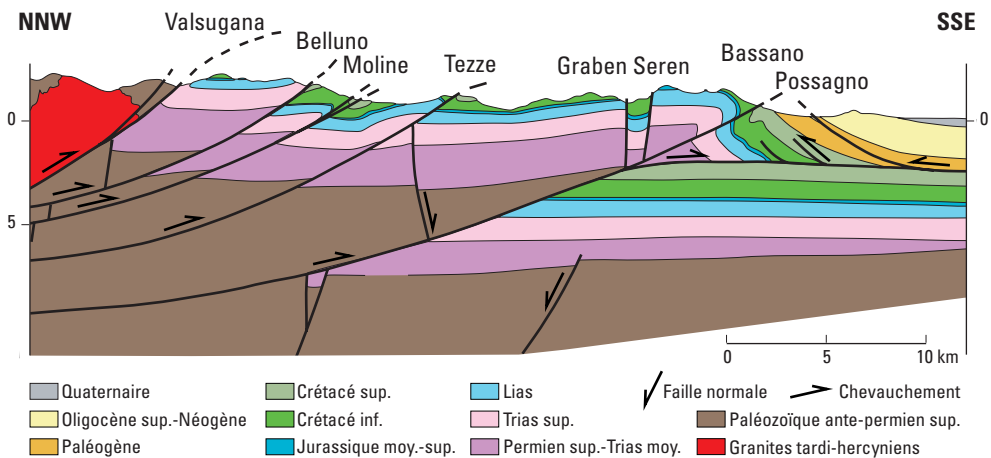
Les roches ont servi de support enregistreur pour à peu près 1/3 de l'histoire du temps, encore que les éléments chimiques qui les composent aient été engendrés pour l'essentiel antérieurement à la naissance du système solaire. On a choisi de représenter un petit nombre d'événements remarquables. Crise PT = extinction de la fin du Permien ; crise KT = extinction de la limite Crétacé - Paléocène ; b = Cambrien ; o = Ordovicien ; s = Silurien ; d = Dévonien ; h = Carbonifère ; r = Permien ; t = Trias ; j = Jurassique ; n = Crétacé inférieur ; c = Crétacé supérieur ; pa = Paléocène ; e = Eocène ; g = Oligocène ; m = Miocène ; p = Pliocène ; q = Quaternaire.

- 1 - Reconstituer l'histoire de la région.
- 2 - Discuter l'âge et le fonctionnement des chevauchements (fig. A et B).
- 3 - Quelle(s) méthode(s) a-t-on pu mettre en œuvre pour obtenir les âges à 18 Ma du granite et des grenats ; aurait-on pu dater d'autres minéraux, si oui comment ?
- 4 - Comment peut-on expliquer la position des zircons d'Ulleri sur le diagramme Concordia ?
- 5 - A supposer que l'on n'ait pas réussi à dater les minéraux du granite, de quels éléments dispose-t-on pour évaluer son âge ?

8 - ALPES MÉRIDIONALES AU NORD DE VENISE

Niveau L2T

La figure est constituée d'une coupe géologique des Alpes méridionales au nord de Venise en bordure de la plaine du Pô.



[d'après C. DOGLIONI. 1992. The Venetian Alps Thrust Belt. In K.R. McCLAY Ed. *Thrust Tectonics*, 319-323]

Paléozoïque ante-Permien moyen (450-272,3 Ma) : série essentiellement clas-tique (pélites et grès) avec quelques niveaux calcaires à fossiles marins (brachiopodes, acritarches, conodontes), plissée et métamorphisée (horizons BP-BT).

Granites tardi-hercyniens : granitoïdes associés à des faciès subvolcaniques alcalins (vers 275 Ma).

Permien supérieur-Trias moyen : série débutant par des grès et conglomérats remaniant les faciès subvolcaniques alcalins (Permien supérieur : 259,8-252,2 Ma), se poursuivant par des grès et pélites (Trias inférieur : 252,2-247,1 Ma) et des calcaires argileux datés par conodontes (Trias moyen : 247,1-237,0 Ma).

Trias supérieur : dolomies (*Dolomia principale*, série que l'on retrouve un peu au NE, dans la région des Dolomites) : 237,0-201,3 Ma.

Lias : calcaires à faciès de plate-forme (algues, oncolites) : 201,3-174,1 Ma.