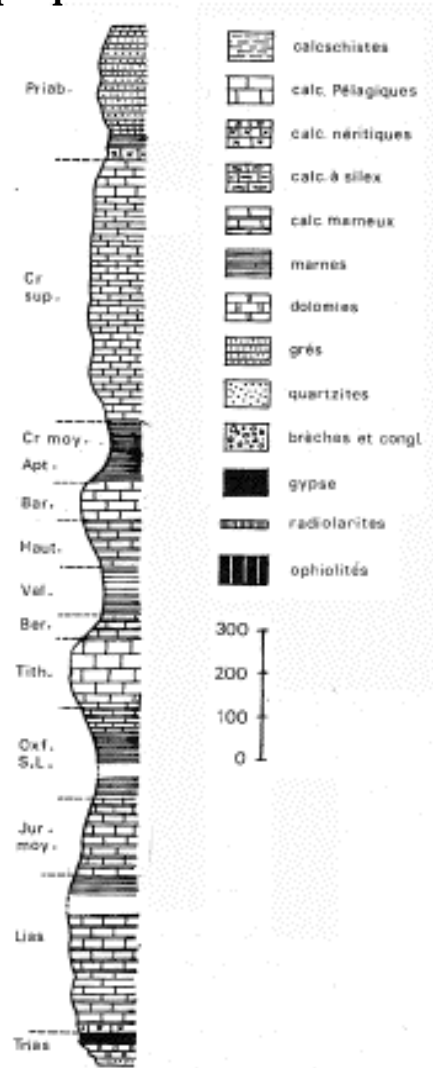


**Figure 1 : Le log stratigraphique**

Le log stratigraphique se présente sous la forme d'une colonne indiquant la succession des couches géologiques. Pour chaque couche, il précise :

- son **épaisseur** : elle est quantifiée le long d'un axe vertical gradué
- sa **dureté** : elle est représentée de façon relative horizontalement. Plus une couche est dure, plus sa largeur est importante. Par exemple, les marnes forment un creux dans le log alors que les calcaires forment un bombement.
- sa **lithologie** : la nature de la roche est représentée par un figuré caractéristique (voir fiche méthode coupe géologique, chapitre 20)
- le **contenu fossilifère**, les **figures sédimentaires** le cas échéant.

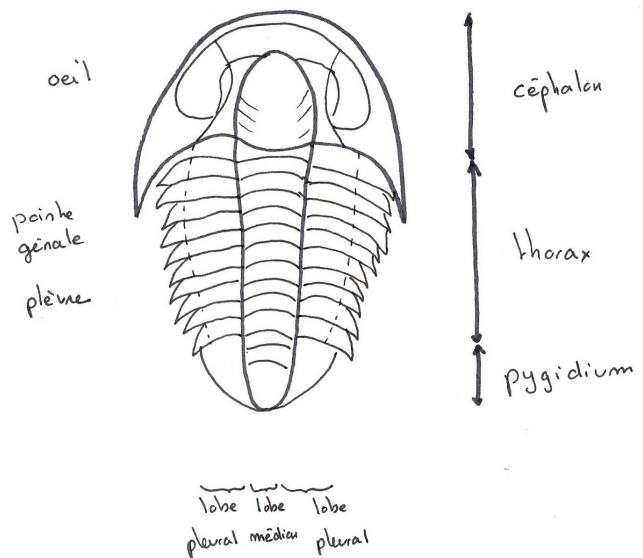
La figure ci-dessous présente un exemple de log stratigraphique réalisé dans la Zone Dauphinoise des Alpes, d'après Fournier *et al.*, 2008).



**Figure 2 : Quelques exemples de familles utilisées en stratigraphie**

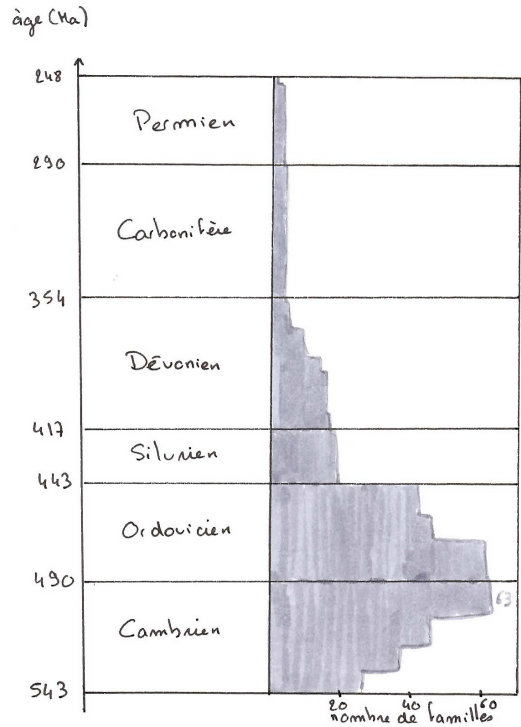
**Trilobites**

Les trilobites sont des athropodes trilobitomorphes dont la cuticule est divisée en 3 parties : **céphalon, thorax et pygidium**



Les fossiles peuvent correspondre à des individus morts ou à des exuvies (cuticule abandonnée par un individu au cours de la mue) ou encore à des traces (ichnofossiles).

Ce sont des fossiles très utilisés pour la datation du **Paléozoïque** en raison de leur quasi omniprésence dans les environnements marins. On les retrouve dans les terrains du Paléozoïque, mais c'est à la fin du Cambrien et à l'Ordovicien que leur diversification est maximale. Le nombre de famille diminue à la fin de l'Ordovicien ainsi qu'à la fin du Silurien. Ils disparaissent définitivement à la crise Paléozoïque / Mésozoïque (Permien/Trias).



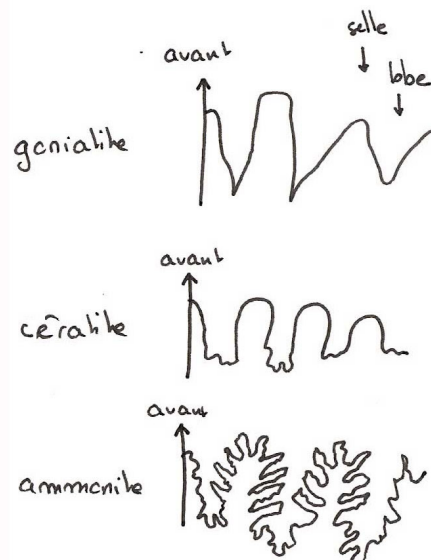
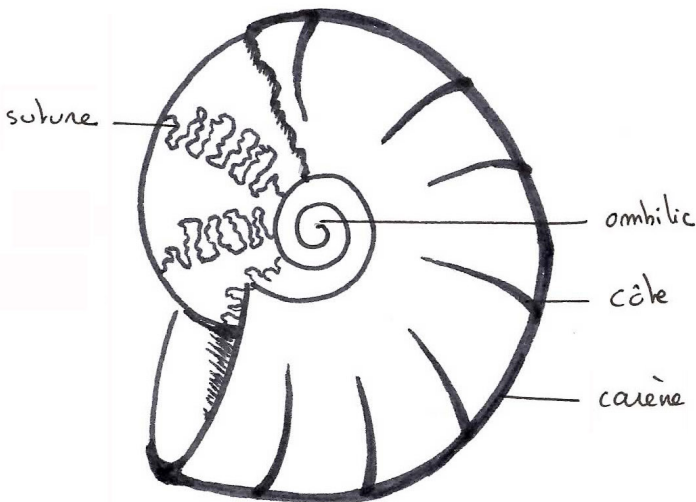
**Ammonoïdés**

Ces sont des céphalopodes, dont le corps mou était protégé par un test calcaire (aragonite) plus ou moins enroulé en spirale dans un plan (planispiralé). La coquille est divisée en plusieurs loges communiquant par un siphon : l'animal occupait la dernière loge, les autres étant remplies de gaz ou d'eau selon que l'animal montait ou descendait dans la tranche d'eau.

Les tests peuvent présenter des côtes qui assurent un renforcement du squelette et une carène sur le bord externe. Ils se différencient par :

- la géométrie des lignes de suture : ces lignes correspondent aux jonctions entre loges successives et sont caractéristiques de chaque espèce. Elles sont visibles sur les moulagés internes des coquilles ou après élimination des couches externes de la coquille. On distingue les selles (convexité tournée vers l'avant) des lobes (convexité tournée vers l'arrière). La géométrie des sutures s'est diversifiée et complexifiée au cours du temps et permet de caractériser les 3 grands groupes d'ammonoïdés :

- **les goniatites** : les sutures sont simples et présentent des angles aigus.
- **les céralites** : les selles sont lisses alors que les lobes sont découpés.
- **les ammonites** : les selles et les lobes ont un aspect persillé.



- le type d'enroulement : l'enroulement peut être plan ou non (certaines espèces sont hélicoïdales à la manière des gastéropodes), les tours de spires peuvent se recouvrir les uns les autres (coquille involute) ou non (coquille évolutive) ; ils peuvent également ne pas se toucher dans le cas des coquilles déroulées.

- la position du siphon qui peut être ventral ou dorsal.

La taille des fossiles va de quelques millimètres à plus de 2m

Les ammonoïdés sont apparus au Paléozoïque et ont disparu à la crise Crétacé/Cénozoïque.

Chaque groupe présente une répartition temporelle caractéristique :

goniatites: du Dévonien à la fin du Permien

cératites : Trias

ammonites : du Jurassique inférieur à la fin du Crétacé

Les différentes espèces de ces groupes sont utilisées pour faire des découpages temporels précis au sein de ces périodes.

Remarque : le seul représentant actuel du groupe le plus proche des ammonoïdés est le **nautilé** qui appartient aux nautiloïdés



Clichés de fossiles et moulages d'ammonoïdés. goniatite, *Harpoceras Falciferum*, cératite, *Lytoceras* sp

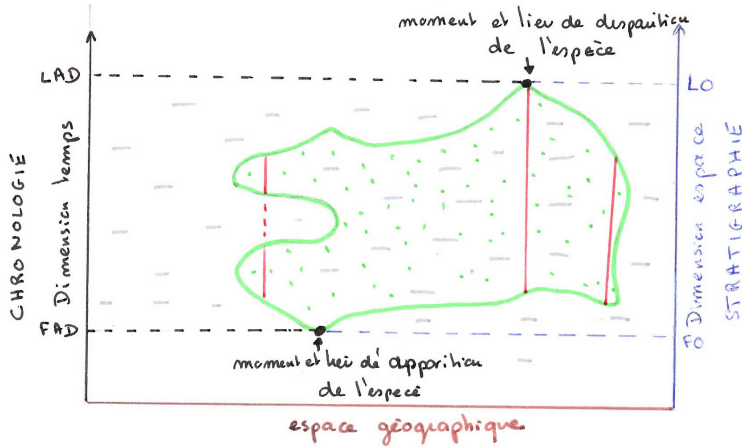
### **Foraminifères**

Ce sont des organismes unicellulaires qui, du fait de leur taille réduite, présentent une très grande abondance dans les roches sédimentaires (leur taille varie de moins d'un mm à quelques cm). Ils présentent un test (calcaire ou non) qui peut être fossilisé. Les foraminifères peuvent être planctoniques (ils forment actuellement près de 10% du zooplancton) ou benthiques (fixés sur le fond marin). Le nombre d'espèces fossiles est estimé à environ 38 000, celui des espèces actuelles serait compris entre 10 000 et 20 000. Voir TPdatation.

Leur grande abondance dans les sédiments, leur évolution rapide et leur très grande répartition dans les milieux marins font des Foraminifères d'**excellent fossiles stratigraphiques**. Ce sont aussi de très bons marqueurs des paléo environnements du fait de leur grande sensibilité aux conditions physico-chimiques (on peut les utiliser par exemple pour reconstituer le paléoclimat.)

D'autres microfossiles sont utilisés comme les graptolithes (très utilisés dans les terrains d'âge Ordovicien et Silurien), les conodontes (Dévonien au Trias).

**Figure 3 : Notion de biozone et chronozone**



— topozones : extension de l'espèce dans un site donné.

□ biozone

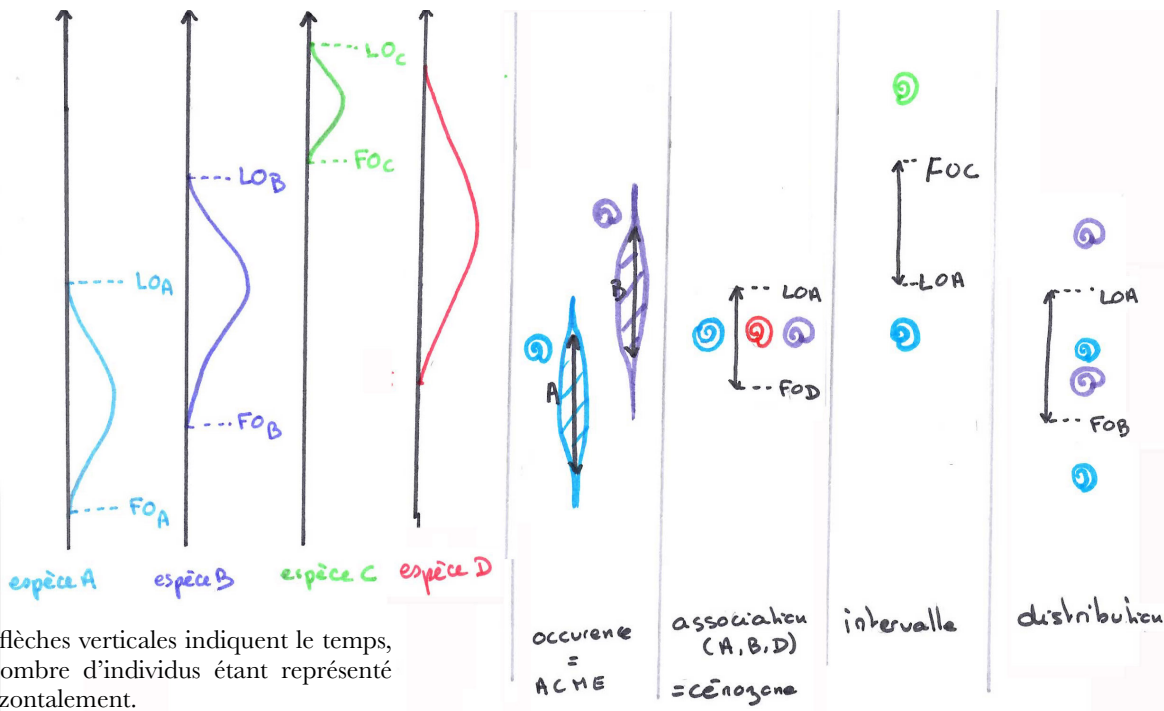
□ chronozone

L'apparition de l'espèce et sa disparition ont eu lieu dans des régions différentes.

FO et FAD ne sont pas toujours identiques : en effet dans le cas où très peu d'affleurements présentent le FO de l'espèce, la probabilité pour que cette apparition corresponde à l'apparition réelle de l'espèce dans le temps (FAD) est faible.

Différents types de biozones peuvent être utilisés : **à titre de document**

- la biozone d'**acmé** : elle correspond aux terrains contenant une forte abondance d'une forme donnée.
- la biozone d'**occurrence** : elle correspond aux terrains où est présente une forme donnée
- la biozone d'**association** : elle correspond aux terrains contenant une association unique de différentes formes
- la biozone d'**intervalle** : elle regroupe les terrains situés entre les apparitions et les disparitions de deux formes
- la biozone de **distribution** : elle contient les terrains situés entre l'apparition d'une forme et la disparition d'une autre



Les flèches verticales indiquent le temps, le nombre d'individus étant représenté horizontalement.



**Figure 4 : Quelques exemples d'étages**

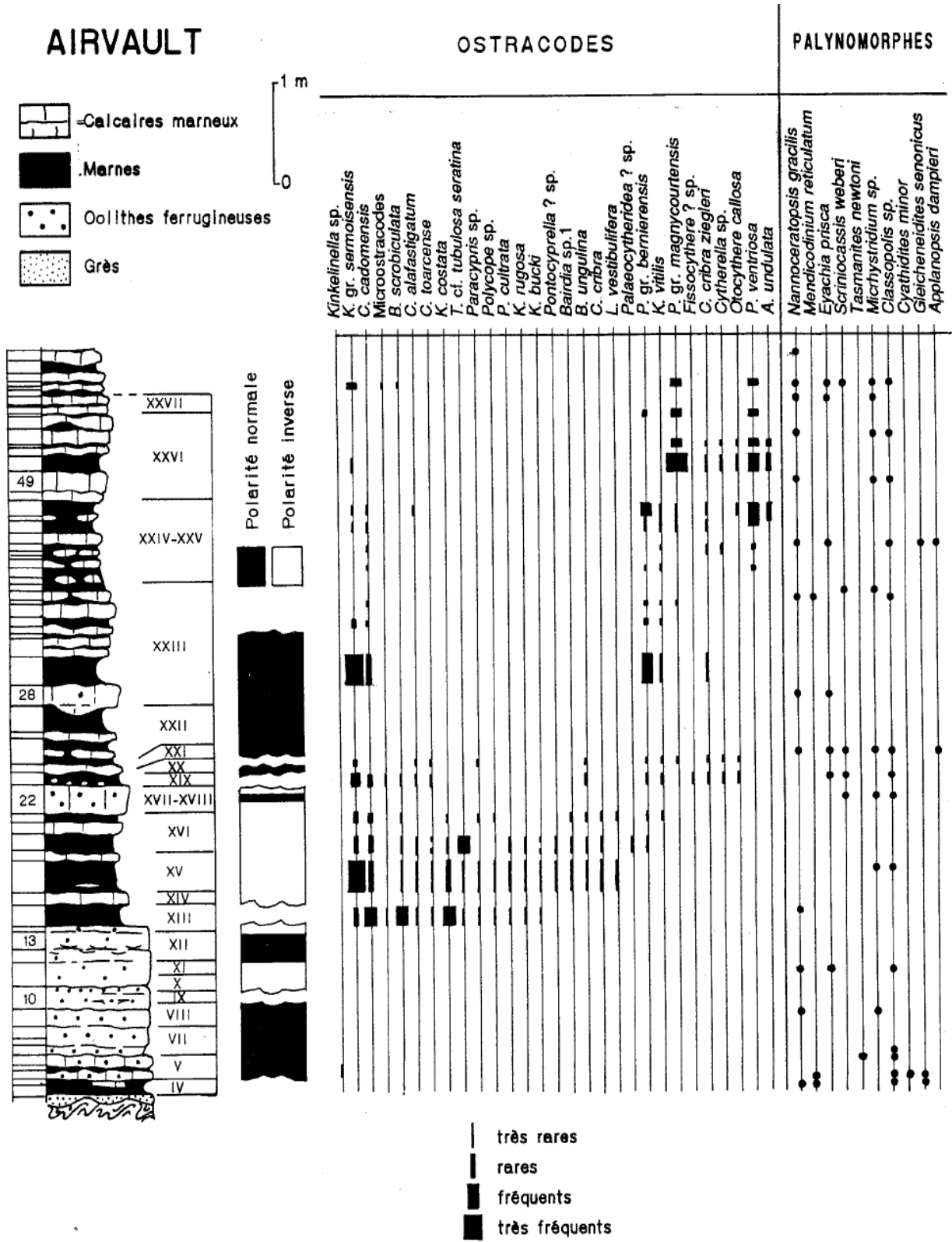
Nom de l'étage	Auteurs	Origine	Fossile
<b>Aquitanién</b>	Mayer-Eymar, 1858	Aquitaine	Coccolite, foraminifère
<b>Lutétien</b>	De Lapparent, 1883	<i>Lutetia</i> (Paris en latin)	Foraminifère
<b>Campanien</b>	Coquand, 1857	Champagne	Crinoïde
<b>Cénomanién</b>	D'Orbigny, 1847	Le Mans	Foraminifère (globotruncanidé)
<b>Toarcién</b>	D'Orbigny, 1849	Thouars	Ammonite
<b>Sinémurien</b>	D'Orbigny	Semur-en Auxois (Côte d'Or)	Ammonite
<b>Roadien</b>	Furnish, 1973	Road, Texas	Conodonte

**Figure 5 : un exemple de stratotype, le Toarcién**

Le stratotype du Toarcién a été décrit pour la première fois par d'Orbigny en 1849 au niveau d'une carrière située au Nord-Ouest de Thouars (Centre-Ouest de la France). Différentes approches stratigraphiques (lithostratigraphie, biostratigraphie, magnétostratigraphie, chimiostratigraphie) ont par la suite permis de déterminer des horizons distincts au sein du Toarcién.

Cet étage est actuellement défini à partir de deux affleurements : la carrière choisie par d'Orbigny, carrière dite « de Vrines » et une autre carrière proche située à Airvault.

Les figures ci-dessous présentent les résultats obtenus au niveau de la coupe d'Airvault.



Stratotype du Toarcien (carrière de Clairvault). Les palynomorphes sont des microfossiles à paroi organique.

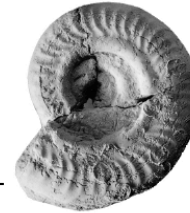
### Résultats de la lithostratigraphie

Les premiers niveaux du Toarcien sont formés de calcaire gréseux : ils sont surmontés de calcaires à oolithes ferrugineuses. Les niveaux supérieurs sont formés d'une alternance de calcaires marneux et de calcaires à oolithes ferrugineuses.

### Résultats de la biostratigraphie

**Les ammonites** : l'étude de leur répartition permet de définir 27 horizons, chacun caractérisé par la présence d'une espèce (biozone).

Zones	Sous-zones	Horizons	N°
Aalensis	Buckmani	Buckmani	XXVII
	Aalensis	Aalensis	XXVI
	Maetra	Subcompta	XXV
		Maetra	XXIV
Pseudoradiosa	Pseudoradiosa	Explanata	XXIII
	Levesqui	Levesqui	XXII
Insigne	Insigne	Gruneri	XXI
		Insigne	XX
	Fallaciosum	Fallaciosum	XIX
Thouarsense	Fascigerum	Fascigerum	XVIII
	Thouarsense	Thouarsense	XVII
		Doertense	XVI
	Bingmanni	Bingmanni	XV
Variabilis	Vitiosa	Vitiosa	XIV
	Illustris	Illustris	XIII
	Variabilis	Variabilis	XII
Bifrons	Semipolatum	Semipolatum	XI
	Bifrons	Bifrons	X
		Lusitanicum	IX
	Sublevisoni	Commune	VIII
		Sublevisoni	VII
		Falciferum	Falciferum
Serpentinus	Falciferum	Pseudoserpentinum	V
		Strangewaysi	IV
	Strangewaysi	Elegantulum	III
Tenuicostatum	Semicelatum	Semicelatum	II
	Costatum	Paltus	I



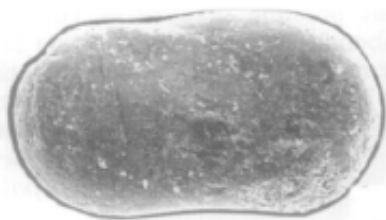
*Hildoceras lusitanicum* Meister, 1913



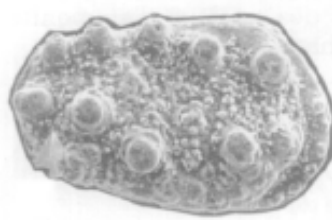
*Harpoceras falciferum* (Sowerby, 1820)

Echelle : 1 cm.

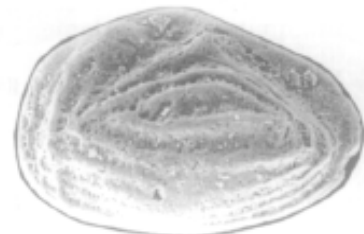
**Les microfossiles** : les conditions de dépôt (milieu agité) n'ont pas été propices au dépôt de foraminifères, qui sont quasi absents. En revanche, de nombreux ostracodes ont été identifiés dans les différents horizons : ils permettent de préciser le découpage proposé à partir des biozones d'ammonites et de reconstituer les conditions du paléoenvironnement (environnement plus ou moins profond).



*Praesehuleridea magnycourtensis*  
APOSTOLES CU, 1959.



*Praesehuleridea ventriosa*  
PLUMHOFF, 1963.



*Otocythere callosa*  
TRIEBEL & KLINGLER, 1959

**La flore** : des études palynologiques ont été réalisées sur l'ensemble du Toarcien. Elles montrent la présence de fossiles qui sont d'origine continentale et marine (plancton).

Résultats de la magnétostratigraphie : la plupart des roches du Toarcien ont enregistré le champ magnétique qui régnait au cours de leur formation. En effet, les calcaires marneux possèdent de la magnétite et les calcaires gréseux ou à oolithes présentent de la magnétite et de la goethite. Ces études permettent de proposer une séquence de polarité magnétique : cette séquence facilite les corrélations entre les différentes biozonations à ammonites, et donc entre les roches formées à Thouars et celle de même âge mais formées dans d'autres environnements (qui n'ont pas nécessairement la même lithologie en raison de variations latérales de l'environnement). Ce type d'approche permet de mettre en évidence les éventuels hiatus de sédimentation.

Les différentes approches se complètent et permettent de proposer une évolution du paléoenvironnement au cours du Toarcien :

- Toarcien inférieur : milieu marin à haute énergie correspondant à un épisode transgressif. La zone à Bifrons correspond sans doute à la surface d'inondation maximale.
- Toarcien moyen et supérieur: haut niveau marin plus calme.

Remarques : d'autres données telles que l'étude de la matière organique présente associée à des études de géochimie permettent également de proposer un modèle de stratigraphie séquentielle.

**Figure 6 : Quelques exemples de GSSP** (d'après www.stratigraphy.org)

Etage	Localisation du clou d'or	Evénements
Aquitaniens	Carrosio (Italie) 44.6589°N 8.8364°E	Première apparition (FAD) du foraminifère <i>Paragloborotalia kugleri</i> . Proche de la disparition du nanofossile <i>Reticulofenestra bisecta</i>
Sinemurien	East Quantoxhead (Angleterre) 51.1909°N 3.2364°W	Première apparition (FAD) d'ammonites du genre <i>Vermiceras</i> ( <i>Vermiceras quantoxense</i> et <i>Vermiceras palmeri</i> )
Roadien	31.8767°N 104.8768°W	Première apparition (FAD) du conodonte <i>Jinogondolella nankingensis</i>

**Figure 7 : Exemple d'un GSSP : la limite Hettangien-Sinemurien**

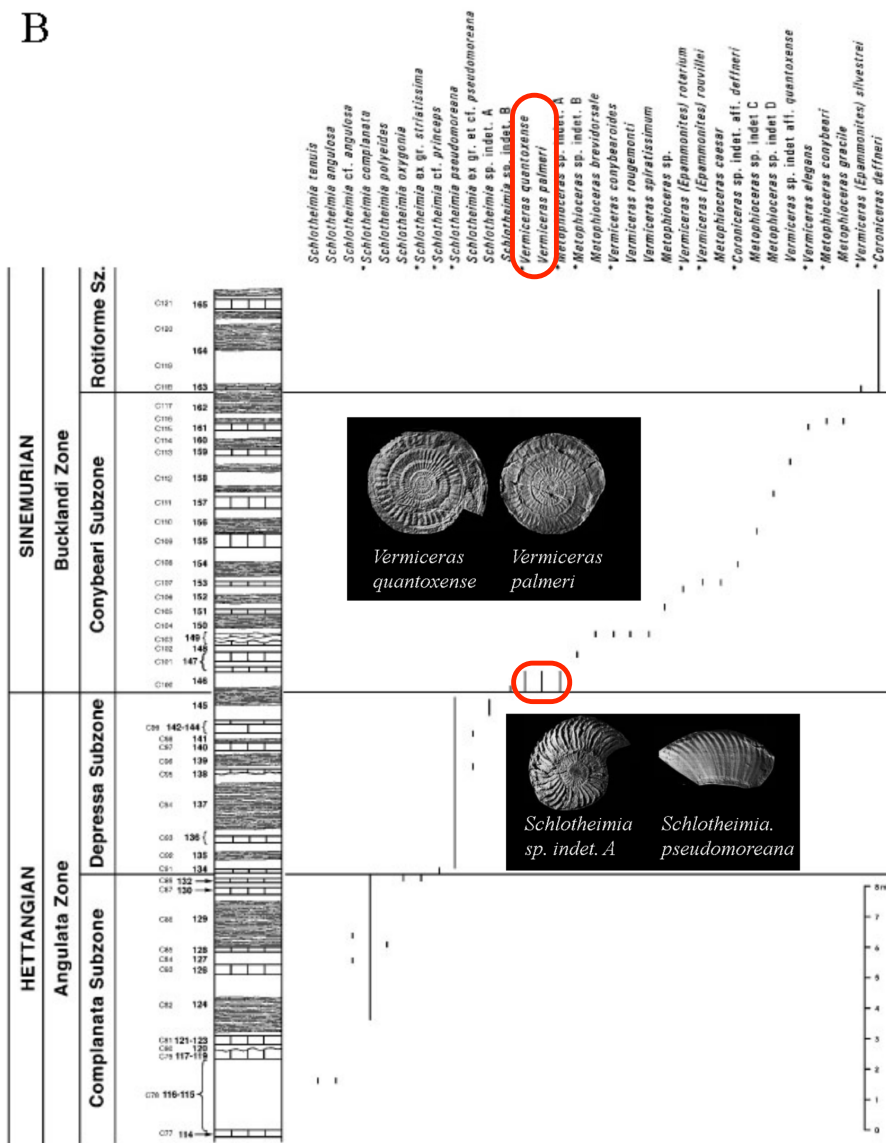
(extrait et adapté d'après Bloos, G. et Page, K. (2002) *Episodes* vol.25, n°1, 22-28)

La base du Sinémurien, deuxième étage du Jurassique inférieur après l'Hétangien, est définie au niveau d'une falaise située dans le sud-ouest de l'Angleterre (à proximité de la ville d'East Quantoxhead). Cette falaise d'environ 27m est formée de strates bien identifiables (sur la photo ci-dessous, chaque strate est identifiée par un numéro) et présentant une répétition cyclique de schistes bitumineux - marne - calcaire - marnes. Le niveau repère du Sinémurien ou GSSP se situe dans un niveau de schiste bitumineux (strate 145 des figures A et B) : il est caractérisé par l'apparition de deux ammonites : *Vermiceras quantoxense* et *Vermiceras palmeri* (figure B ci-dessous).





B



A : affleurement de Quantoxhead

B : log stratigraphique de Quantoxhead. Blanc : marnes ; gris : sables bitumineux ; hachures verticales : calcaire. A droite sont indiquées les différentes biozones. La base du Sinémurien est définie par l'apparition de *Vermiceras quantoxense* et *Vermiceras palmeri* qui définissent le GSSP.

### Figure 8 : Echelle chronostratigraphique.

Les âges absolus sont obtenus par des techniques de radiochronologie.

Quelques repères :

- la limite Hadéen/Archéen : elle correspond aux plus vieilles roches connues (4Ga, gneiss d'Acasta dans la Province de l'esclave au Canada).
- la limite Archéen/Protérozoïque (2,5Ga) est corrélée à l'âge de refroidissement du grand dyke du Zimbabwe. Elle correspond au moment où l'atmosphère devient plus riche en dioxygène et à une période de croissance maximale de croûte continentale (transition vers une tectonique semblable à l'actuelle). La tectonique qui était globalement verticale à l'Archéen passe pour l'essentiel à des mouvements horizontaux au Protérozoïque, en lien avec le refroidissement global.
- la base du Cambrien est marquée par l'apparition de la coquille carbonatée
- la limite Paléozoïque/Mésozoïque correspond à la crise permo-trias
- la limite Mésozoïque/Cénozoïque est déterminée par la crise Crétacé-Tertiaire.
- l'Holocène correspond au dernier optimum glaciaire.

### Divisions de l'échelle chronostratigraphique

Chronostratigraphie	Géochronologie
éonothème	éon
érathème	ère
système	période
série	époque
étage	âge

- les **étages (âges)** : ce sont les unités de base de la stratigraphie. Exemple : l'Hettangien, le Sinémurien...
- les **séries (époques)** : elles regroupent des étages. Par exemple, l'Hettangien, le Sinémurien, le Pliensbachien et le Toarcien forment le Jurassique inférieur. Le Jurassique est ainsi divisé en 3 séries : le Jurassique inférieur, le Jurassique moyen et le Jurassique supérieur.
- les **systèmes (périodes)** : ils regroupent des séries. Par exemple, le Trias, le Jurassique et Crétacé sont 3 systèmes formés chacun de plusieurs séries.
- les **érathème (ères)** : les érathèmes regroupent des systèmes. Le Trias, le Jurassique et le Crétacé forment par exemple l'ère mésozoïque.
- les **éonothème (éons)** : ce sont les plus grandes subdivisions, elles regroupent les érathèmes et sont au nombre de 4 : l'Hadéen, l'Archéen, le Protérozoïque et le Phanérozoïque. L'Archéen, le Protérozoïque et l'Hadéen sont regroupés sous le terme de Précambrien. Le Phanérozoïque est formé des 3 ères : Paléozoïque, le Mésozoïque et le Cénozoïque.

### Les 27 stratotypes définis en France.



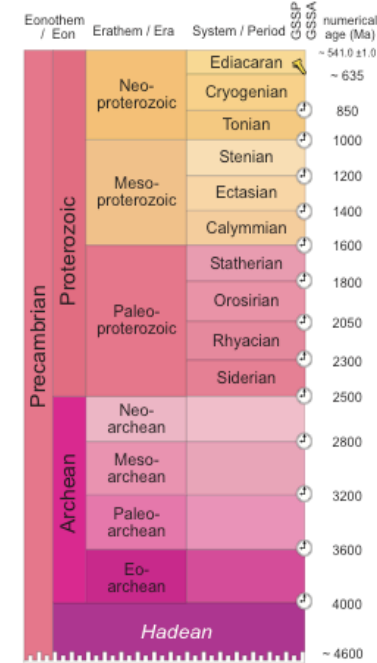
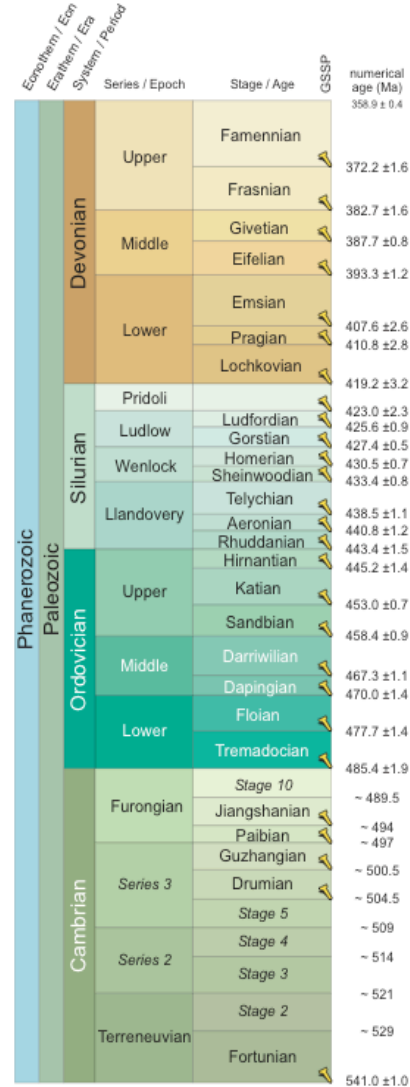
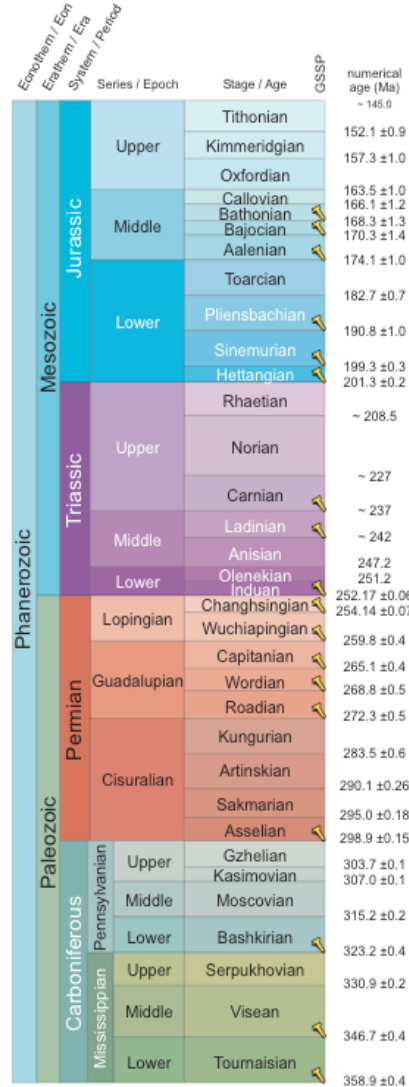
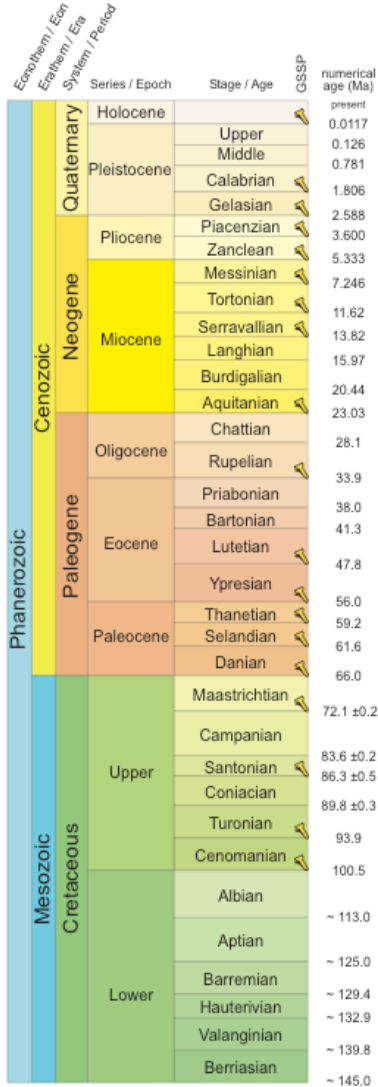


# INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2013/01



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Numerical ages for all systems except Permian, Triassic, Cretaceous and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Permian, Triassic and Cretaceous were provided by the relevant ICS subcommissions.

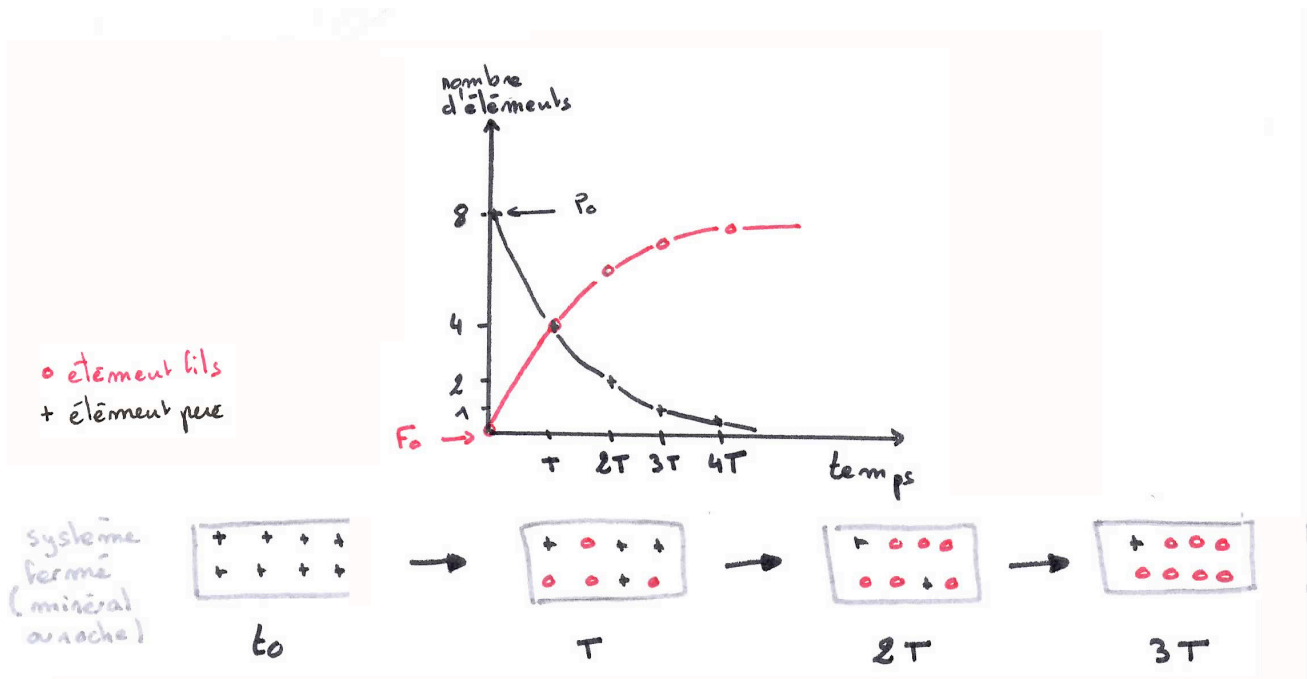
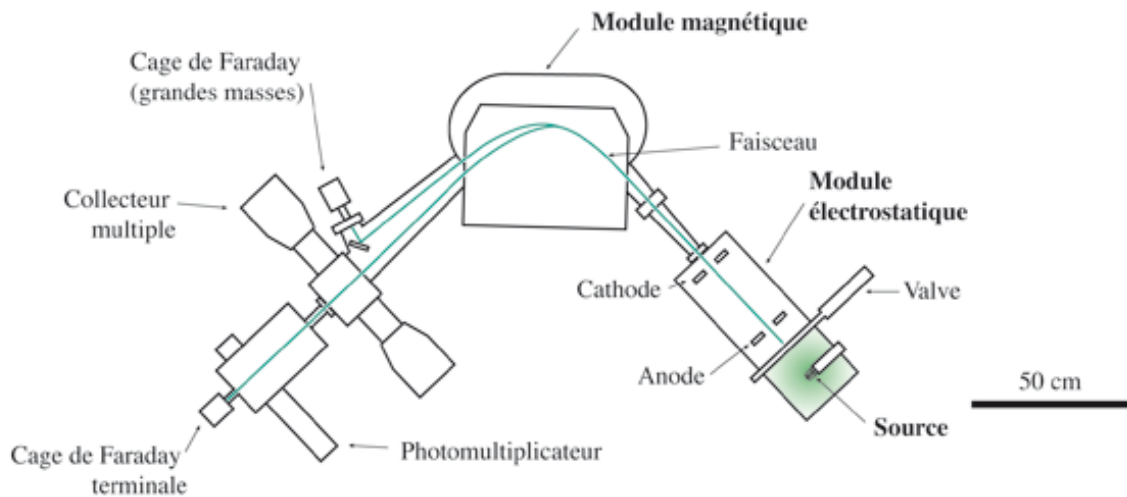
Coloring follows the Commission for the Geological Map of the World. <http://www.ccgw.org>



Chart drafted by K.M. Cohen, S. Finney, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, January 2013

<http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2013-01.pdf>

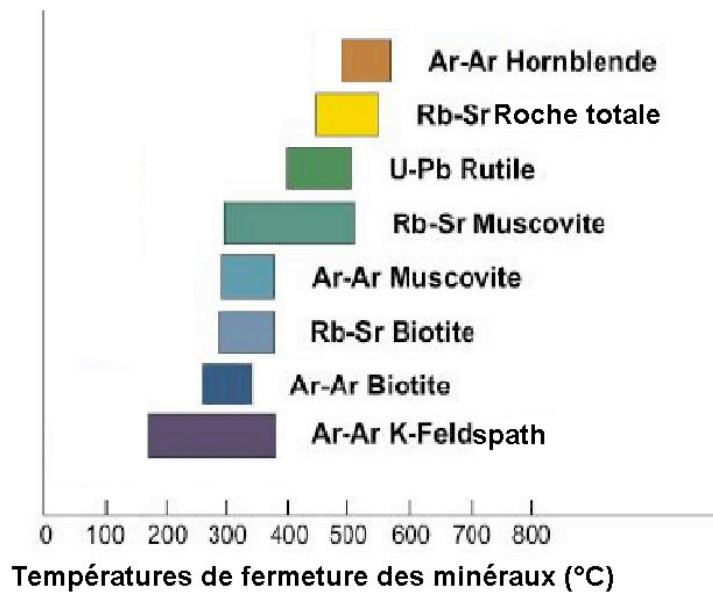


**Figure 9 : Désintégration d'un élément radioactif dans un système fermé****Figure 10 : Modèle de fonctionnement d'un spectromètre de masse.****Schéma de principe d'un spectromètre de masse (modifié du VG Elemental plasma instrument)**

Un spectromètre de masse se compose de 4 modules successifs :

- une source : un filament sur lequel est déposé le produit de la dissolution du ou des minéraux à dater. Son chauffage ionise et volatilise les isotopes à doser.
- un module électrostatique qui accélère les ions selon leur charge et leur masse. A charge égale, les ions les plus lourds ont la plus grande vitesse en sortie du module.
- un module magnétique qui dévie les ions selon leur vitesse. Les ions les plus lourds sont les moins déviés.
- un module d'analyse qui compte les abondances relatives des différents isotopes. Un standard de concentration connue peut être ajouté à l'échantillon pour convertir ces abondances relatives en concentrations.

**Figure 11 : Température de fermeture de différents minéraux et pour différents chronomètres**



**Figure 12 : quelques exemples d'éléments radioactifs utilisés en Sciences de la Terre**

Elément radioactif	Elément radiogénique	Période de l'élément	Type de roche, minéraux	Gamme d'âge
$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N}$	5730	Matière organique	Actuel à 50 000 ans
$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	$48,8 \cdot 10^9$	Minéraux alcalins	>10Ma
$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ar}$	$1,25 \cdot 10^9$	Minéraux potassiques	1Ma à 4Ga
$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$	$4,47 \cdot 10^9$	Minerais d'uranium, zircons	>quelques dizaines de Ma

**Figure 13 : Résultats Rb/Sr obtenus sur roche totale ou minéraux isolés.**

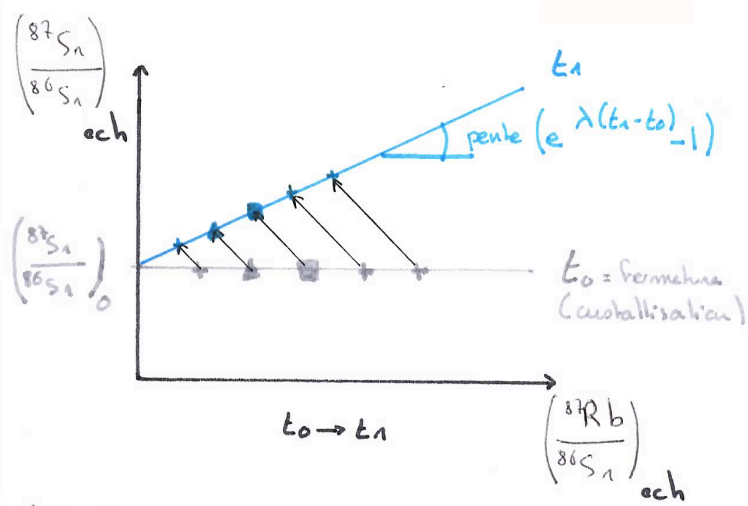
A : évolution des rapports au cours du temps **après la fermeture** à  $t_0$  : les minéraux s'enrichissent en isotopes fils  $^{87}\text{Sr}$  et s'appauvrissent en isotopes pères  $^{87}\text{Rb}$ . Les différents minéraux sont alignés sur une droite qui permet de proposer un **âge de fermeture**, l'âge de formation des roches ici.

B : la **réouverture** des minéraux suite à un réchauffement par exemple homogénéise leurs rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Tous les minéraux ont un rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  identique à celui de la roche totale. Des roches différentes gardent des rapports différents.

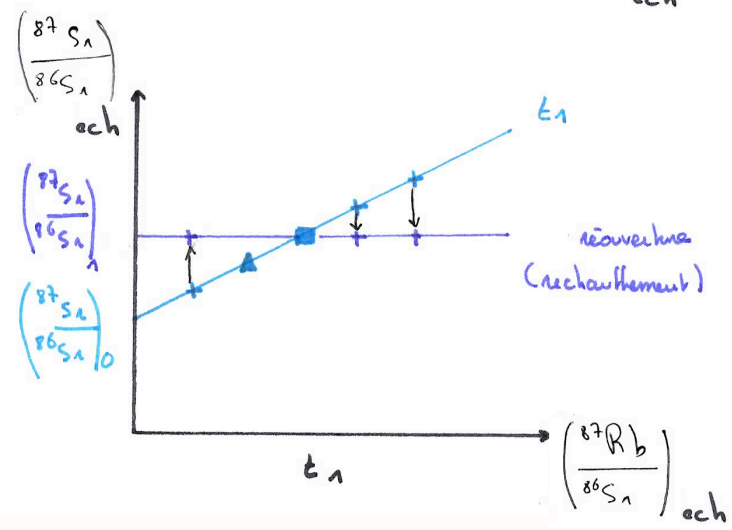
C : suite à la **fermeture**, la désintégration des éléments pères entraîne à nouveau un enrichissement en isotopes fils  $^{87}\text{Sr}$  et un appauvrissement en isotopes pères  $^{87}\text{Rb}$ . Les données sur **minéraux isolés** donnent **une isochrone interne** qui permet de déterminer l'âge de l'ouverture du système. Les données sur **roche totale** permettent quant à elle de proposer un âge de fermeture correspondant à **l'âge de formation** des différentes roches.

Bilan : l'âge calculé à partir des minéraux sera donc celui de l'évènement thermique et non celui de la cristallisation ou du refroidissement permettant la mise en place de la roche. Par contre l'âge calculé sur roche totale donnera l'âge de la formation du système puisque la réhomogénéisation s'est faite à petite échelle et donc chaque échantillon de roche totale peut être considéré comme un système clos.

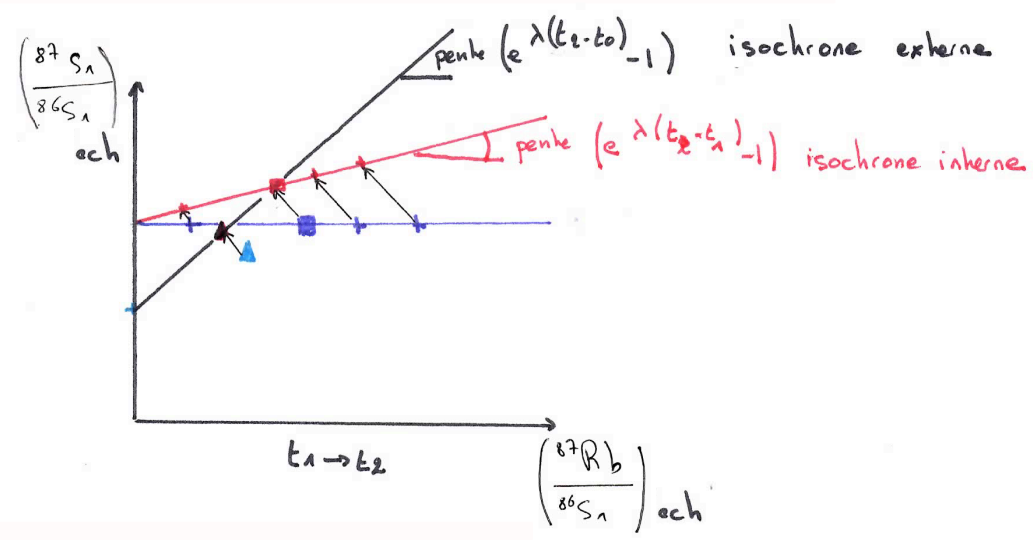
A



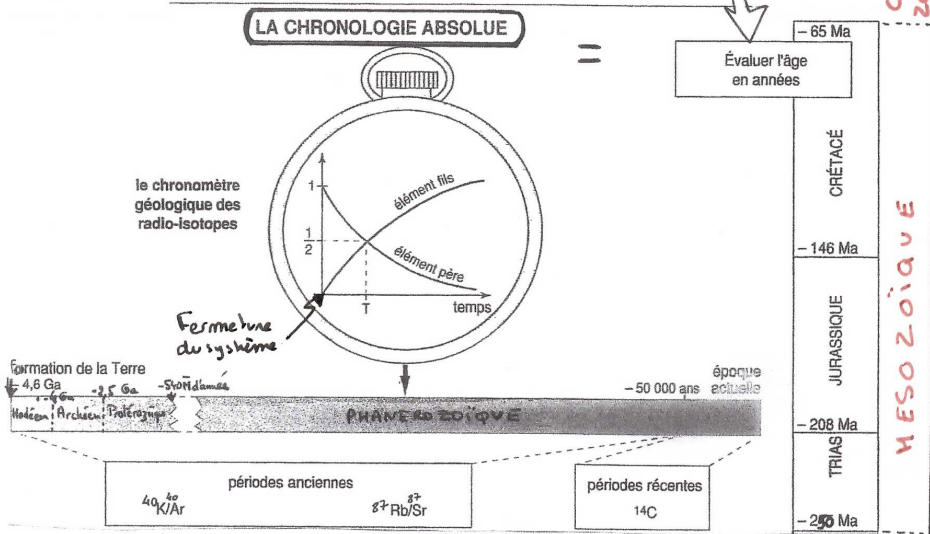
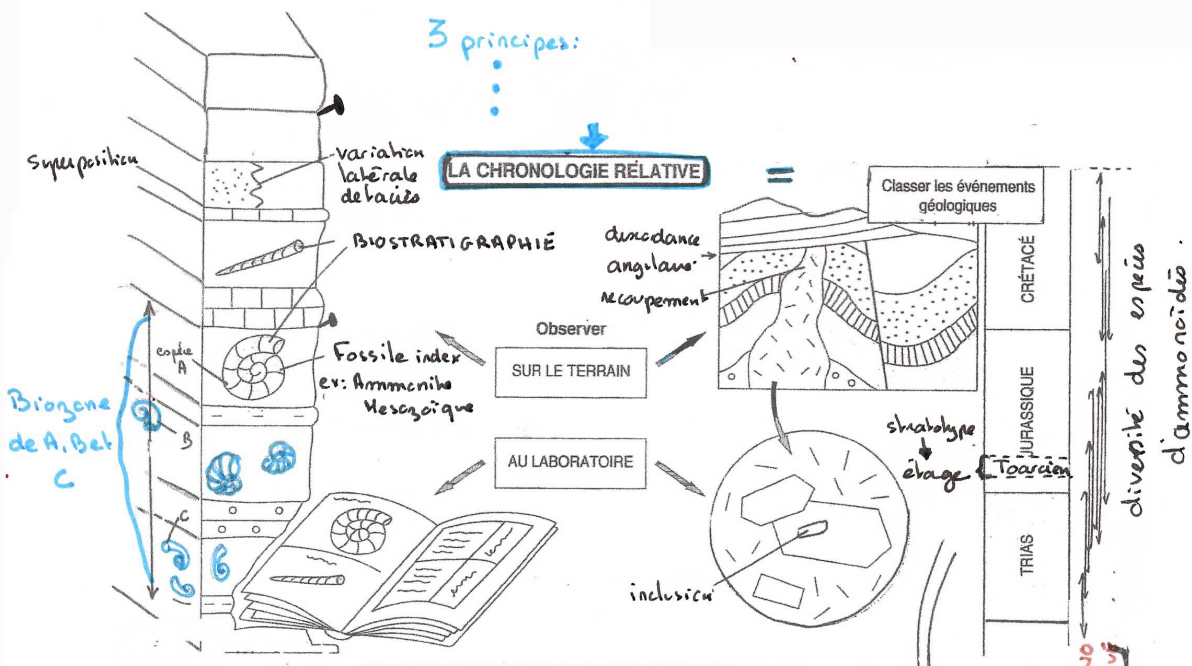
B



C

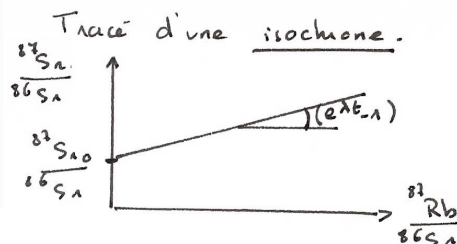
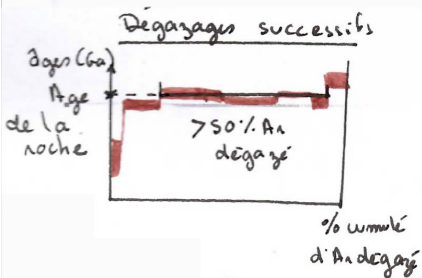


# SB : La géologie, une science historique



Mesure de l'élément père + fils - Quantité initiale d' $^{40}\text{Ar} \approx 0$ .

Mesure des rapports  $\frac{^{87}\text{Sn}}{^{86}\text{Sn}}$  et  $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sn}}$  dans  $\pm$  min (système mixte) ou en roche totale -  $^{87}\text{Sn}_0 \neq 0$ .



Système (périodes)