



Le temps en Géosciences

1. Introduction

2. La datation relative

2.1. Principes de stratigraphie

2.2. Corrélations entre séquences et notion de stratotype

2.3. Construction de l'échelle relative des temps géologiques

3. La datation absolue

4. L'échelle des temps géologiques

5. Conclusions et questions

1. Introduction

Cratère de météorite: impact de quelques secondes,
Quand-a-t-il eu lieu ?



Qqs milliards d'années ?



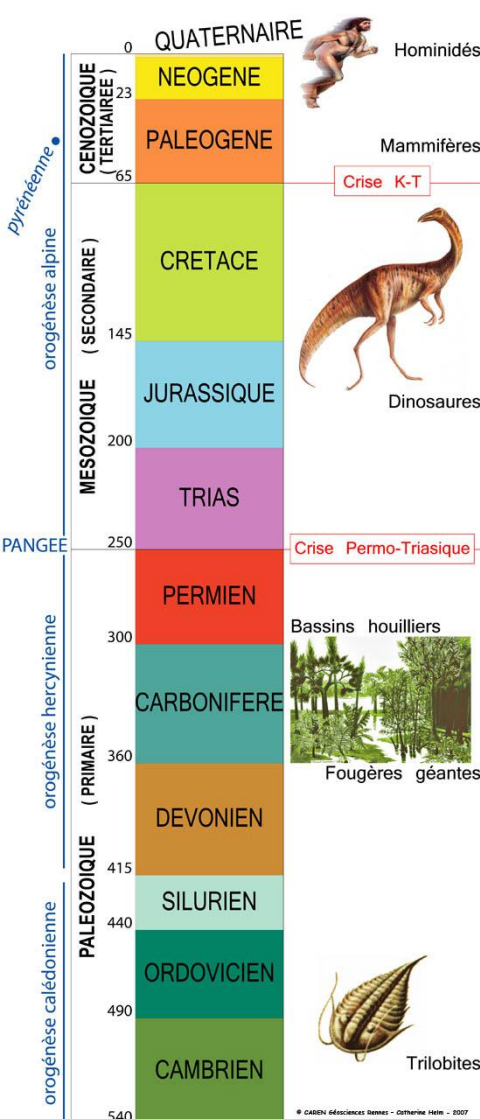
**Eruptions volcaniques:
quelques heures au
million d'années (10^6 a.)**

Le temps en géologie

- Age de la Terre, du système solaire, de l' Univers...
- Age des continents, des océans....
- Age de l' apparition de la vie, de l' homme, évolution des espèces....
- Récurrence des séismes, glissements...

- Comment replacer les événements géologiques dans l'ordre chronologique?
- Comment les dater?
- Comment mesurer la durée d'un événement géologique?
- Comment construire une échelle des temps géologiques?

La datation repose sur deux approches complémentaires :



➔ **Datation relative** = permet de situer dans le temps les évènements géologiques, les uns par rapport aux autres



Principes de base de la stratigraphie

- Pétrologie
- Sédimentologie
- Paléontologie

➔ **Datation absolue** = permet d'estimer l'âge et la durée des évènements géologiques, et de situer dans le temps l'échelle relative des temps géologiques



Décroissance radioactive d'éléments chimiques :
relation entre rapports isotopiques et durée écoulée depuis la « fermeture du système » contenant ces isotopes

- Mesures radiochronologiques :
 - Nécessitent un matériel particulier
 - Impossible à mettre en place sur le terrain

2. La datation relative

La **stratigraphie** est une science qui étudie la **succession des dépôts sédimentaires** pour reconstituer **l'histoire géologique** locale, régionale ou globale.



Les observations de terrain permettent d'établir **les relations temporelles** entre les roches



La stratigraphie:
description,
corrélation et
classification des
roches
sédimentaires

Celles-ci sont caractérisées par leur structure en couches ou en strates.

2.1. Principes de stratigraphie

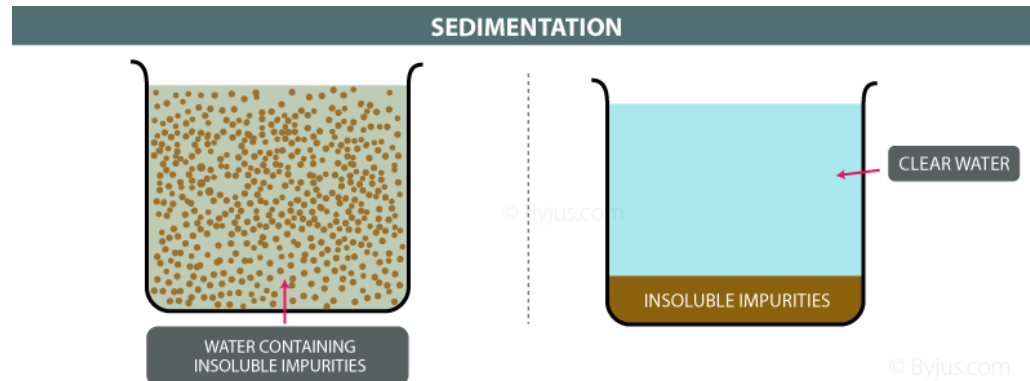
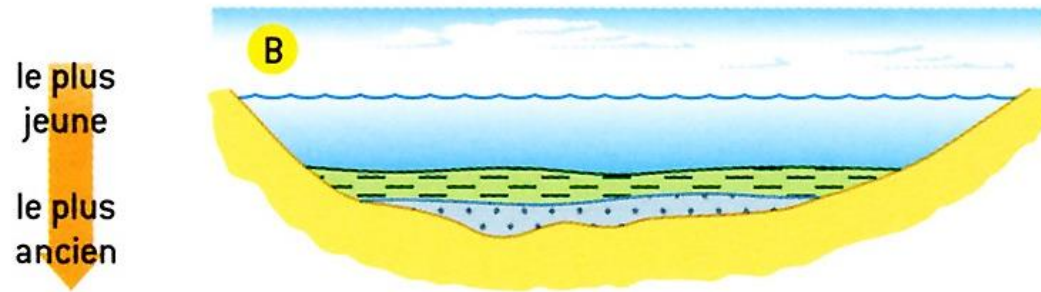
2. La datation relative

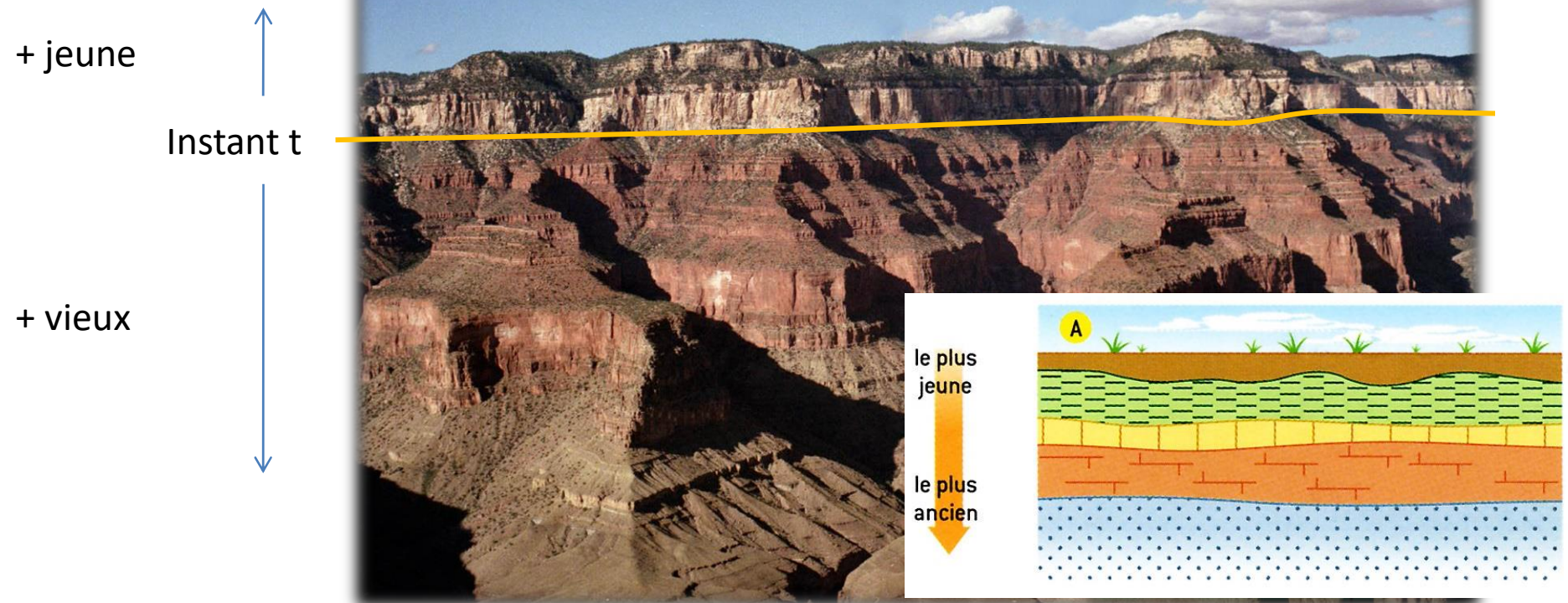
Des principes simples permettent d'interpréter la suite des événements enregistrés

Ils remontent à Léonard de Vinci et sont énoncés par Nicolas Sténon (1669):
Continuité, superposition, horizontalité initiale

- a) Principe d'horizontalité initiale
- b) Principe de superposition
- c) Principe de continuité
- d) Principe de recoupement
- e) Principe d'inclusion

Dans leur disposition originelle, **les strates** sont généralement **horizontales**

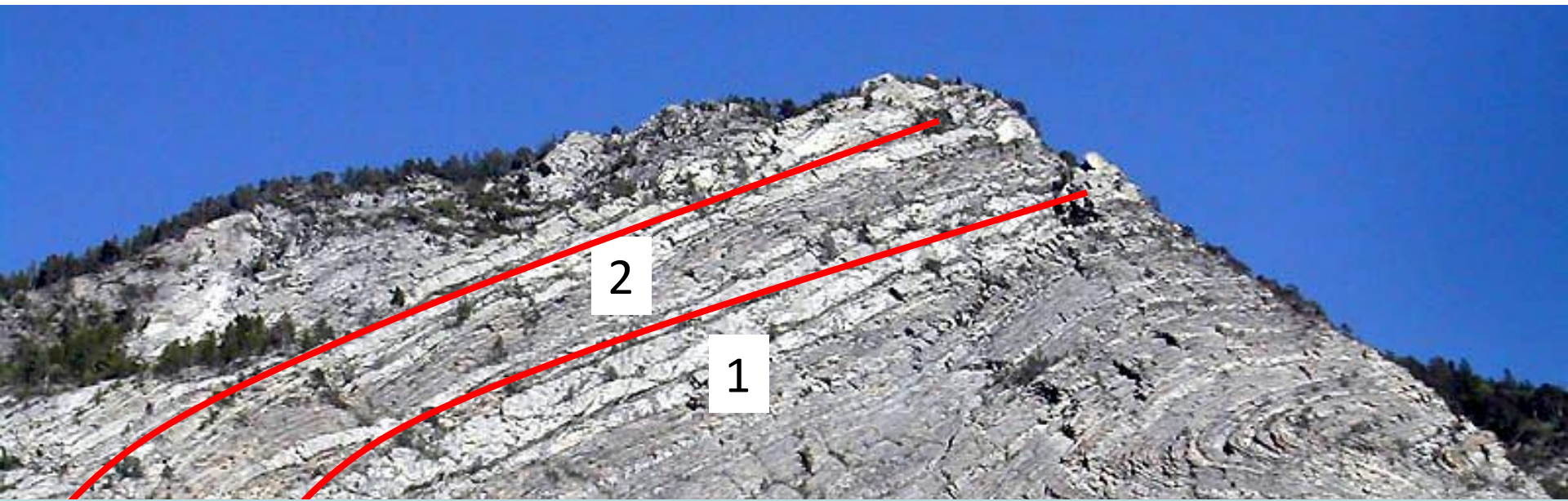




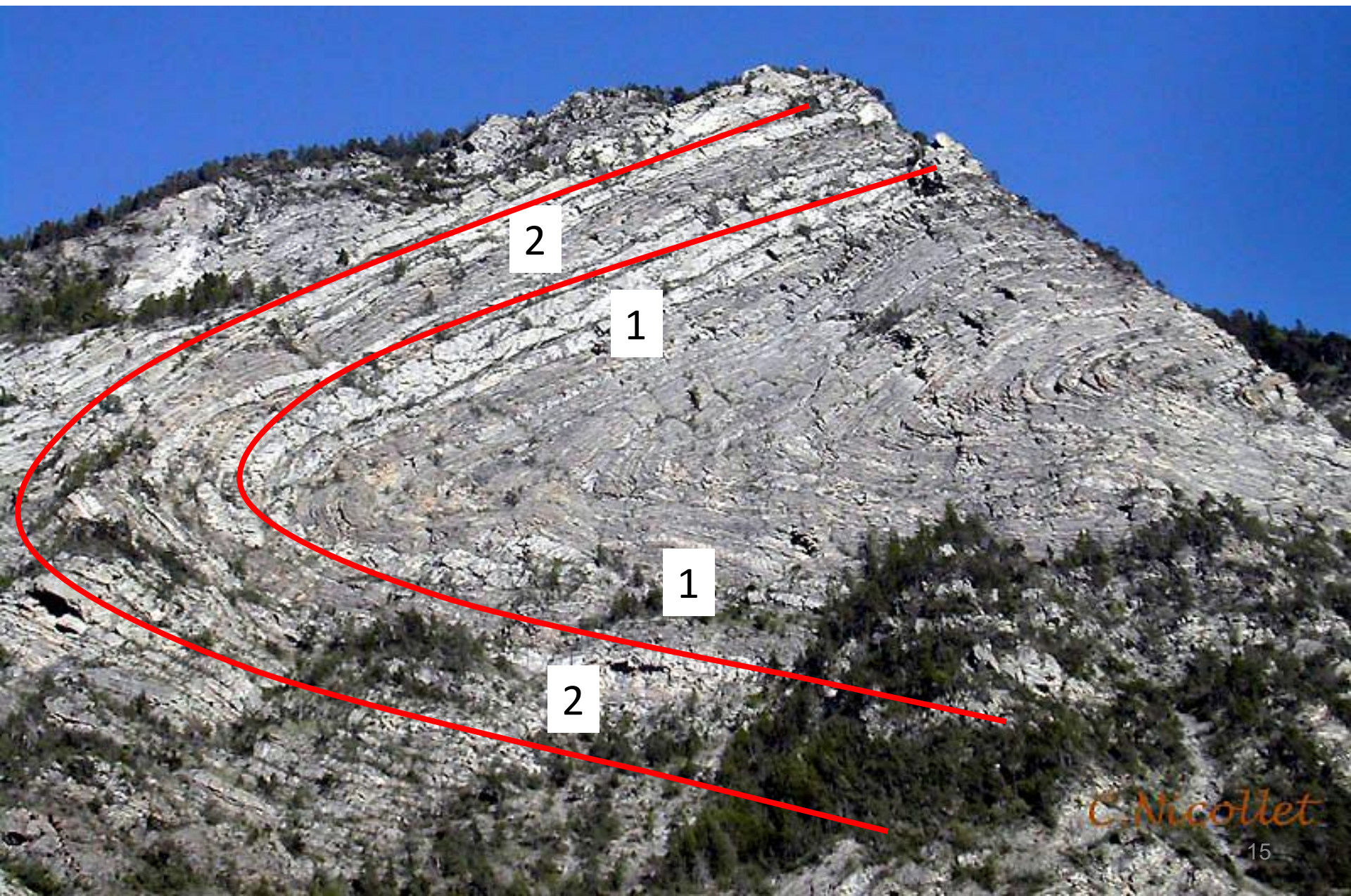
Dans leur disposition originelle, **les strates sont superposées dans l'ordre chronologique de leur dépôt.**

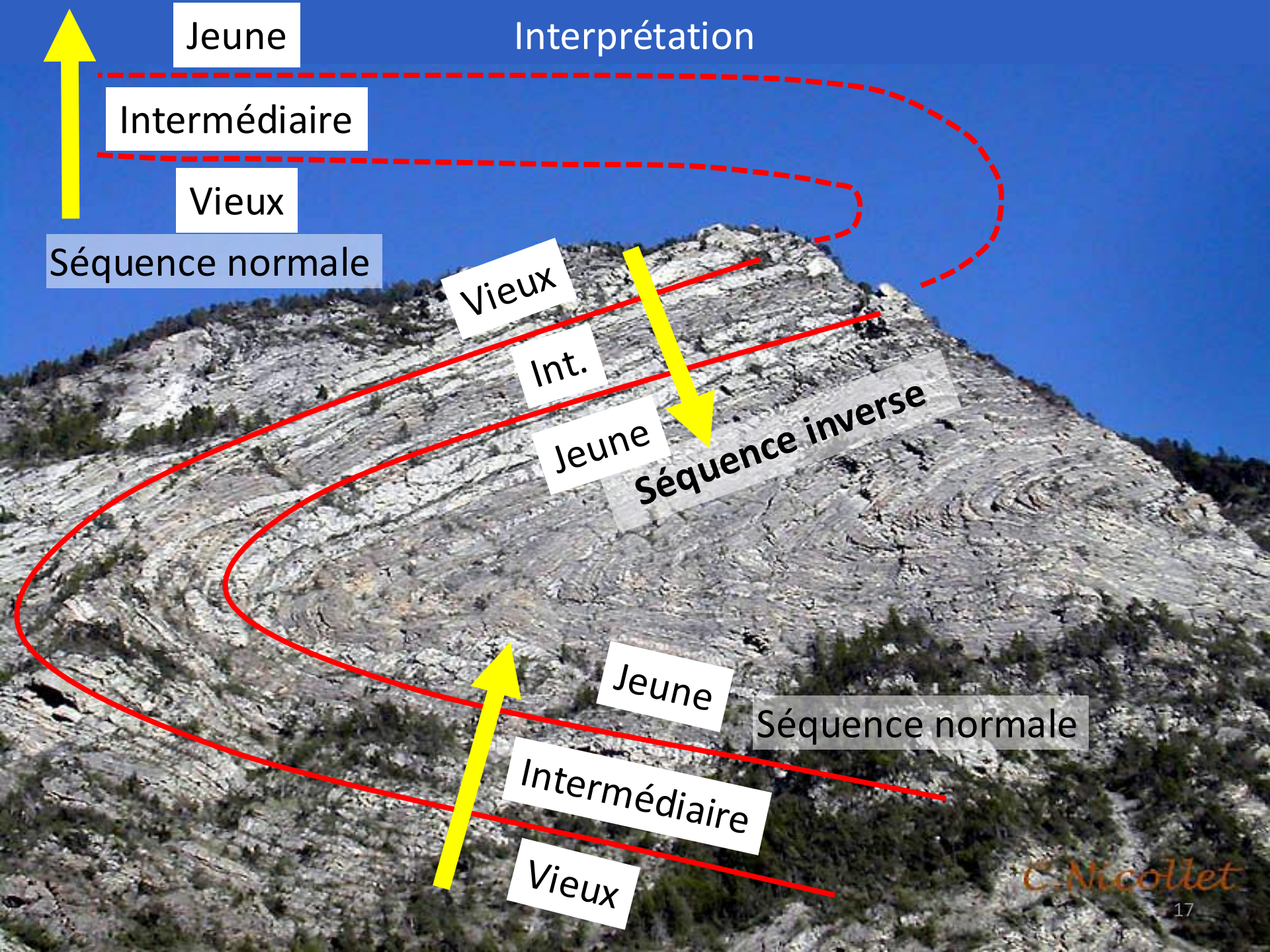
Chaque couche est plus ancienne que celle qui la recouvre.

Attention: Le principe de superposition est respecté si la série sédimentaire n'a pas été renversé tectoniquement:



Attention: Le principe de superposition est respecté si la série sédimentaire n'a pas été renversé tectoniquement:





Jeune

Interprétation

Intermédiaire

Vieux

Séquence normale

Vieux

Int.

Jeune

Séquence inverse

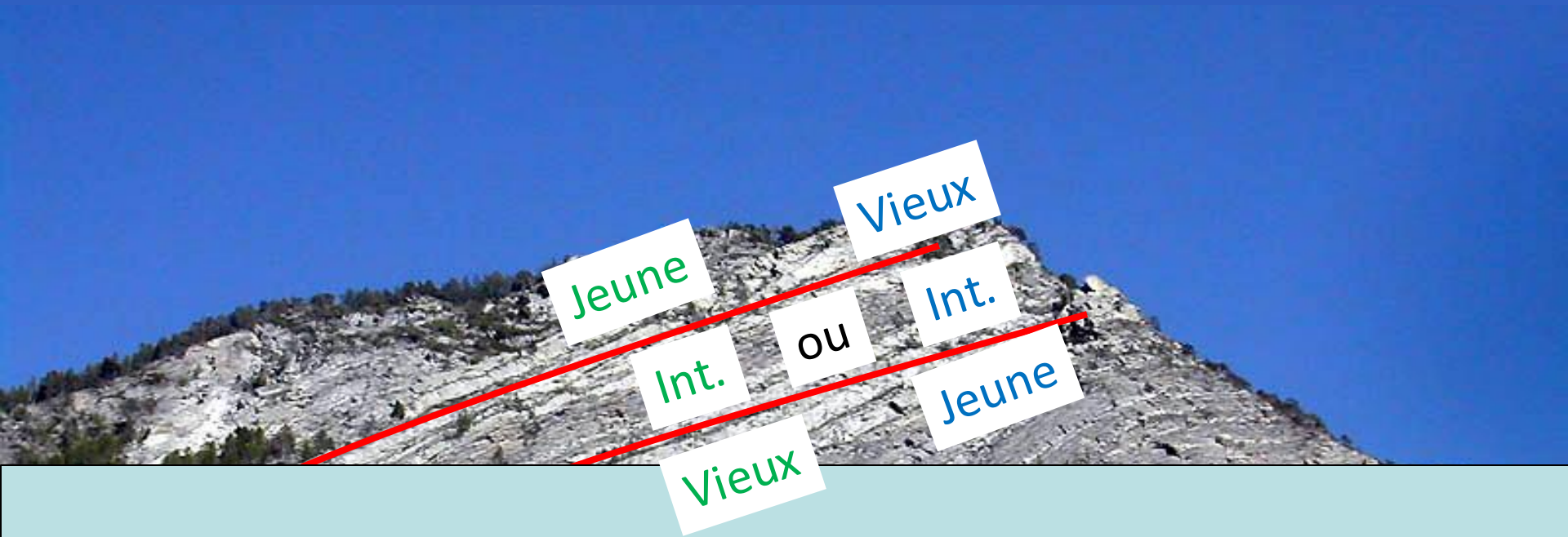
Jeune

Séquence normale

Intermédiaire

Vieux

C. Nicollet



Mais comment conclure si l'on ne peut voir que cela ?

Séquence sédimentaire **normale et basculée** ou **renversée** ?

pour vérifier si la séquence est normale

Granoclassement :



Grains fins
en haut

Gros grains
en bas

Rides de courant :

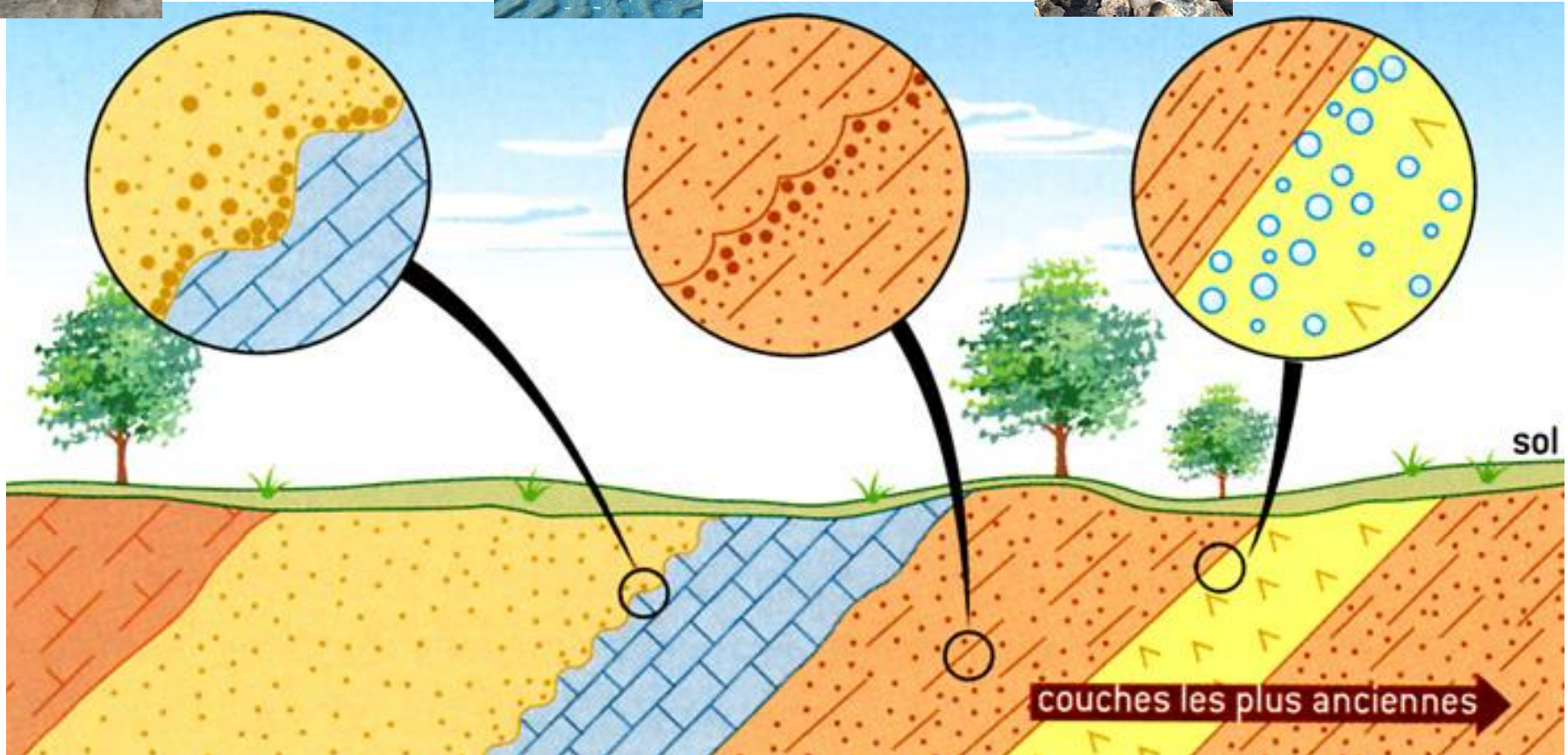


Pointes
dirigées
vers le haut

Bulles de gaz :



Plus de bulles
en haut des
coulées de
lave qu'en bas

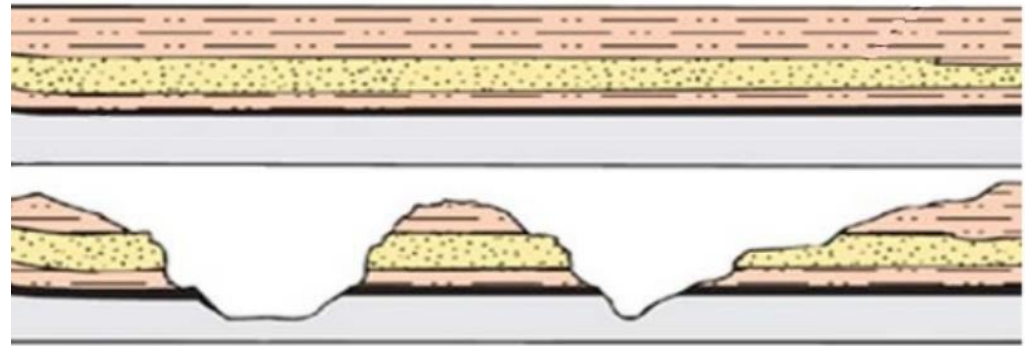
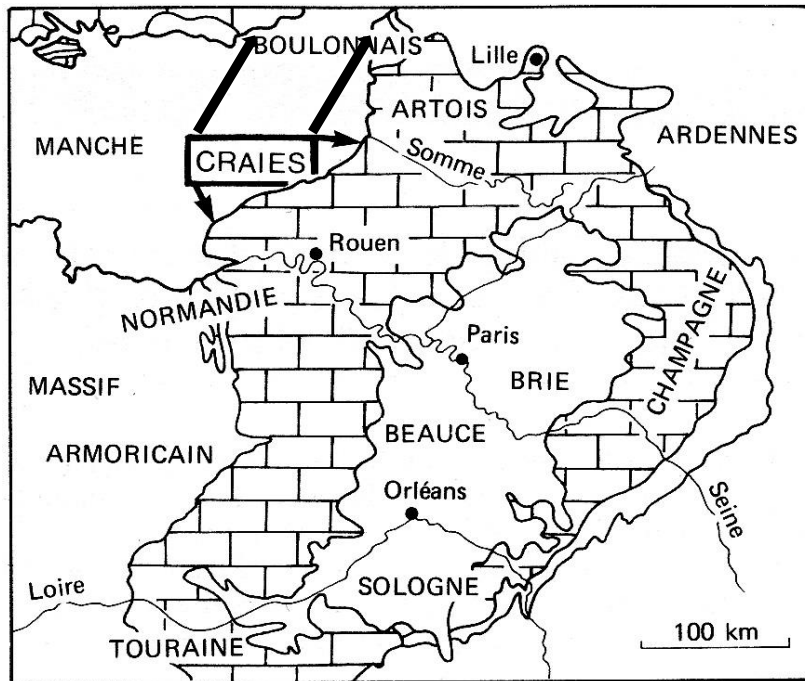


2. La datation relative

c) Principe de continuité

Une couche, définie par un faciès donné, est de même âge sur toute son étendue.

Faciès: somme des caractères lithologiques et biologiques d'un dépôt sédimentaire



2 couches contenant les mêmes fossiles sont d'âge identique

Exemple: le faciès de la craie du bassin de Paris



Douvre (Ang.)



Pas de Calais

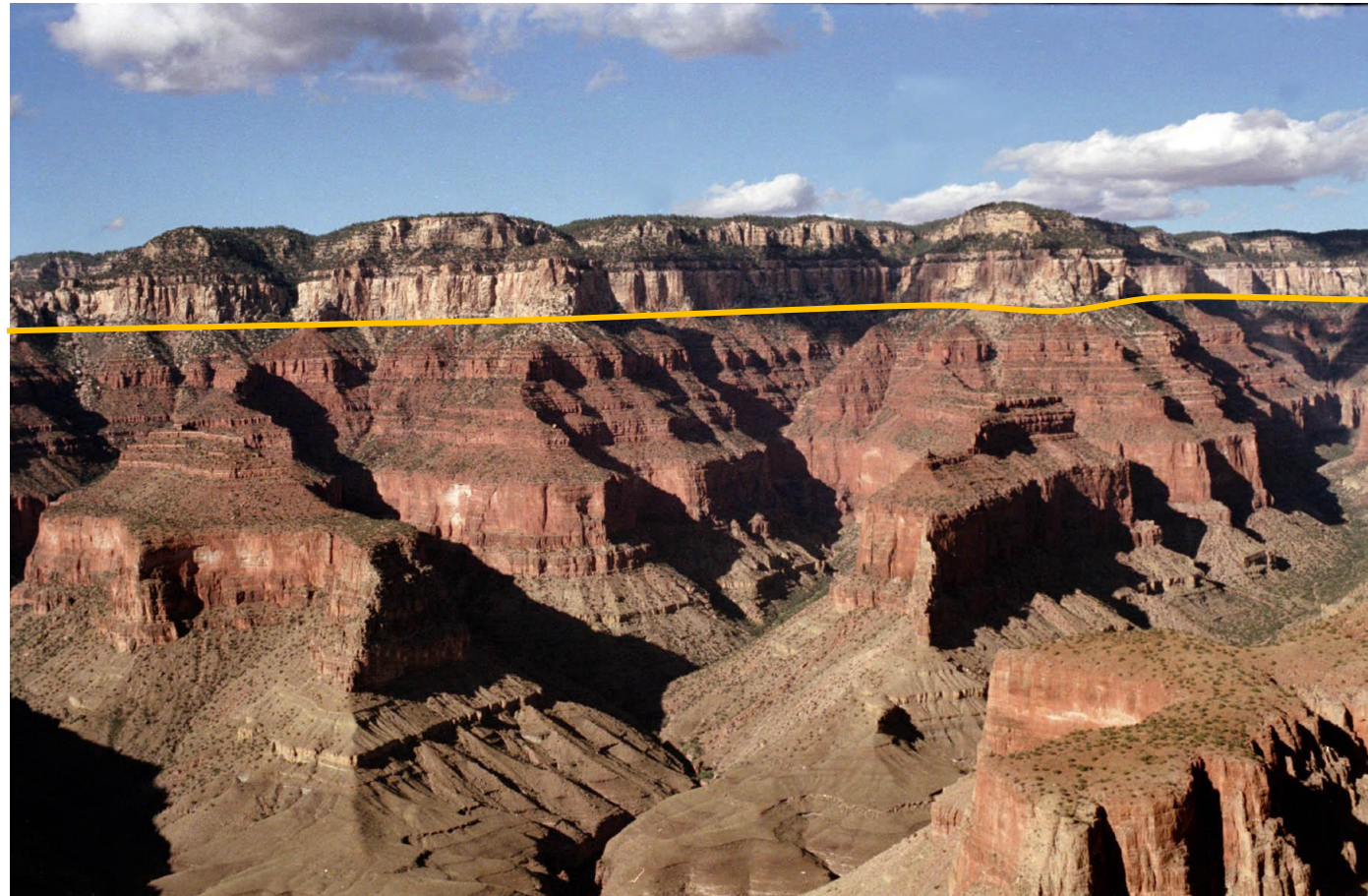


Une couche, définie par un faciès donné, est de même âge sur toute son étendue.

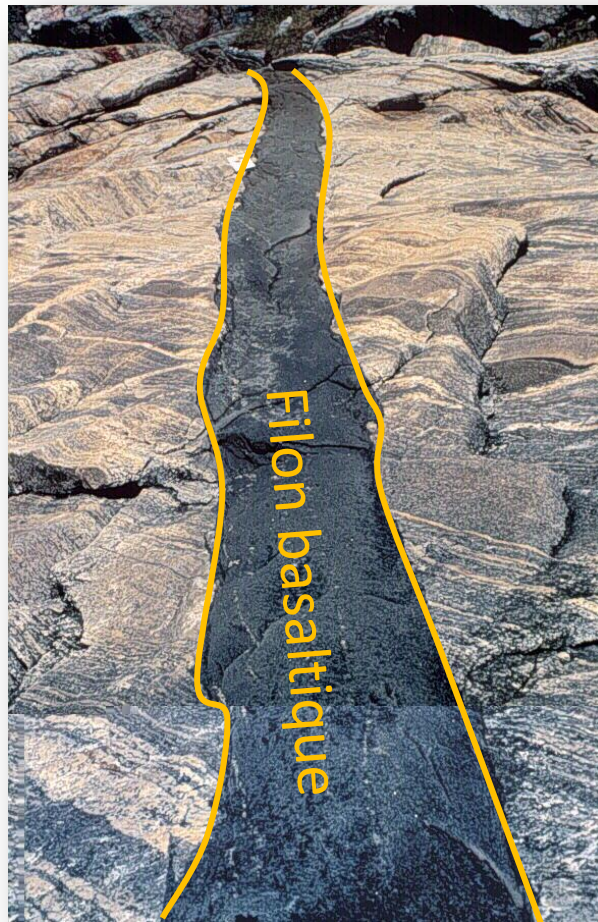
Faciès: somme des caractères lithologiques et biologiques d'un dépôt sédimentaire

⇒

l'histoire géologique



Un objet géologique qui recoupe un autre lui est postérieur. Il peut s'agir d'une intrusion de roches plutonique ou éruptives qui recoupe des couches précédemment déposées dans un bassin sédimentaire.



Les morceaux de roches contenus dans une autre sont plus anciens que celle qui les contient.



Intervalle de temps manquant dans l'enchaînement sédimentaire

- soit par absence de sédimentation
- soit par érosion

Exemple



Erosion

Pas ou peu de dépôts

Dépôts dans le lac

Pas ou peu de dépôts

- Local
- Régional

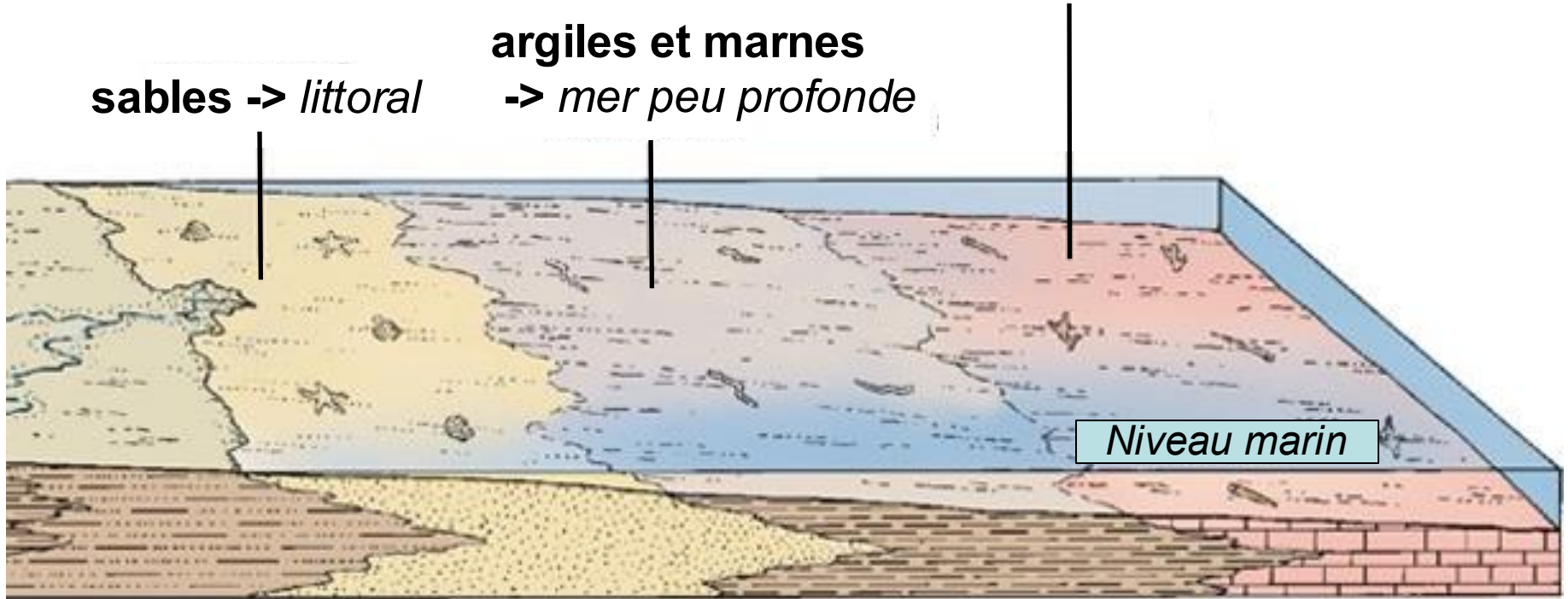
Caractéristiques des roches sédimentaires et environnement de dépôt

séquence littorale "type"

calcaires (carbonates)
-> *haute mer*

argiles et marnes
-> *mer peu profonde*

sables -> *littoral*



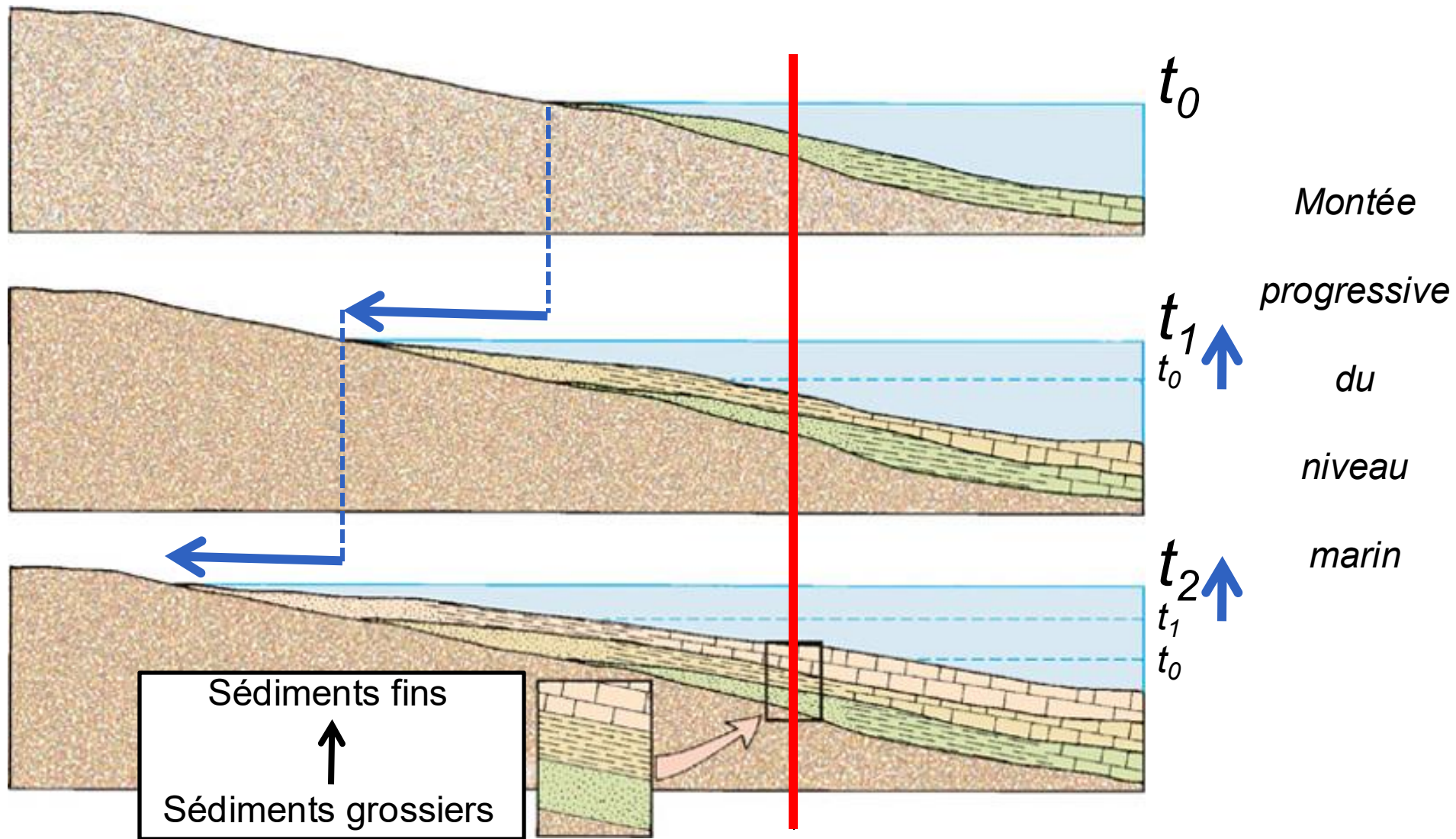
Niveau marin

grossiers

fins

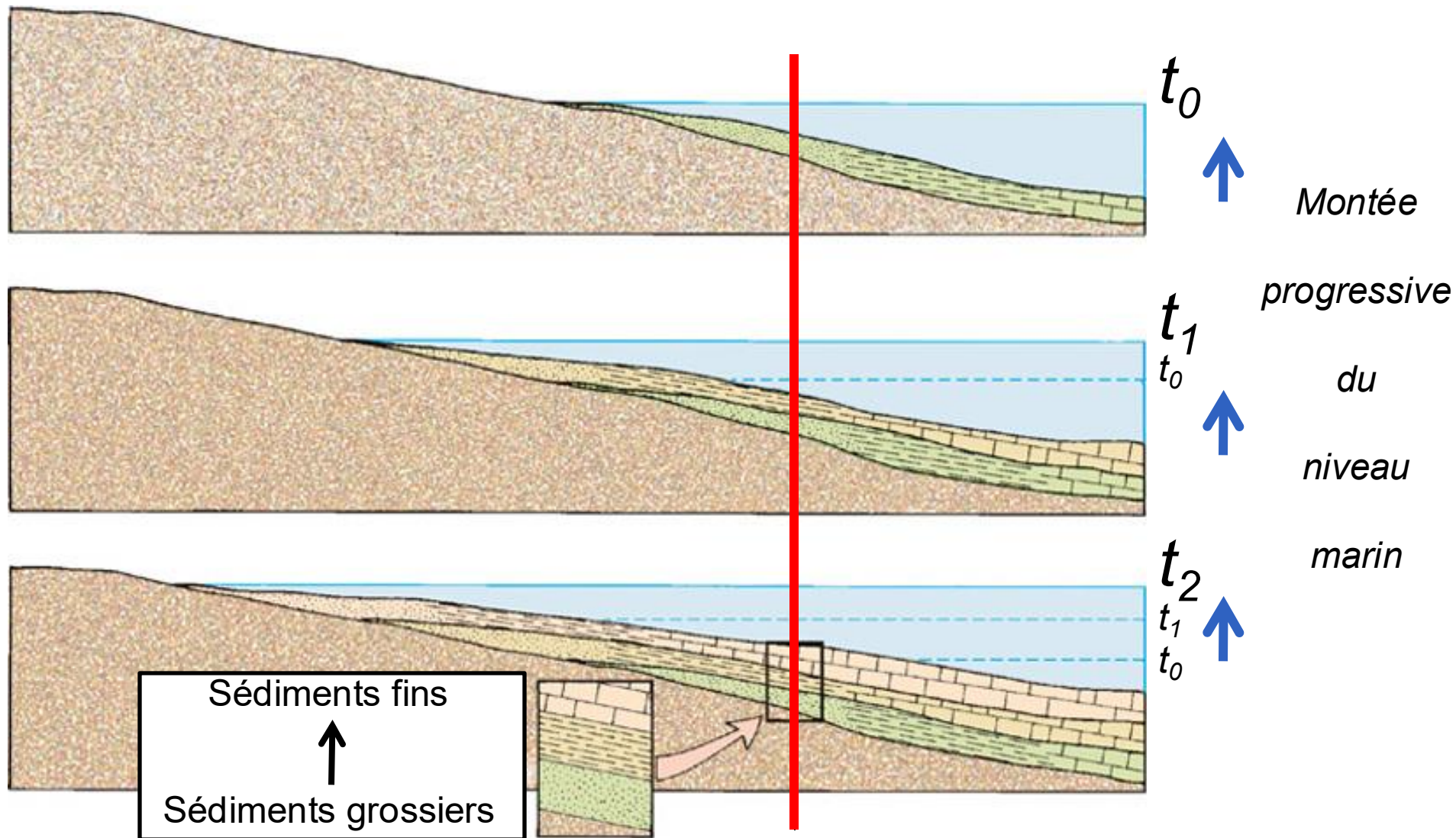
sédiments marins

Transgression : *Montée du niveau marin* => Avancée de la mer



La nature des sédiments = f(profondeur)

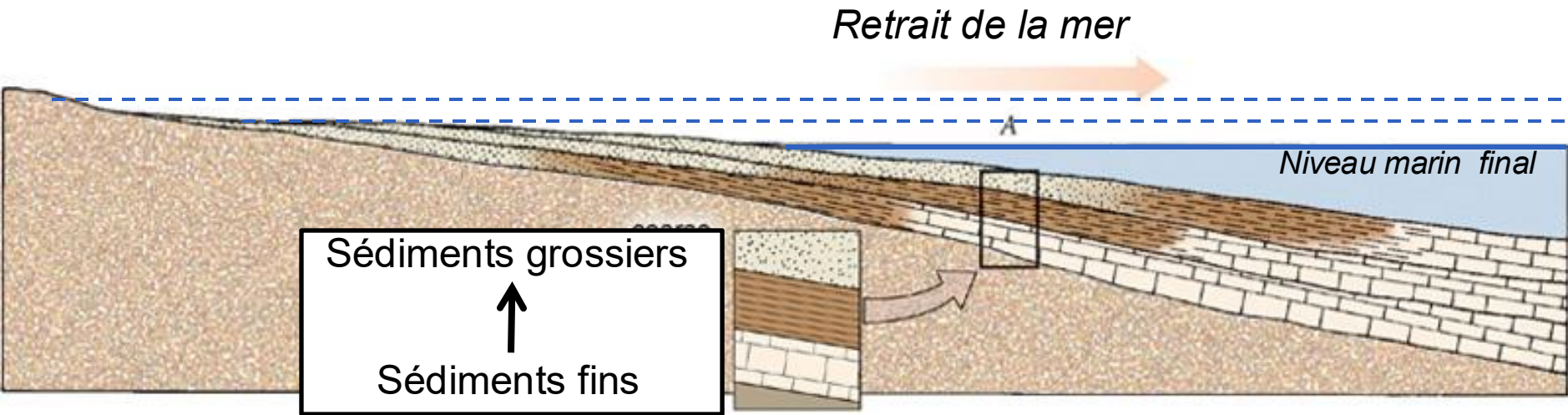
Transgression : *Montée du niveau marin* => Avancée de la mer



Séquence transgressive : Succession sédimentaire où les dépôts littoraux passent vers le haut à des dépôts caractéristiques de milieux de + en + profonds (+ fins)

et inversement ...

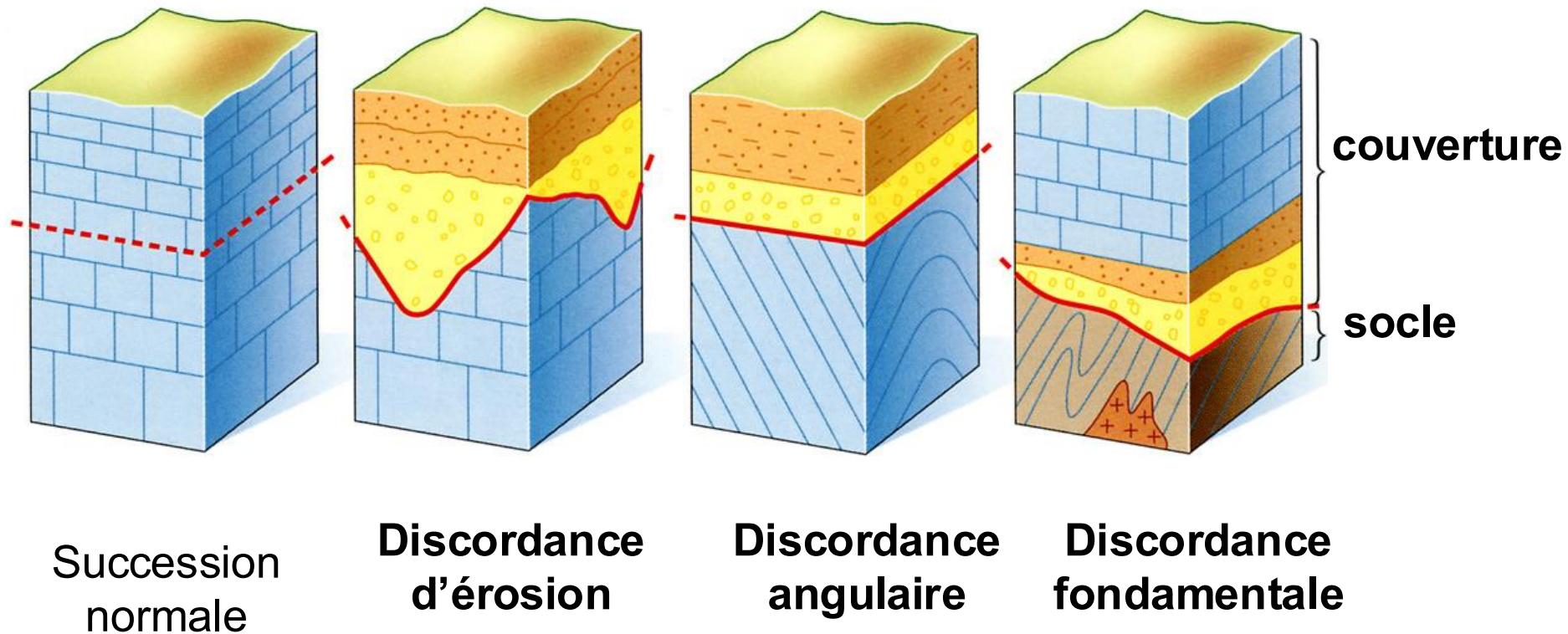
Régression : *Baisse du niveau marin* => Retrait de la mer



Associée à des séquences régressives

On passe vers le haut à des dépôts caractéristiques de milieux de - en - profonds

On appelle **discordance**, une **limite** qui exprime une **interruption** dans la **sédimentation** pendant un **intervalle de temps**.



3 grands types de discordances

2. La datation relative

Exemple : La discordance angulaire est représentée par une surface d'érosion recoupant d'anciennes séquences déformées.



2. La datation relative

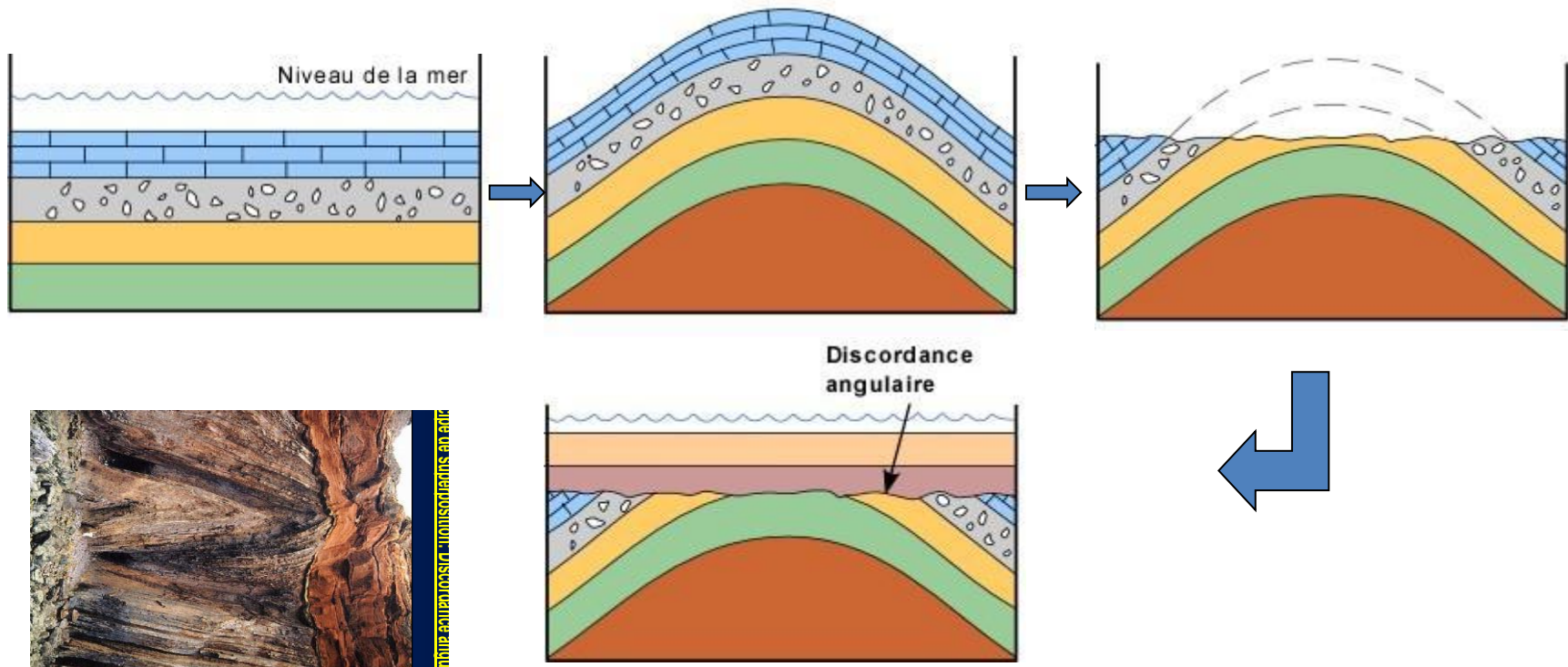
Exemple : La discordance angulaire est représentée par une surface d'érosion recoupant d'anciennes séquences déformées.



2. La datation relative

Les discordances renseignent sur l'enchaînement des événements géologiques:

Exemple:



Cette discordance implique le plissement et l'érosion d'anciennes couches sur lesquelles reposent de nouvelles couches.

2.2. Corrélations entre séquences

2. La datation relative

Chronologie relative à l'échelle régionale:

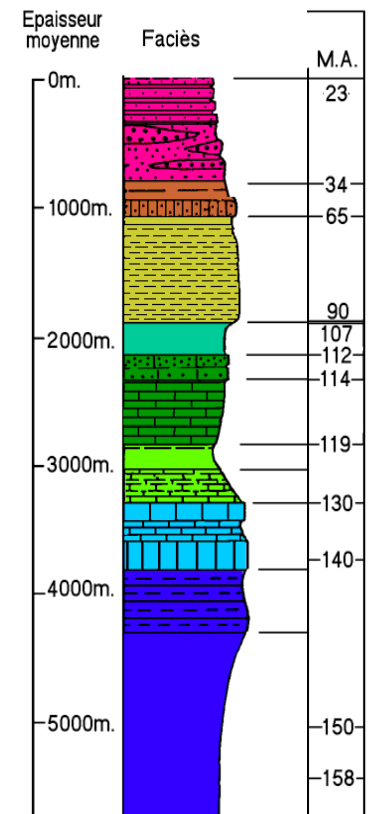
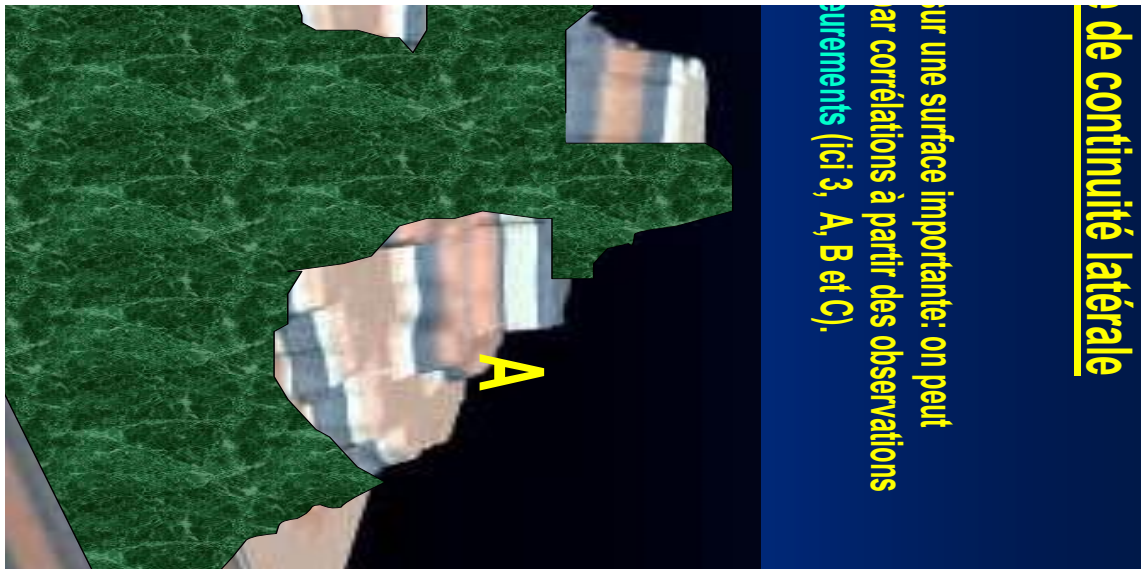
Les **corrélations** entre plusieurs coupes géologiques permettent de connecter latéralement et à l'échelle régionale les formations géologiques afin d'établir une succession temporelle sur de grandes périodes.

Corrélations lithostratigraphiques = basées sur le contenu lithologique des couches.

Corrélations biostratigraphiques = basées sur le contenu paléontologique des couches.

On peut reconstituer une longue série temporelle avec plusieurs affleurements.

(ici C, A et B)



Les fossiles servent à identifier des **formations sédimentaires**, à les cartographier et à les corréler à distance



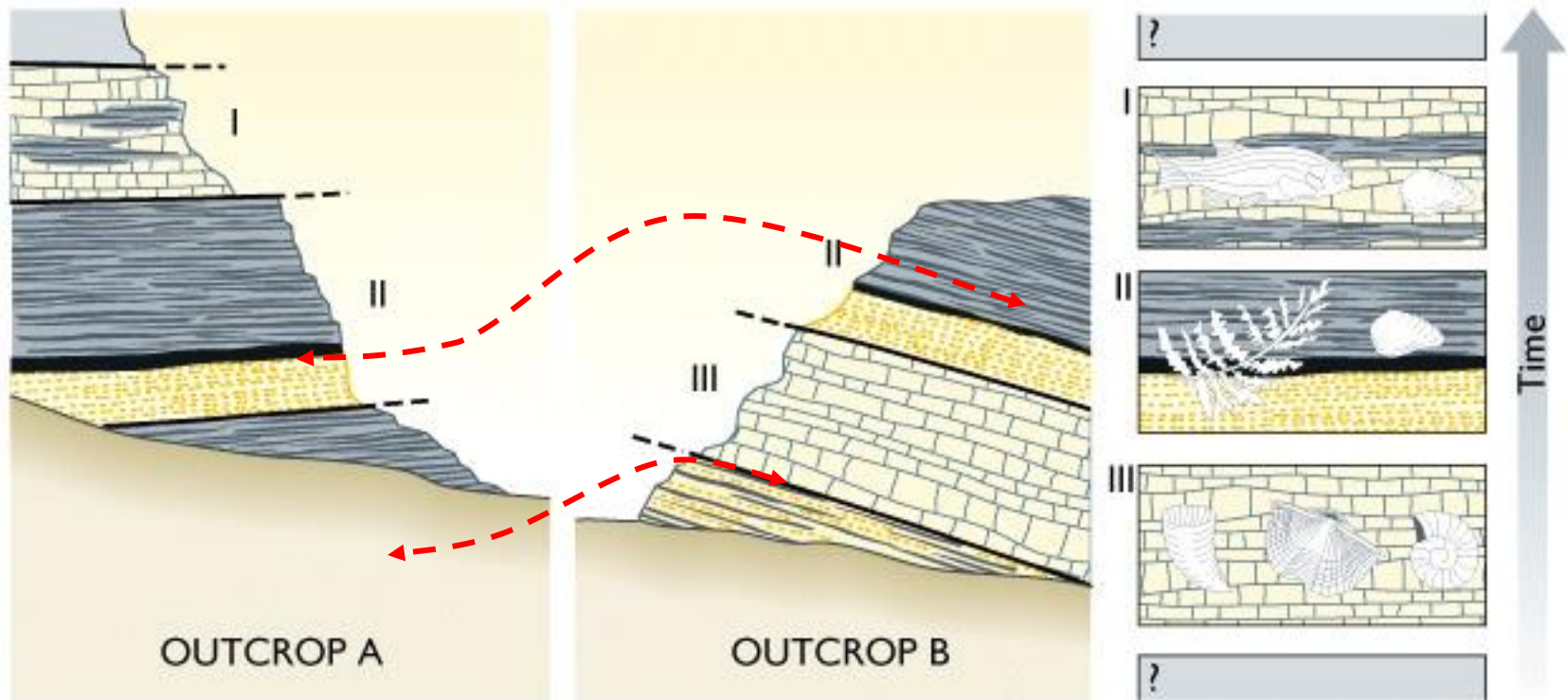
Ces corrélations biostratigraphiques sont basées sur le principe d'identité paléontologique (idem principe de continuité): deux couches sédimentaires contenant les mêmes fossiles ont le même âge.

Qu'est-ce qu'un fossile ?

Un fossile est un reste, un moulage, une trace d'un être vivant, animal ou végétal.

Un bon fossile stratigraphique doit réunir:

- Une bonne préservation
- Une évolution rapide de l'un de ses caractères au moins
- Une grande répartition géographique



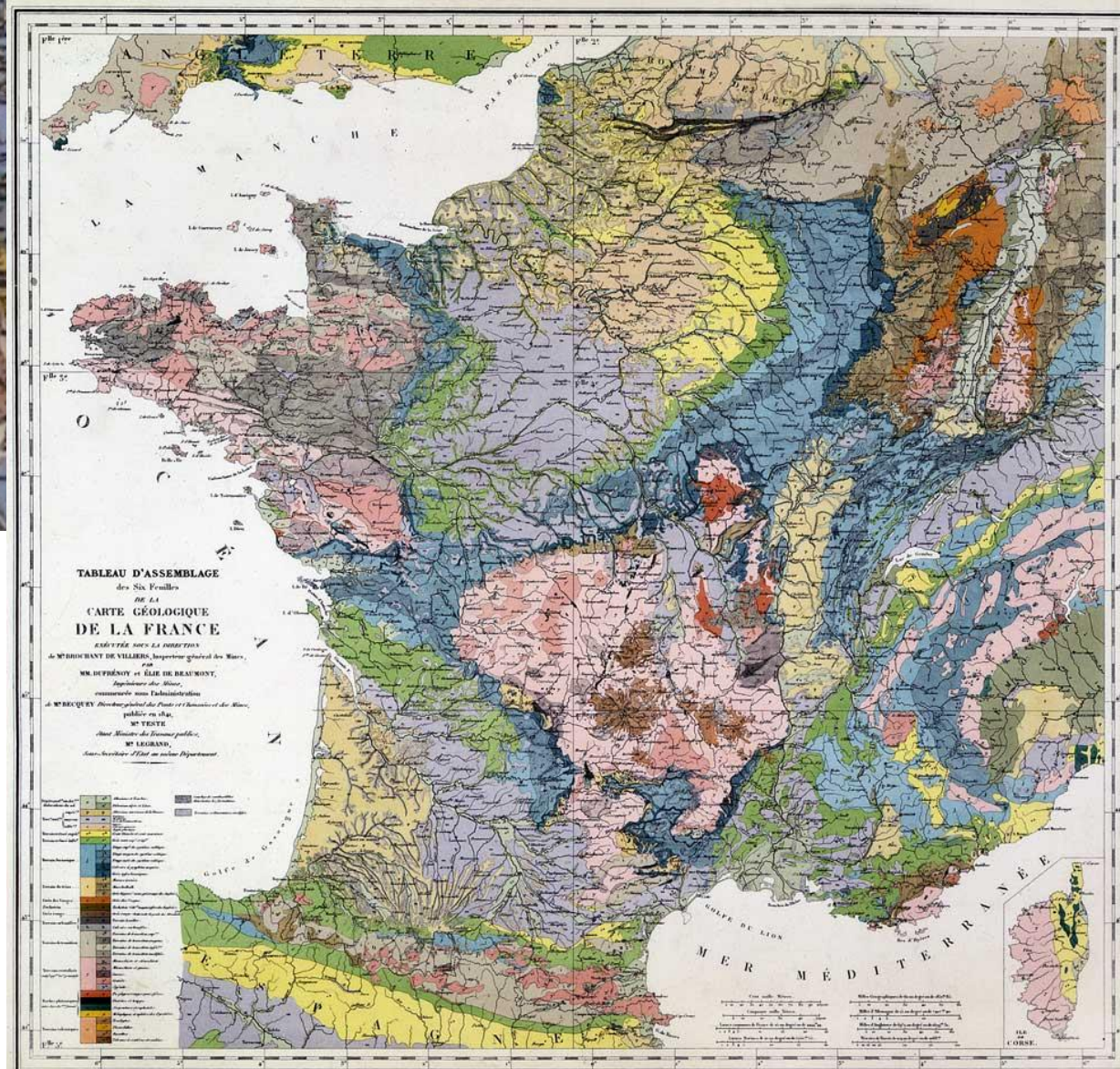
Outcrops may be separated by a long distance

W. Smith compile la succession stratigraphique du Sud de l'Angleterre,
G. Cuvier celle du bassin de Paris.

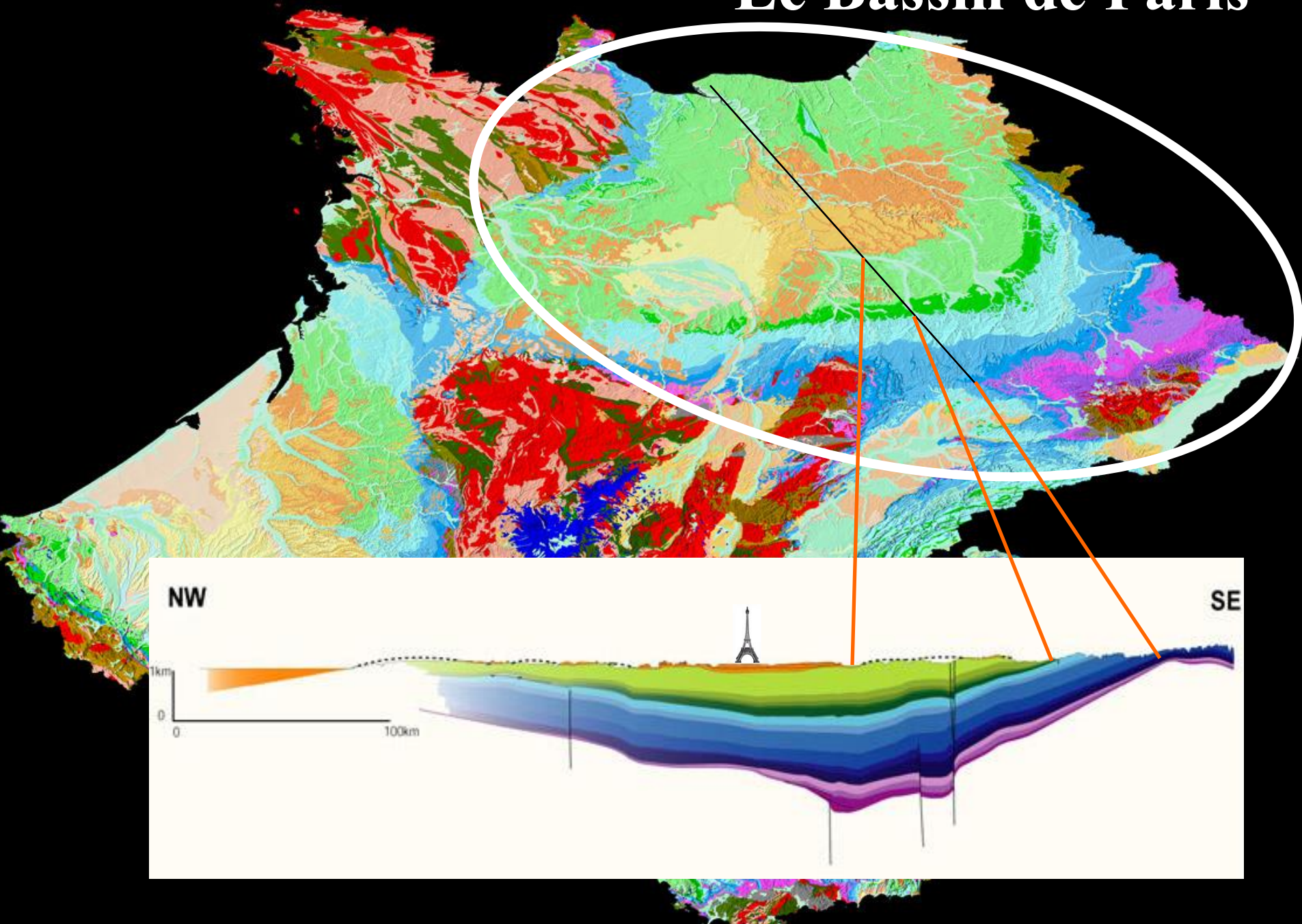
Une des premières cartes géologiques de la France (1841)

Vallée de l'Yvette

Extrait de la carte
géologique du Bassin
de Paris (Cuvier)



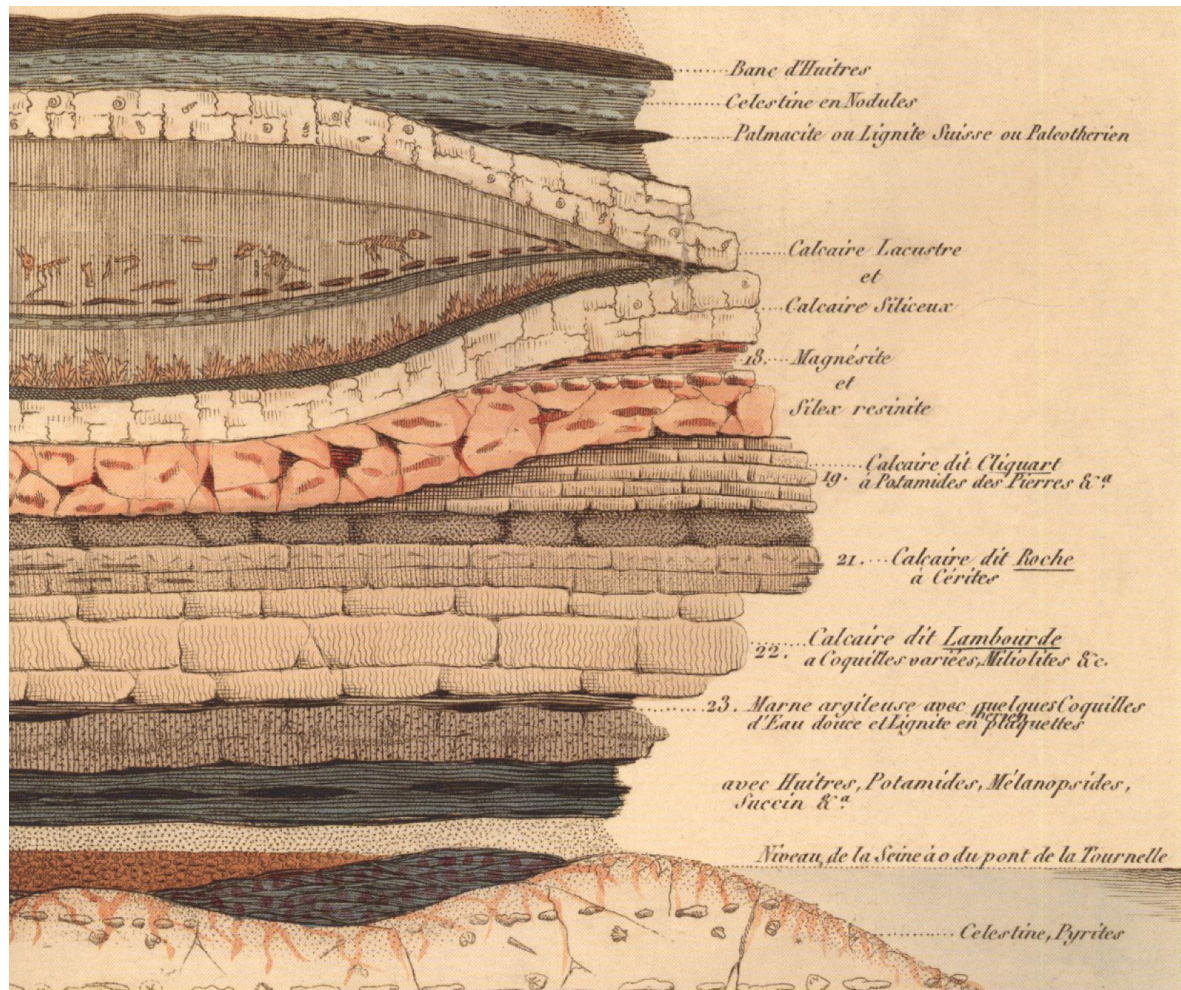
Le Bassin de Paris



2.3. Construction de l'échelle relative des temps géologiques

2. La datation relative

La succession des strates et leur contenu en fossiles permet la construction de l'échelle des temps géologiques.

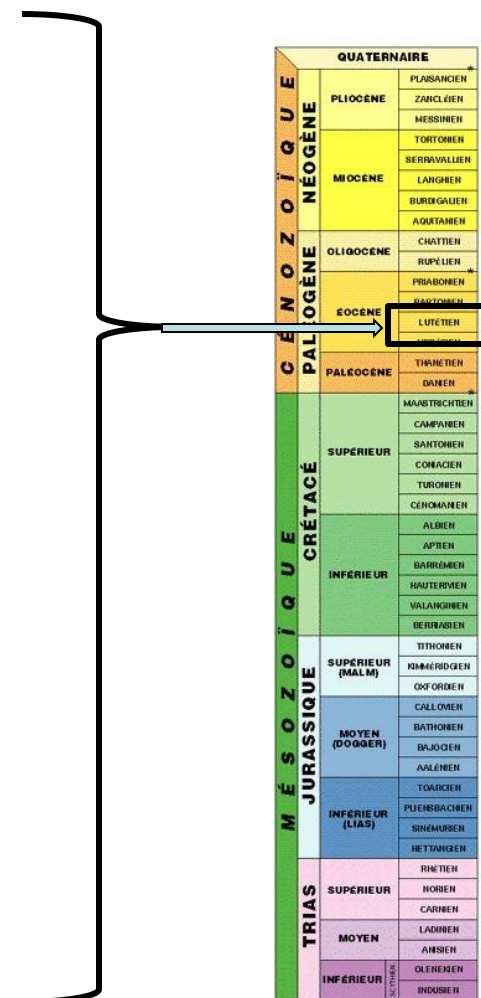
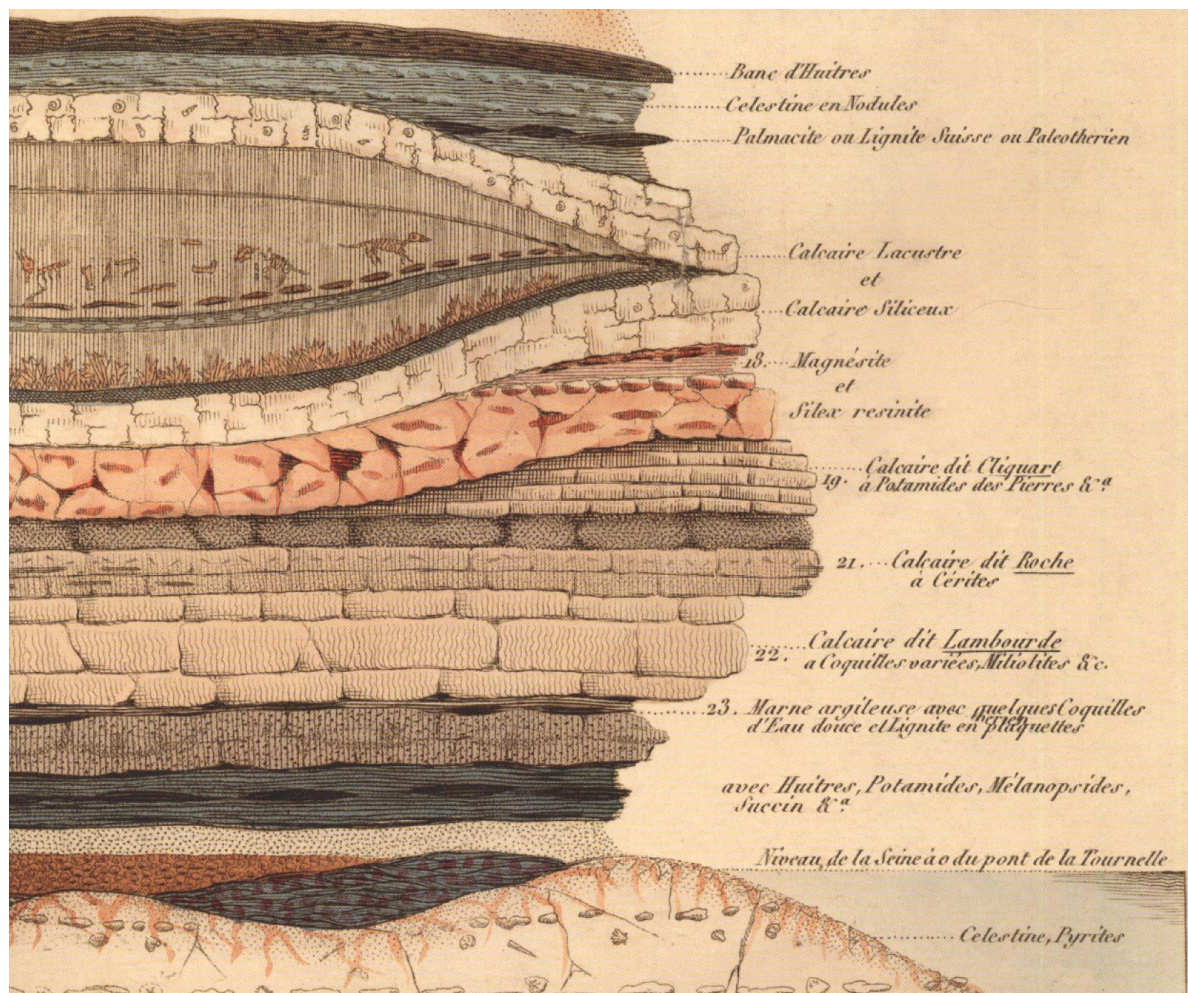


La stratigraphie livre l'Histoire de la Terre, Buffon (1707-1788).

Une des premières échelles stratigraphiques est proposée par d'Orbigny (1802-1857).

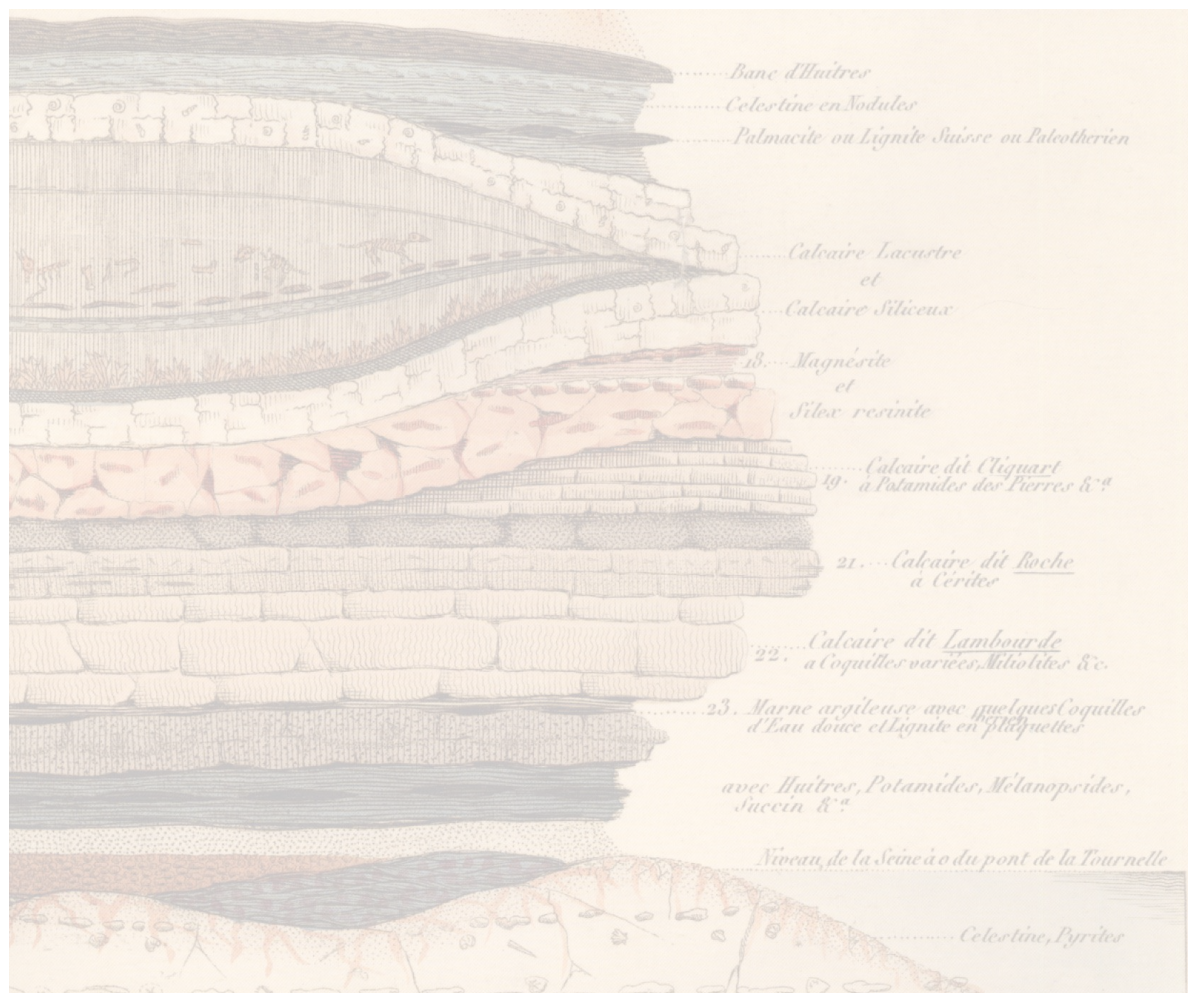
2. La datation relative

Construction de l'échelle relative des temps géologiques



2. La datation relative

Construction de l'échelle relative des temps géologiques

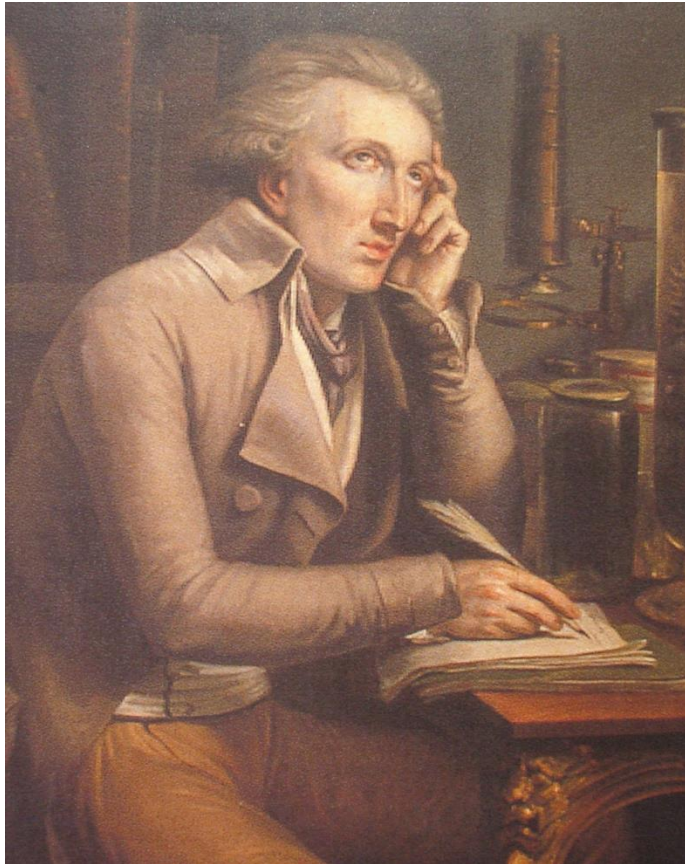


CÉNÉZOÏQUE	QUATÉNAIRE	
	PLAISANCÉEN	PLAISANCÉEN
NEOGÈNE	PLIOCÈNE	ZANCLÉEN
	MESSINIEN	MESSINIEN
MIOCÈNE	TORTONÉEN	TORTONÉEN
	SERRAVALLIEN	SERRAVALLIEN
	LANGHEEN	LANGHEEN
	BURGUNDIEN	BURGUNDIEN
OLIGOCÈNE	AGUTAIEN	AGUTAIEN
	CHATTIEN	CHATTIEN
PALEOCÈNE	RUPÉLIEN	RUPÉLIEN
	PRIBORNIEN	PRIBORNIEN
	BARTONIEN	BARTONIEN
	LUTÉTIEN	LUTÉTIEN
PALEOCÈNE	YPRÉSIEN	YPRÉSIEN
	THIÉRIEN	THIÉRIEN
MÉSÉZOÏQUE	DANÉEN	DANÉEN
	MAASTRICHTIEN	MAASTRICHTIEN
CRÉTACÉ	CAMPANIEN	CAMPANIEN
	SANTONIEN	SANTONIEN
SUPERIEUR	CONIACIEN	CONIACIEN
	TURONIEN	TURONIEN
	CEHOMANIEN	CEHOMANIEN
	ALBIEN	ALBIEN
INFERIEUR	APTÉNIEN	APTÉNIEN
	BARRÉMIEN	BARRÉMIEN
	HAUTERVIEN	HAUTERVIEN
	VALANGIEN	VALANGIEN
JURASSIQUE	BERGASCIEN	BERGASCIEN
	TITHONIEN	TITHONIEN
MOYEN (DOGGIEN)	KIMMERIDGIEN	KIMMERIDGIEN
	OXFORDIEN	OXFORDIEN
	CALLOMIEN	CALLOMIEN
	BATHONIEN	BATHONIEN
SUPERIEUR (LIAS)	BAJOIEN	BAJOIEN
	AALÉNIEN	AALÉNIEN
	TOARCIEN	TOARCIEN
	PIEMONTAIS	PIEMONTAIS
INFERIEUR	SINEMURBIEN	SINEMURBIEN
	HETTANGIEN	HETTANGIEN
	REMIEN	REMIEN
	NORBIEN	NORBIEN
TRIAS	CARRIEN	CARRIEN
	LADINIEN	LADINIEN
	ANISIEN	ANISIEN
	OLENDIEN	OLENDIEN
SUPERIEUR	INDUSIEN	INDUSIEN
	INDUSIEN	INDUSIEN

2 conceptions différentes : Catastrophisme et Uniformitarisme

Georges Cuvier (1769-1832)

Catastrophisme : L'évolution est dictée par de nombreuses catastrophes violentes et de courte durée

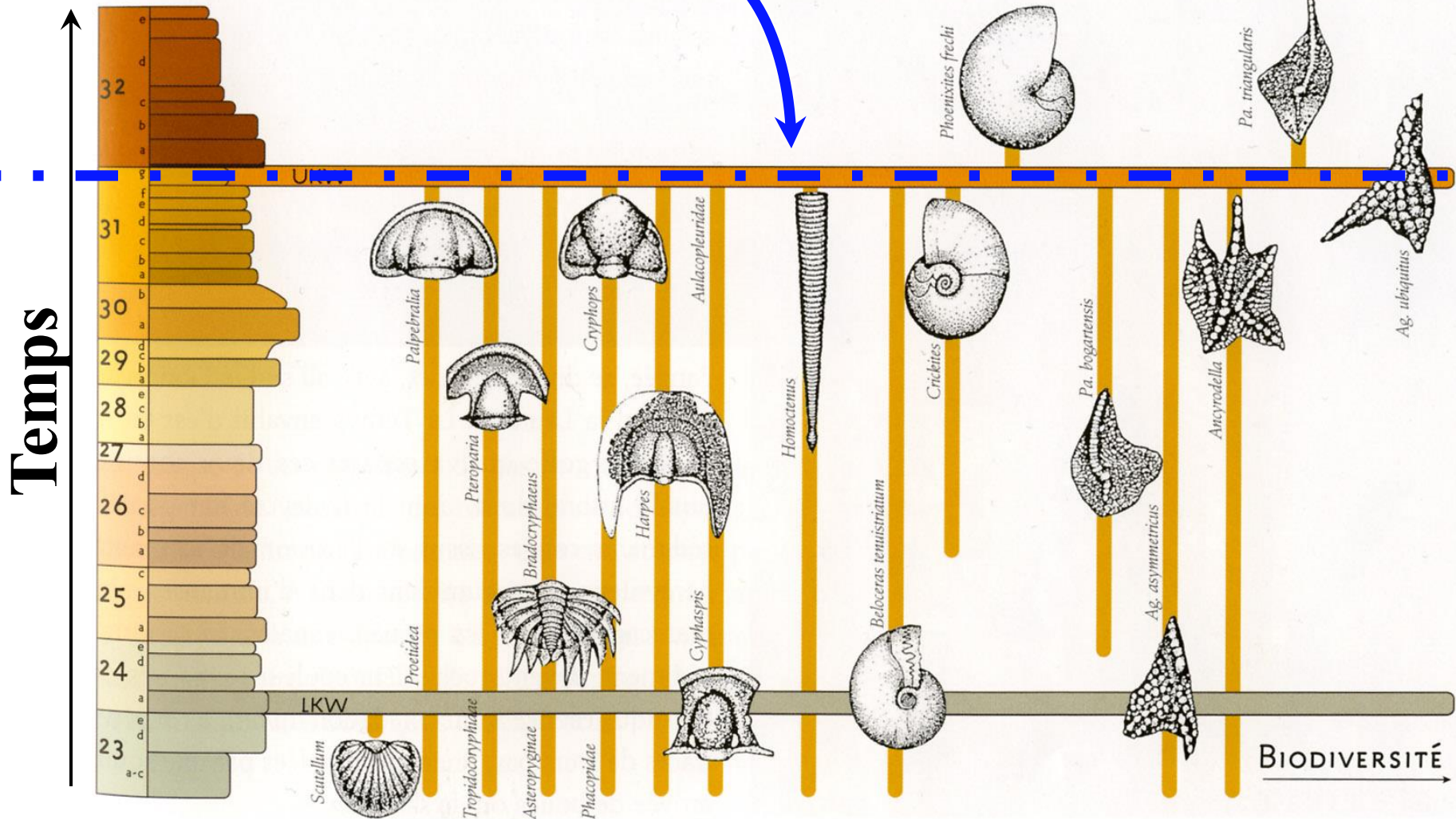


- La mer s'est retirée et a avancé plusieurs fois dans le bassin de Paris
- La longue histoire de la Terre a été marquée par l'extinction d'innombrables espèces.
- Des faunes entières ont ainsi été éliminées par des catastrophes de grande ampleur.

2. La datation relative

Catastrophisme

Extinction majeure



2. La datation relative

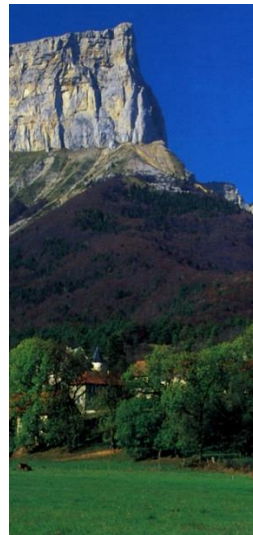
Uniformitarisme : Les processus qui se sont exercés dans le passé lointain s'exercent encore de nos jours

Réciproquement : transposition des processus géologiques actuels au passé

- A partir de 1830, Lyell récuse le catastrophisme.



Exemple 1 : un dinosaure aux dents acérées était sans doute carnivore

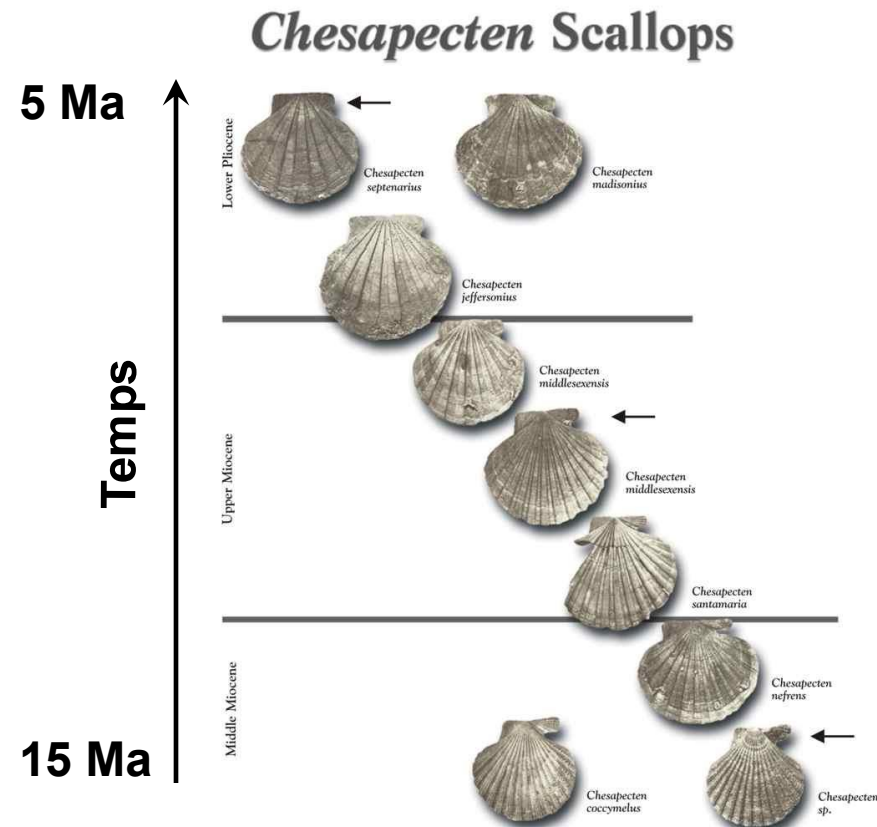


Exemple 2 : les coraux ne peuvent pas vivre à plus de 10–20 m de profondeur. Les coraux fossilisés nous permettent donc de reconstituer le niveau de la mer à l'époque de leur vie

2. La datation relative

Uniformitarisme

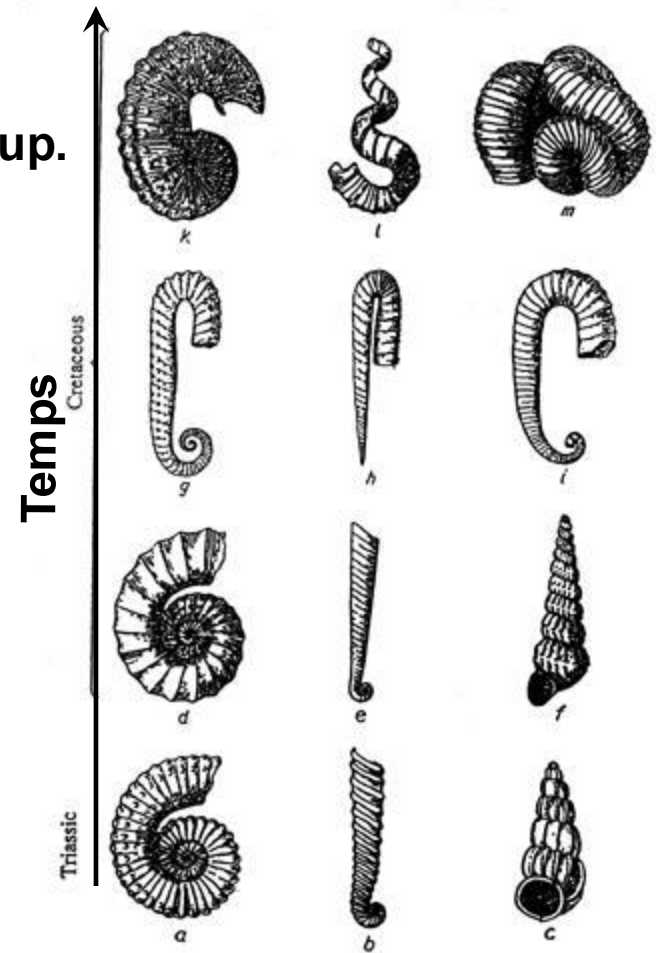
- Implique une évolution lente des espèces au cours du temps



Évolution des coquilles d'une espèce de bivalves

65 Ma
Crétacé sup.

250 Ma
Trias



Évolution des ammonoïdes

Evolution par mutation génétique

Pourtant certaines espèces ont bien disparu...

Les trilobites



Caractéristiques
de l'ère Primaire (ou Paléozoïque)

Ils disparaissent à la fin du Paléozoïque

Les ammonites



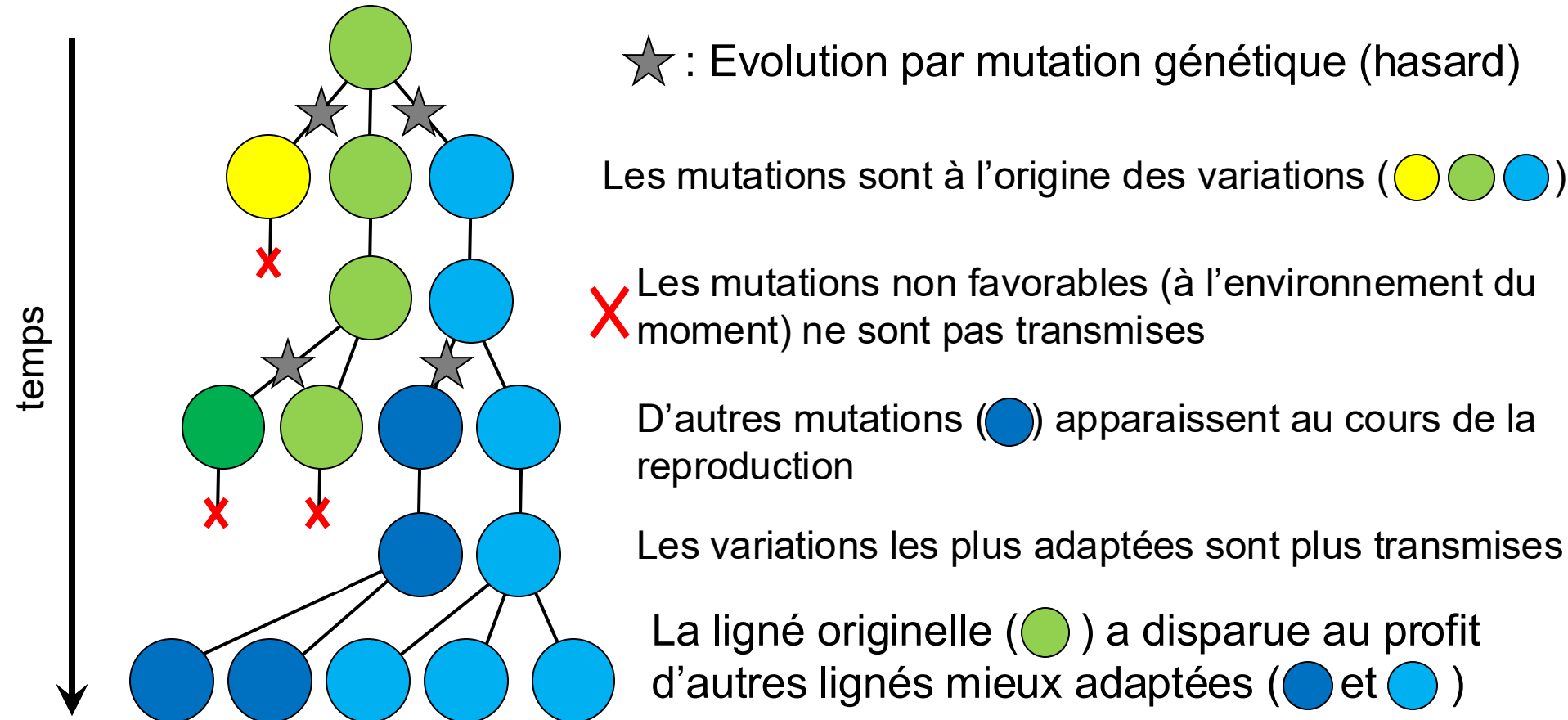
Très développées
à l'ère Secondaire (ou Mésozoïque)

Ils disparaissent à la fin du Mésozoïque

2. La datation relative

Catastrophisme et Uniformitarisme sont réconciliés par la sélection naturelle

Darwin intègre l'extinction des espèces dans leur évolution par sélection naturelle (1859).



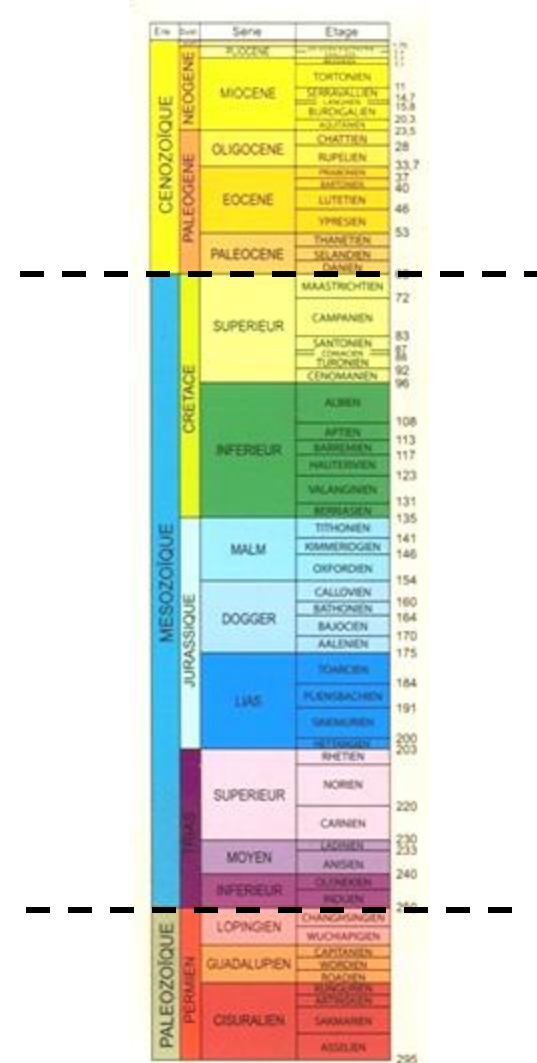
L'échelle stratigraphique divise la fin de l'histoire de notre planète en Eres, Etages, sous-étages...

Limite des Eres - - - -

= modifications importantes de la faune et de la flore fossile

= extinction de masse

Exemple: limite Permien-Trias ou Crétacé-Tertiaire.



L'échelle relative des temps géologiques

L'échelle relative des temps géologiques est construite sur la base d'une colonne stratigraphique "globale", basée sur les associations de fossiles et les principes de la stratigraphie

➔ **Erathème** ou **ère** défini par plusieurs systèmes/périodes

➔ **Système/période** défini par plusieurs séries/époques

➔ **Série/époque** définie par plusieurs étages

➔ **Etage** définis par **stratotype**

Éon	Ère	Système	Série	Etage
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène	exemple CHATTIEN RUPELIEN PRARONNIEN BARTONIEN LUTETIEN YPRESIEN THANETIEN SELANDIEN DANIEN
			Pléistocène	
		Tertiaire	Pliocène	
			Miocène	
			Oligocène	
			Eocène	
			Paléocène	
	Mésozoïque (Secondaire)	Crétacé		
		Jurassique		
		Trias		
	Paléozoïque (Primaire)	Permien		
		Carbonifère		
		Dévonien		
		Silurien		
		Ordovicien		
		Cambrien		
		Précambrien	Protérozoïque	
Archéen				
Hadéen				

exemple

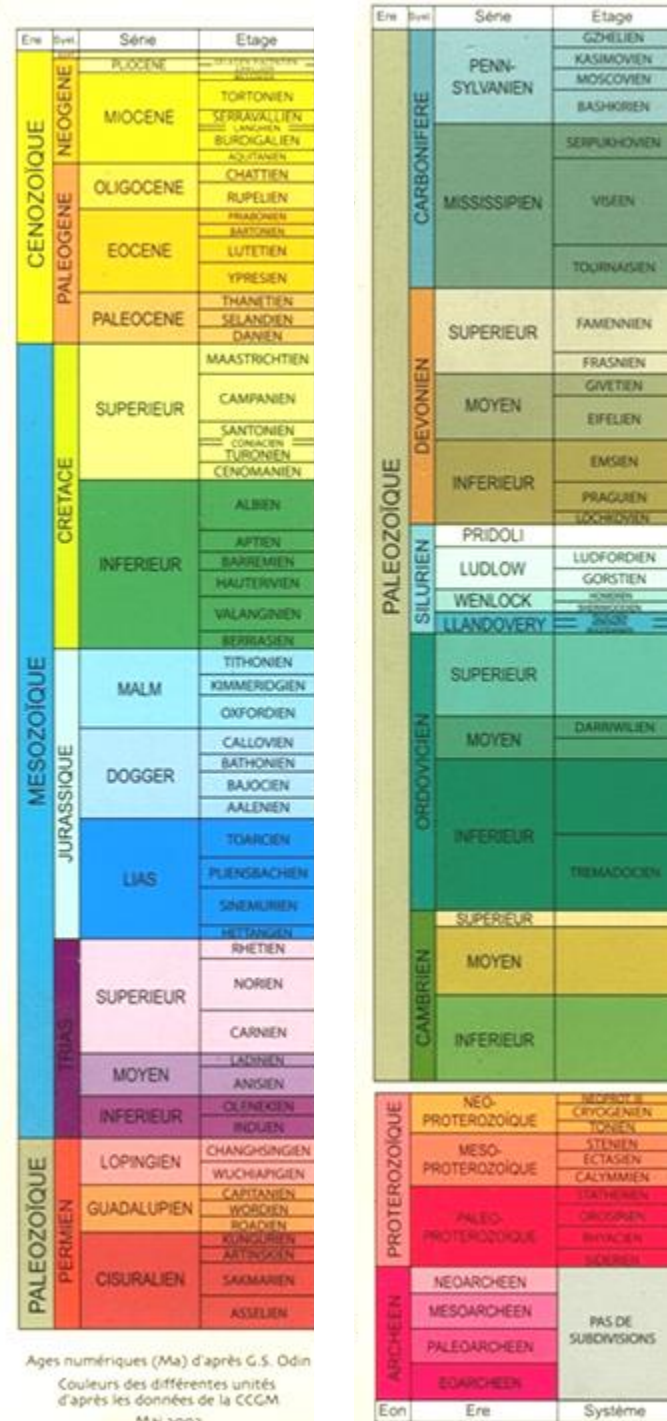
CHATTIEN
RUPELIEN
PRADONNIEN
SARTONNIEN
LUTETIEN
YPRESIEN
THANETIEN
SELANDIEN
DANIEN

Échelle stratigraphique

Oui mais....

On ne connait toujours pas l'âge des dépôts...

On a une "horloge" relative mais pas d'horloge absolue...



Ages

?

?

Il faut une (ou plusieurs) **horloge(s)** pour mesurer le temps
on n'en a pas encore.....

**on ne connaît pas les
taux d'accumulation
des divers sédiments**

Ils n'ont pas de raison d'être constants

L'érosion ou l'absence de sédimentation font que
beaucoup de temps manque

Les séries sédimentaires sont donc souvent incomplètes....

3. La datation absolue

L'âge de la Terre



Au XVIII^e siècle

Buffon en 1755 mesure le refroidissement de boulets de canon et propose un âge de la Terre de 100 696 ans,

corrigé à **environ 75 000 ans** car la Terre n'est pas composée de fer.

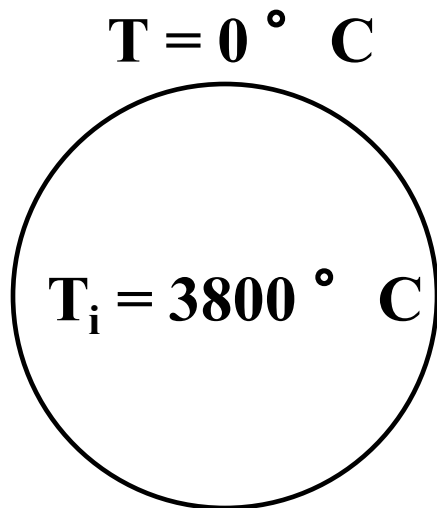
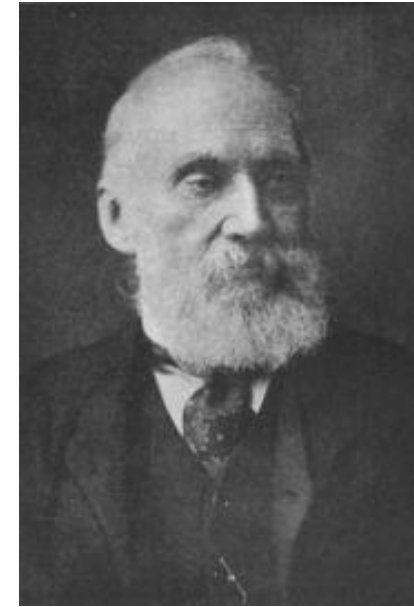
En 1664, l'évêque Usher avait daté la naissance de la Terre à partir de la Bible à 4004 ans avant JC!

Buffon doit fuir Paris ...

L'âge de la Terre

Au XIX^e siècle

En 1870, Kelvin calcule que le refroidissement d'une Terre initialement fondue pour obtenir un gradient de 30° C/km dure de 30 à 100 million d'années (Ma)



$$t \text{ (âge de la Terre)} = T_i^2 / (\pi \kappa g_0^2)$$

Avec:

$g_0 = 30^{\circ} \text{ C/km}$; gradient thermique en surface

κ : conductivité thermique des roches

3. La datation absolue



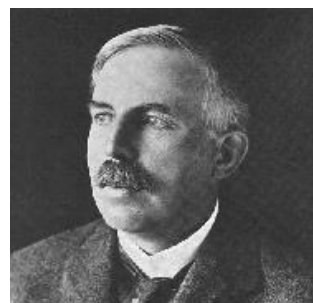
En 1896, Becquerel découvre la radioactivité de l'uranium



La même année, Marie Curie isole un autre élément très radioactif, le radium

Radioactivité: phénomène naturel par lequel certains noyaux se transforment spontanément en d'autres noyaux, tout en émettant des particules ou des rayonnements pour satisfaire aux lois de conservations de l'énergie.

En 1905, Rutherford propose d'utiliser la radioactivité comme chronomètre, pour mesurer l'âge absolu des roches.



En quelques années il détermine l'âge de nombreux minéraux en utilisant l'uranium



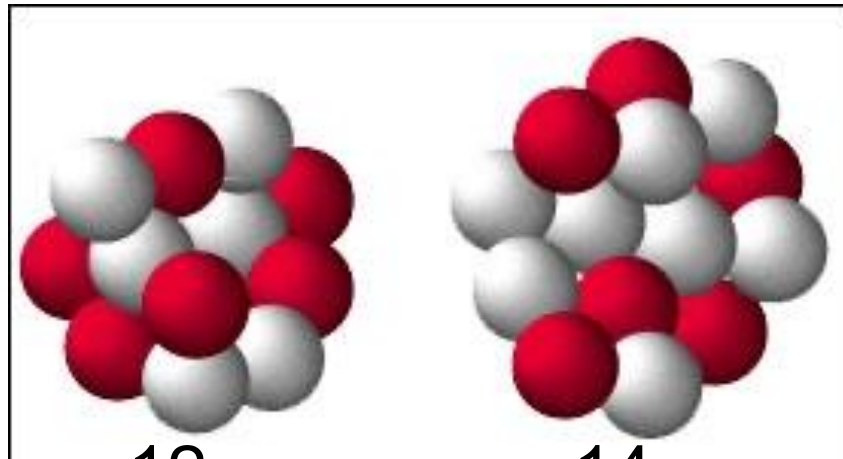
la Terre a plusieurs milliards d'années

3. La datation absolue

Isotopes et radioactivité

Isotopes (rappel) : noyaux d'un même élément possédant le même nombre de protons (Z = numéro atomique) mais possédant un nombre de neutrons N différent. Le nombre de masse A ($=N+Z$) est donc différent.

Le plus
abondant
dans
la nature



$^{12}_6\text{C}$

$Z=6$
 $A=12$
 $N=6$

$^{14}_6\text{C}$

$Z=6$
 $A=14$
 $N=8$

Masses différentes !

Z : nombre de protons
 A : nombre de nucléons
 N : nombre de neutrons

Masse atomique (A) = $N + Z$

Numéro atomique (Z)



Certains isotopes sont stables (ex. ^{12}C) et d'autres sont instables (ex. ^{14}C).

La radioactivité naturelle

Totalement indépendante de l'environnement chimique, de T et P

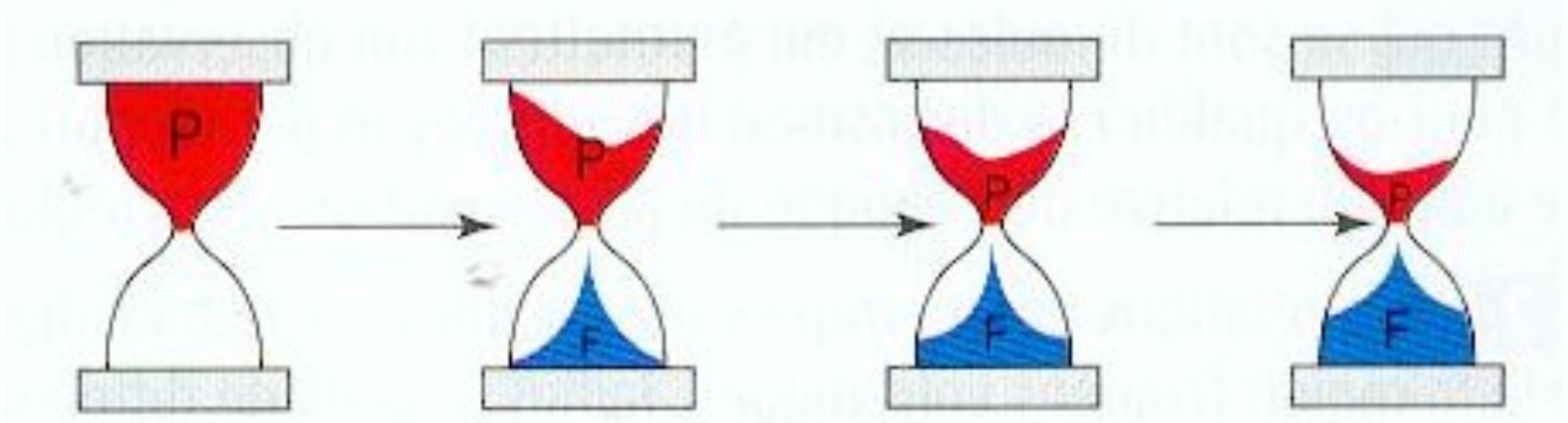
La radioactivité est la désintégration des noyaux instables qui s'accompagne de l'émission de rayonnements pour aboutir à un noyau stable.

Atome radioactif \rightarrow atome radiogénique + rayonnement (α, β, γ)

Atome radioactif = atome Père (ex. ^{14}C)

Atome radiogénique = atome Fils (ex. ^{14}N)

Cette probabilité de désintégration d'un isotope par unité de temps est constante et définie par la constante de désintégration (λ)



N = nombre d'atomes radioactifs
(pères) restant à un instant **t**

$$\frac{dN}{dt} = -N\lambda$$

λ : probabilité de désintégration par unité de temps: propre à chaque noyau et constante dans le temps.

Nous avons notre horloge !!!

En intégrant l'équation précédente :

$$N_{(t)} = N_o e^{-\lambda t}$$

N = nombre d'atomes radioactifs (pères) restant à un instant **t**

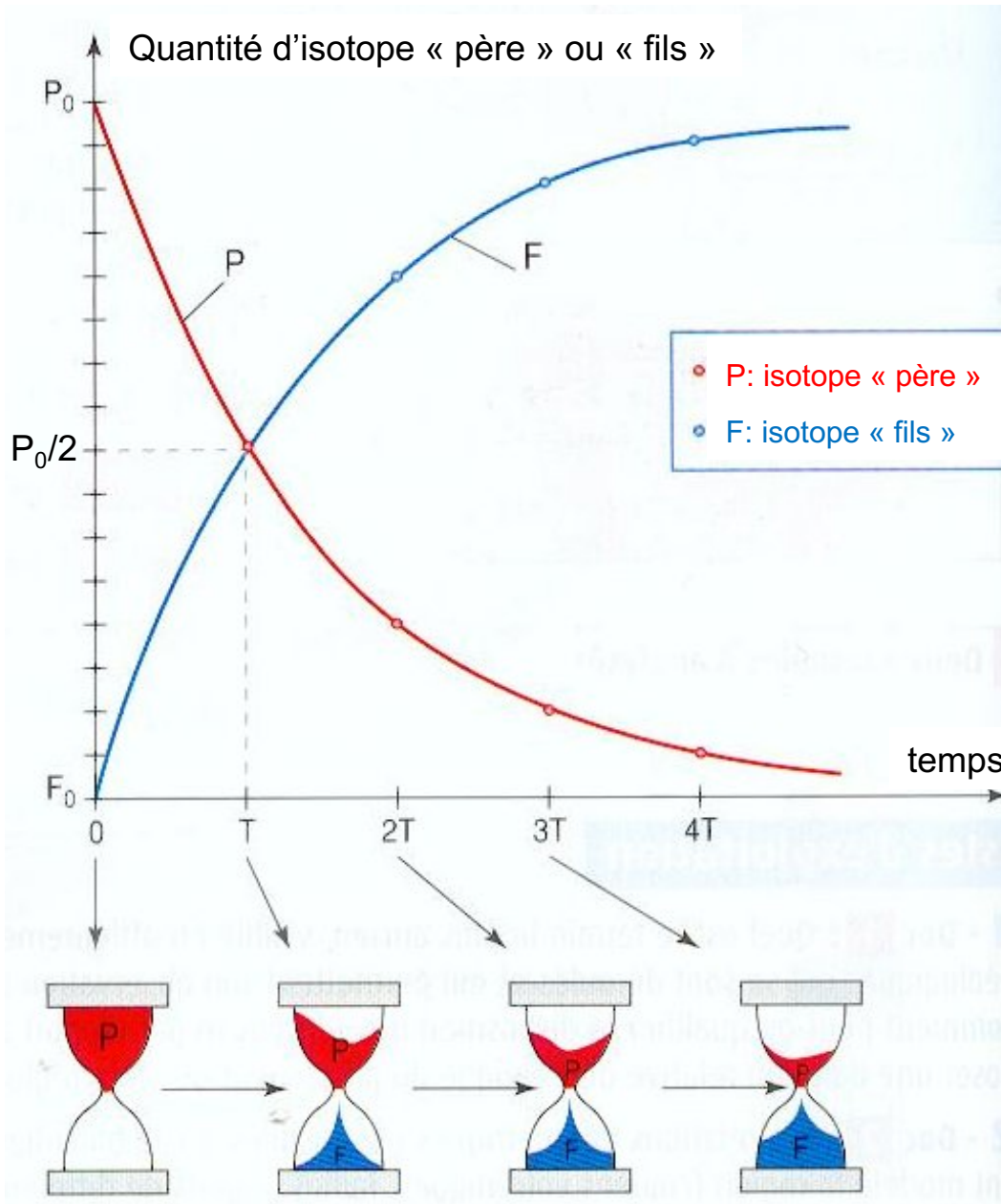
N₀ = nombre d'atomes radioactifs (pères) initial à l'instant **t₀**

λ = constante de désintégration = probabilité pour qu'un atome radioactif se désintègre par unité de temps

LA PERIODE RADIOACTIVE ou la demi-vie : T

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

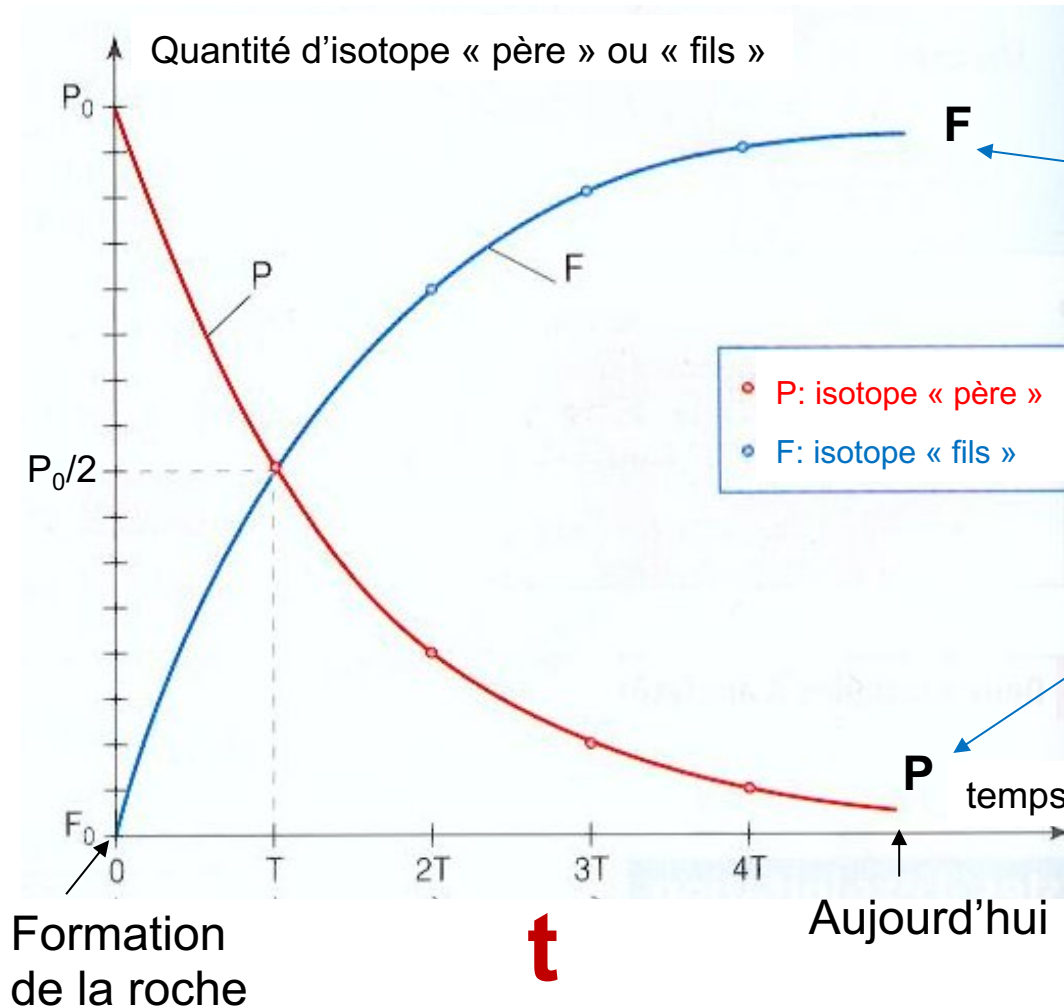
T = temps pour que la moitié des atomes radioactifs se soient désintégrés



Décroissance au cours du temps par désintégration de la quantité de l'isotope radioactif (**père**) et croissance de la quantité de l'isotope radiogénique (**fils**)

T : période (ou demi-vie)

Exemple : Après 5 périodes, il ne reste que 3% des atomes pères initiaux



Aujourd'hui, on mesure:

- La quantité **F** de **Fils** produit.

$$F = P \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

- La quantité **P** de **Père** restant

$$P = P_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

1. On connaît λ

2. On mesure **P** et **F**

3. On déduit **t**, **l'âge de la roche**

3. La datation absolue

Exemples de couples isotopiques

Isotopes	T (ans)
$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$4,7 \times 10^{10}$
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$4,45 \times 10^9$
$^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$	5730

Quelques exemples de désintégrations utiles en Sciences de la Terre

Exemple: ^{87}Rb (atome père radioactif) et ^{87}Sr (atome fils radiogénique)

Il faut 47 milliards d'années pour que la moitié des atomes radioactifs de ^{87}Rb se désintègrent en ^{87}Sr .

4. L'échelle des temps géologiques

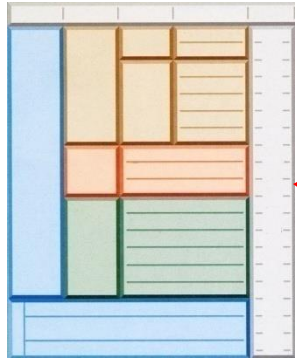
4. L'échelle des temps géologiques

Observations lithologiques et paléontologiques à l'échelle de la coupe (stratigraphie) :

- corrélations à l'échelle de la région, du continent, ..., puis à l'échelle globale,
- Détermination d'une unique succession d'événements (= **chronologie relative**).

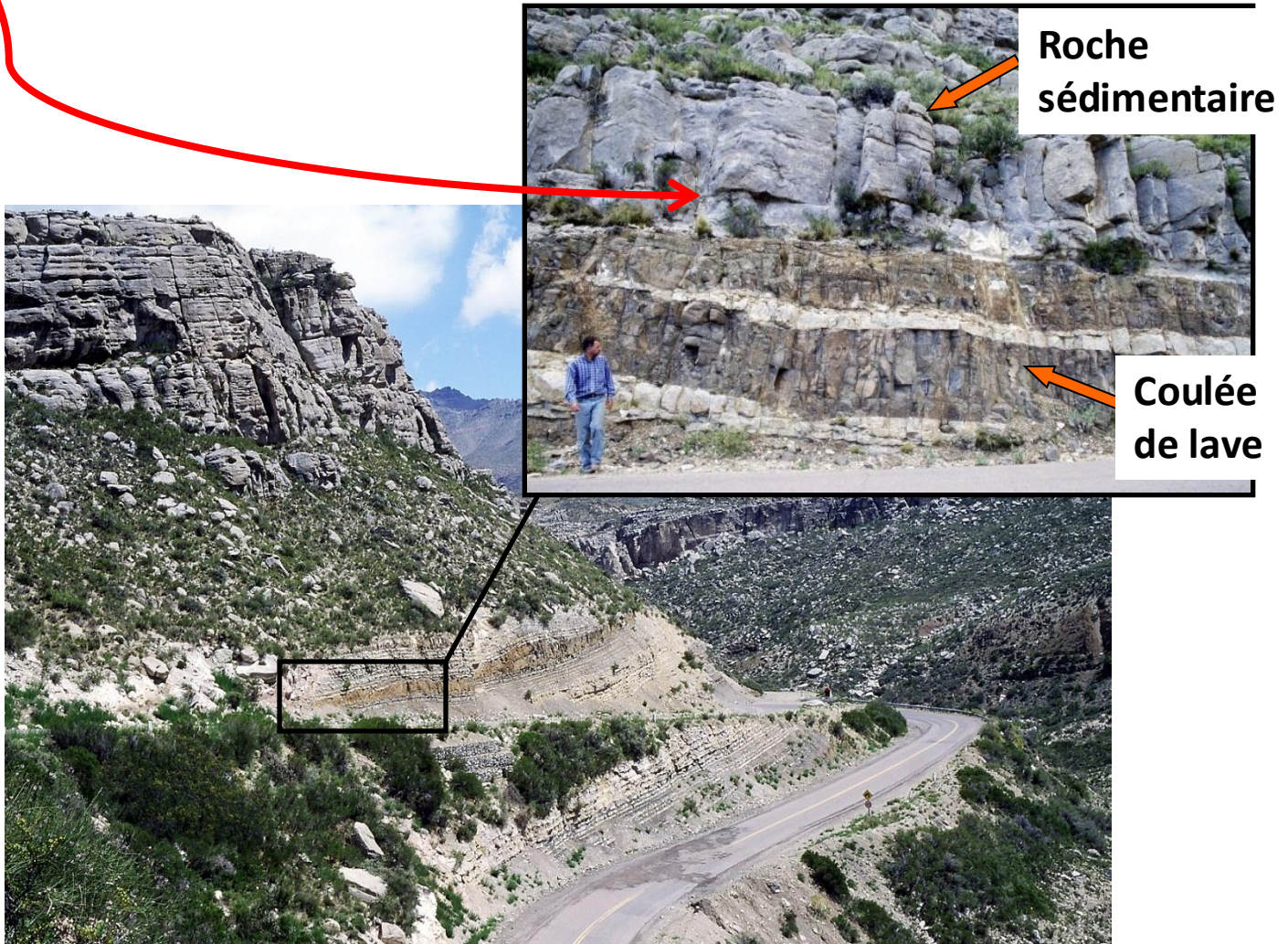
Éon	Ère	Systeme	Série
P h a n é r o z o ï q u e	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène
			Pléistocène
		Tertiaire	Pliocène
			Miocène
			Oligocène
			Eocène
	Mésozoïque (Secondaire)	Crétacé	Paléocène
			Jurassique
			Trias
	Paléozoïque (Primaire)	Permien	Carbonifère
			Dévonien
			Silurien
			Ordovicien
			Cambrien
	Précambri en	Protérozoïque	Archéen
			Hadéen

L'échelle des temps géologiques et la datation absolue



La datation des roches volcaniques inter-stratifiées permet de déterminer l'âge absolu des principaux changements de faunes (fossiles)

Exemple:
Calibration des
sédiments
Jurassique
(Mésozoïque)



4. L'échelle des temps géologiques

Datations radiochronologiques de certains de ces événements (éruptions volcaniques par exemple) (= **chronologie absolue**), => calibration par des âges numériques en Ma.



Éon	Ère	Système	Série	Age (Ma)
P h a n é r o z o ï q u e	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène	0.01
			Pléistocène	1.75
		Tertiaire	Pliocène	5.3
			Miocène	23.5
			Oligocène	33.7
			Eocène	53
	Mésozoïque (Secondaire)	Crétacé	Paléocène	65
			Jurassique	135
			Trias	203
	Paléozoïque (Primaire)		Permien	250
			Carbonifère	295
			Dévonien	355
			Silurien	410
			Ordovicien	435
			Cambrien	500
				540
Précambrien	Protérozoïque		2500	
	Archéen		3800	
	Hadéen		4500	

en millions d'années

Quelques âges

- Premiers fossiles (monocellulaires): **3,5 Ga**
- Début Cambrien (explosion de la vie): **0,54 Ga**
- Fin Paléozoïque (limite Permien-Trias): **250 Ma**; extinction catastrophique (80% des espèces animales éteints)
- Fin Mésozoïque (limite Crétacé-Tertiaire « K-T boundary »): **65 Ma**; extinction catastrophique (dinosaures, ammonites...)
- **7 Ma**: Apparition de l'homme
- Pliocène (**2,6 Ma**) début des glaciations quaternaires
- **12 000 ans**: fin de la dernière glaciation



Conclusions

La chronologie est essentielle en géologie.

2 approches essentielles et complémentaires : la datation relative et la datation absolue.

La datation relative s'appuie sur la stratigraphie (et ses principes fondamentaux) et sur différents arguments (lithostratigraphie, biostratigraphie...) depuis l'échelle locale, régionale puis globale.

La datation absolue s'appuie sur les principes de la radioactivité.

Ces 2 approches ont permis de découper les temps géologiques et d'y apporter des âges.

Il reste néanmoins difficile de dater certains processus de l'histoire de la Terre pour différentes raisons : pas d'indices ou effacés (ex.: fossiles), pas d'éléments radioactifs dans certaines roches, périodes radioactives pas adaptées à la vitesse et à l'âge de tous les processus.

Questions

- Rappelez les principes de stratigraphie.
- Si l' on trouve des ammonites dans une roche sédimentaire, qu' est ce que cette découverte nous indique sur l' âge de la roche.
- Comment peut-on construire l'échelle des temps géologiques?
- A partir de l'échelle des temps géologiques, trouvez un stratotype défini dans le bassin du Sud-Est, dans le Bassin parisien, en Europe et une autre localité dans le monde.
- Quel est l' âge des fossiles les plus anciens trouvés sur Terre?
- Citez 1 couple radioactif et sa période de décroissance.