

# Les fossiles

*Témoins de l'évolution de la Vie ...  
et sources de substances utiles*

*Éric Legendre*



Minéraux et Fossiles des Pyrénées

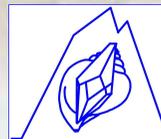
*Fête de la science  
Dax – 9 octobre 2018*



1<sup>ère</sup> partie : Fossilisation  
& détermination des fossiles

2<sup>ème</sup> partie : Observation de fossiles  
de 4 sites régionaux

3<sup>ème</sup> partie : Discussion



→ 1<sup>ère</sup> partie :

- petite histoire de la Paléontologie
  - définition des fossiles
  - processus de fossilisation
  - détermination des fossiles

2<sup>ème</sup> partie : Observation de fossiles  
de 4 sites régionaux

3<sup>ème</sup> partie : Discussion



# Premières interprétations ... et mythes

- fossiles marins en montagne : intégrés à des récits de déluges
- ossements de grande dimension : rattachés à l'existence de dragons, de géants
- dents de requins : interprétées comme des langues (fourchues) de serpents pétrifiées "glossopètres"
- ammonites prises pour des cornes de béliers (d'où leur nom)  
... ou des serpents pétrifiés

Sainte Hilda de Whitby (614 - 680) aurait transformé en pierre  
les serpents qui infestaient les lieux  
Une ammonite du Jurassique inférieur (\*) lui est dédiée  
Pour conforter la légende, les gens de la région récoltaient  
des ammonites, sculptaient une tête de serpent et  
les vendaient ( " snake stones " ) comme preuve du miracle



"Snake stone" de Whitby (North Yorkshire)  
(\*) *Hildoceras* sp. [www.fossils-uk.com](http://www.fossils-uk.com)



Ammonite (du Jur. moyen) accrochée à un linteau de porte (Cathédrale de Bayeux)  
à la fin du XV<sup>e</sup> siècle par le chanoine Bartolus avec une inscription latine expliquant  
que c'est un serpent transformé en pierre par un prodige divin



« Banc des monstres » de la Rade de Brest  
avec de nombreux Brachiopodes du Dévonien  
Plusquellec - 1992



Huître fossile du Jurassique inf  
*Gryphaea* sp.  
appelée griffe (ou ongle de pied)  
du Diable  
Wikipédia

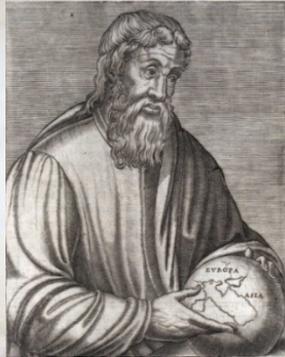
# Précurseurs

**Xénophane** (philosophe) attribuait la présence des coquilles pétrifiées que l'on trouve loin de la mer et des empreintes de poissons des carrières de Sicile à ce que la mer avait recouvert autrefois les continents



XENOPHANE

(570 av. J.C. – 475 av. J.C.)



STRABON

(57 av. J.C. – 21 à 25 ap. J.C.)

**Strabon** (géographe grec) en observant les Nummulites contenues dans le calcaire des pyramides d'Egypte, en déduisit que c'étaient des sortes de lentilles (restes pétrifiés de la nourriture des ouvriers) !

**Montaigne** (philosophe) était intrigué par la falaise d'huîtres de Sainte-Croix-du-Mont : pour lui, il s'agissait de coquilles laissées par le passage de nombreux pèlerins se rendant à Compostelle !!!



Michel de MONTAIGNE

(1533 – 1592)



Bernard PALISSY

(1510 – 1589 ou 90)

**Bernard Palissy** (potier, émailleur...savant naturaliste) s'interroge et déduit de ses observations de terrain en particulier en Saintonge : Pourquoi trouve-t-on tant de fragments de coquilles entre deux couches de pierres, sinon parce que ces coquilles déjà déposées sur la plage y furent recouvertes d'une terre rejetée par la mer, laquelle terre est venue ensuite à se pétrifier ?

→ soit traces anciennes, d'origine humaine !?!

→ soit influence marine dans les terres (par comparaison avec les animaux qu'on trouve actuellement en milieu littoral)

La collection de fossiles est en vogue fin XVIII<sup>ème</sup> et début XIX<sup>ème</sup> siècle, d'abord comme un passe-temps, puis se transforme en une science avec la prise de conscience de l'importance des fossiles amenant notamment des preuves de l'extinction d'espèces



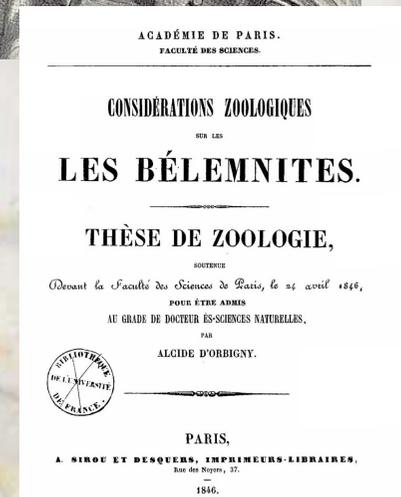
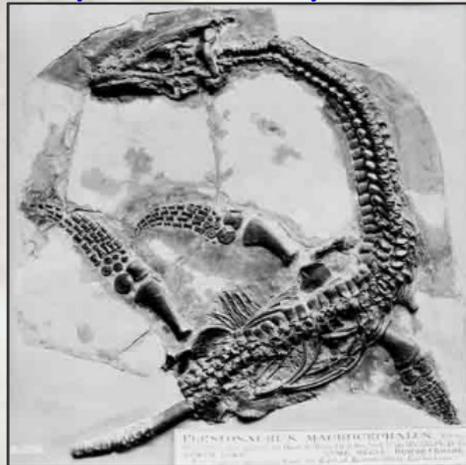
En France : George Cuvier (1769-1832) :  
"père" de l'anatomie comparée et de la paléontologie

Alcide d'Orbigny (1802-1857)  
propose un découpage des temps géologiques  
en étages basés sur des stratotypes  
(affleurements de référence)

→ Naissance d'une science

Mary Anning (1799-1847) : collectionneuse  
de fossiles anglaise devenue paléontologue,  
originaire de Lyme Regis dans le Dorset  
("Jurassic Coast")

Elle découvre le premier squelette  
d'ichtyosaure complet (1811)

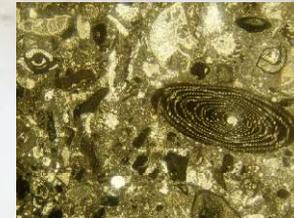
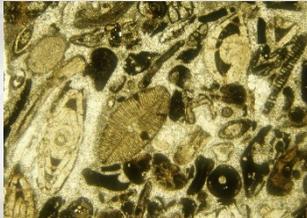


# Définitions

Restes ou moulages naturels d'anciens êtres vivants ou de leurs traces, conservés dans des roches → des pistes, terriers ... sont également considérés comme des fossiles

- Les fossiles (du lat. fossilis, tiré de la terre, de fodere, creuser) sont les témoins de l'évolution de la Vie au cours des temps géologiques
- Leur étude s'appelle la Paléontologie. Elle repose sur une description soignée des restes d'organismes fossiles dans une perspective d'anatomie comparée

- Selon leur taille : on parle de macrofossiles ou microfossiles (voire nanno) de loin les + abondants



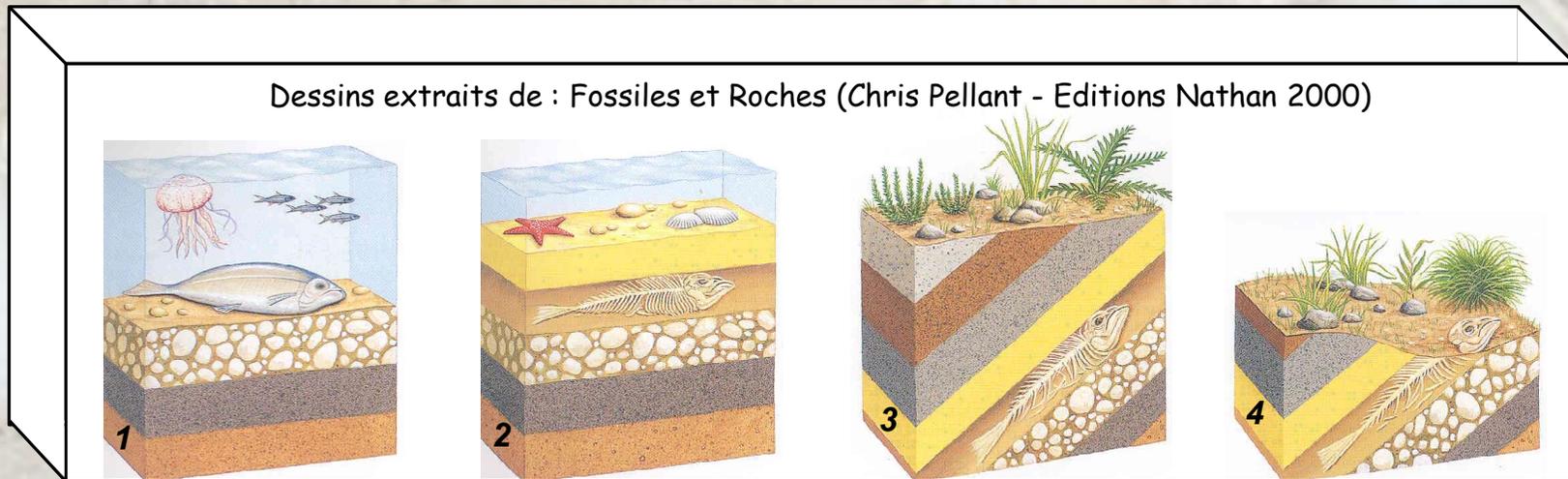
- On parle aussi par abus de langage de "fossiles vivants", qui sont des animaux ou végétaux seuls survivants actuels de groupes autrefois répandus. Ce sont des espèces qui ont très peu évolué, du point de vue morphologique, au cours du temps :
  - **Coelacanthe** poisson marin, proches des Amphibiens, connus par des fossiles du Dévonien au Crétacé considéré comme disparu ensuite, retrouvé dans l'Océan indien en 1938



- **Ginkgo biloba** arbres presque tous fossiles, pouvant atteindre 40 m de haut, du groupe des Préphanérogames (\*) représentés actuellement par une seule espèce - apparus au Permien

(\*) Phanérogames = Plantes à fleurs et à graines comportant les Gymnospermes et les Angiospermes

# Formation des fossiles



1- Un organisme meurt et tombe au fond de l'eau (mer, lac ou rivière).  
Les parties dures (os, coquilles) subsistent et les parties molles,  
sauf cas exceptionnel, disparaissent  
→ la fossilisation tend à favoriser les organismes composés de parties dures

2- Des couches de sédiments viennent recouvrir les parties dures.  
Le poids des sédiments accumulés transforme progressivement les  
couches plus profondes en roches (lithification)

3- Des millions d'années plus tard, des mouvements de l'écorce terrestre  
soulèvent les roches et les ramènent à la surface de la Terre

4- L'érosion peut alors dégager le fossile et l'amener à l'affleurement

# Fossilisation

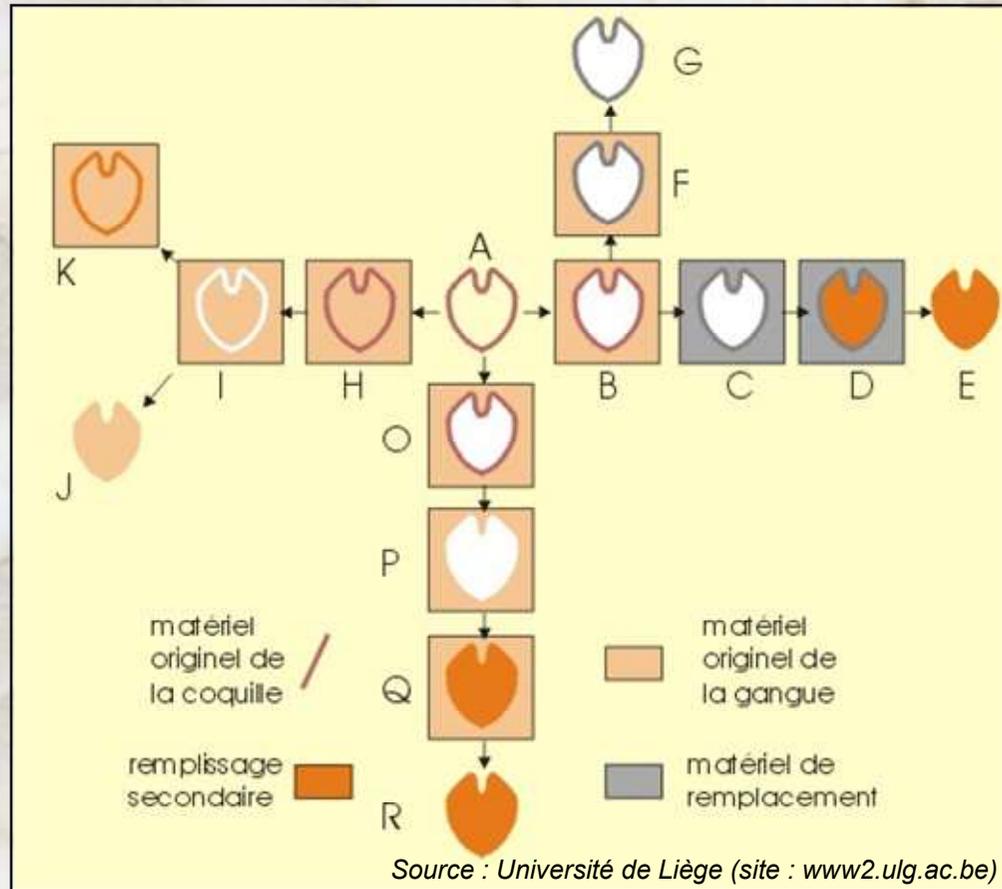
Dans la Nature de nombreuses modalités de fossilisation existent (préservation la coquille d'origine, ou au contraire dissolution de cette coquille)

Souvent la fossilisation s'accompagne d'un remplacement soit du matériel original de la coquille soit du matériel de remplissage de la cavité interne (épigénie)



Coquille de Gastéropode remplie par le matériel originel de la gangue (marne)

Coquille d'origine (H)



Moule interne de coquille d'Ammonite

Intérieur remplacé par de la pyrite (E)

**A: coquille originelle**

**B:** coquille enfouie mais sans remplissage ultérieur - **C:** coquille et gangue remplacées secondairement;

**D:** cavité originelle remplie secondairement de matériel - **E:** seul le remplissage (moule interne de la coquille) est conservé;

**F:** seul le matériel de la coquille originel est remplacé - **G:** la coquille en matériel remplacé est dégagée ultérieurement;

**H:** coquille remplie et enfouie - **I:** dissolution de la coquille originelle - **J:** le moule interne a été dégagé de la gangue;

**K:** la cavité correspondant à la coquille est remplie par des dépôts tardifs;

**O:** coquille enfouie non remplie - **P:** coquille dissoute avec formation d'un moule externe - **Q:** remplissage du moule externe;

**R:** dégagement naturel du moule externe.

# Epigénie

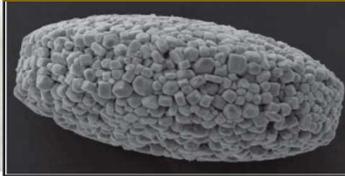
Remplacement au sein d'une roche d'un minéral par un autre, molécule par molécule, avec conservation très précise des formes de l'élément originel, comme les structures internes de fossiles

- Lié à un apport de nouveaux minéraux par circulations de fluides (volcaniques, hydrothermaux)
  - Processus assez rapide par rapport aux échelles de temps géologiques : des Japonais ont plongé des fragments de bois d'aulne dans une source chaude riche en silice d'origine volcanique → au bout de 7 années, jusqu'à 40% en poids du bois était silicifié. En extrapolant on estime que du bois silicifié peut se former en quelques dizaines à centaines d'années !

Remplacement par des sulfures :  
Ammonite en pyrite - Crétacé inférieur - France



Diatomée en pyrite  
Paléogène - France



Conservation de la forme d'un frustule de Diatomée (longueur ~ 120  $\mu\text{m}$ ) épigénisé en cubes +/- tronqués de pyrite (Eetvelde & Dupuis - 2005)

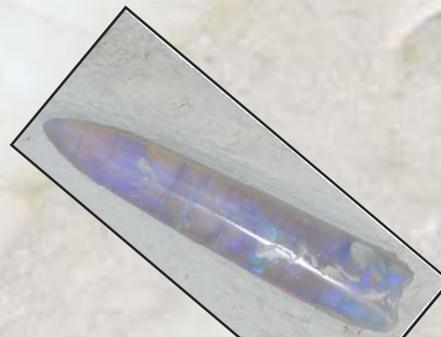
par des carbonates : Ammonite avec cœur et phragmocône en calcite  
Jurassique inférieur - France



par des oxydes : Ammonite avec coquille et loges en hématite  
Jurassique inférieur - Maroc



par de la silice : Araucaria  
Jurassique - Argentine



par de la silice (opale) :  
Bélemnite - Crétacé - Australie

par de l'émeraude :  
Gastéropode - Crétacé inférieur  
Colombie



# Lagerstätten

« lieu de stockage » = dépôt sédimentaire contenant une grande diversité de fossiles ou des fossiles très complets

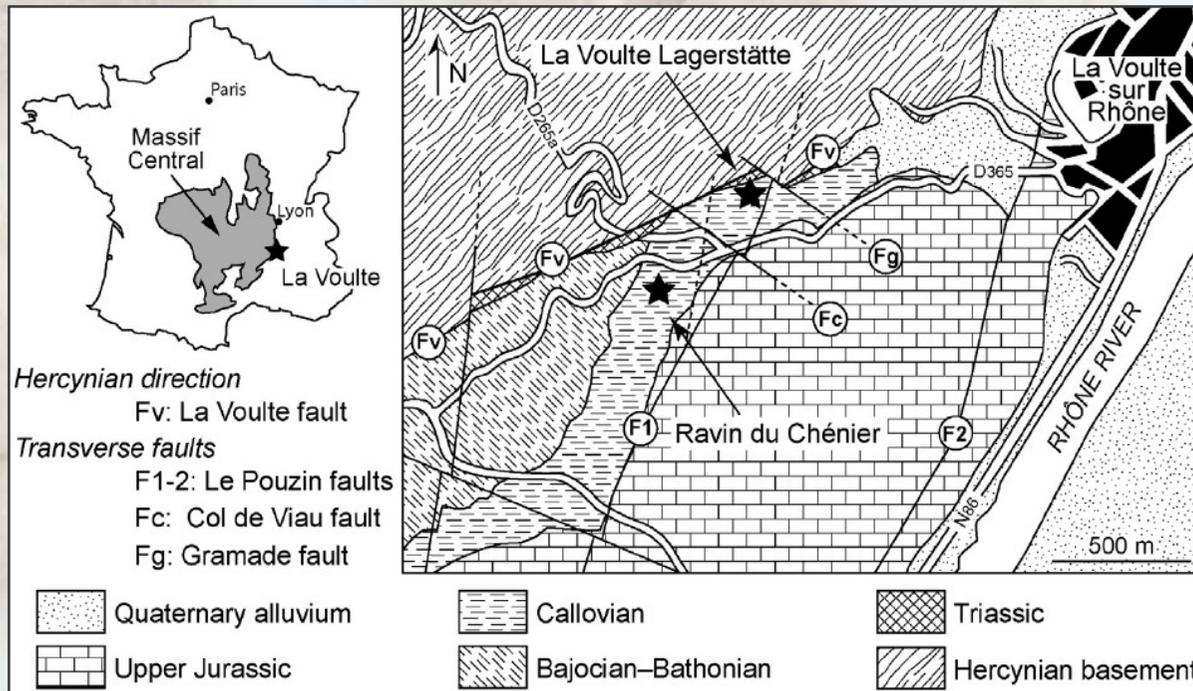
## Cas particulier de gisements avec conservation exceptionnelle des fossiles (notamment des parties molles)

Le Lagerstätte de La Voulte (Ardèche - âge Jurassique moyen) est remarquable par ses organismes à corps mou : octopodes (1) calmars « vampires des profondeurs » (2)

Les Arthropodes [ex. crustacés (3)] sont dominants (50% des espèces)

Echelle sur les photos = 2 cm

L'ensemble présente les caractéristiques d'une faune bathyale actuelle (de milieu marin profond avec une tranche d'eau supérieure à 200 m)  
Possible oasis fossile en relation avec un événement hydrothermal ???  
(Charbonnier et al. - 2014)



# Carbonisation

Des végétaux (feuilles ...) peuvent subir  
une fossilisation par carbonisation :

- à l'abri de l'air, la cellulose se décompose (sous l'action de bactéries anaérobies)  
laissant un résidu plus ligneux et donc plus carboné
- il n'y a pas eu de minéralisation

Ce processus de préservation de fragments d'organismes fragiles permet de  
conserver une grande finesse de détails



← Feuilles fossiles  
d'Aulne (*Alnus* sp.)  
et d'Orme (*Ulmus* sp.)  
dans la diatomite de Murat - Cantal  
(limite Miocène-Pliocène - 5,3 Ma)

# Congélation

## Conservation d'organismes entiers par la glace

*Cas du mammoth « Jarkov » trouvé en 1997 :*

- vivait il y a 20000 ans dans les steppes du Grand Nord sibérien
- tombé dans une faille (victime de la rupture d'un pont de glace ?)
  - recouvert d'une coulée de boue qui a rapidement gelé

→ la brusque congélation après sa mort a permis sa conservation

Source : Wikipédia

*Bloc de 23 tonnes de pergélisol (partie profonde, constamment gelée d'un sol soumis au gel) contenant « Jarkov »*

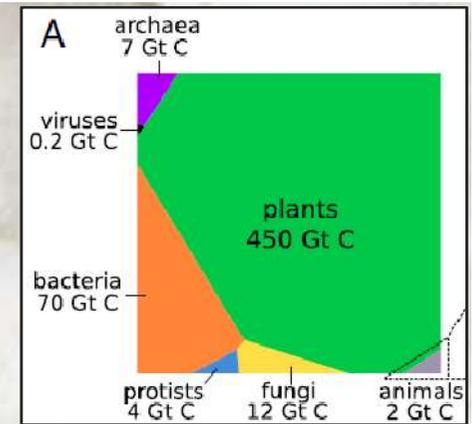
[www.cite-sciences.fr](http://www.cite-sciences.fr)



*Reconstitution d'un mammoth laineux  
Royal BC Museum - Victoria (Canada)*

# Matière organique 1/5

L'essentiel de la biomasse est constitué par les plantes (82 %) puis par les bactéries (13 %) Bar-On - 2018



## Le double cycle du Carbone organique sur Terre

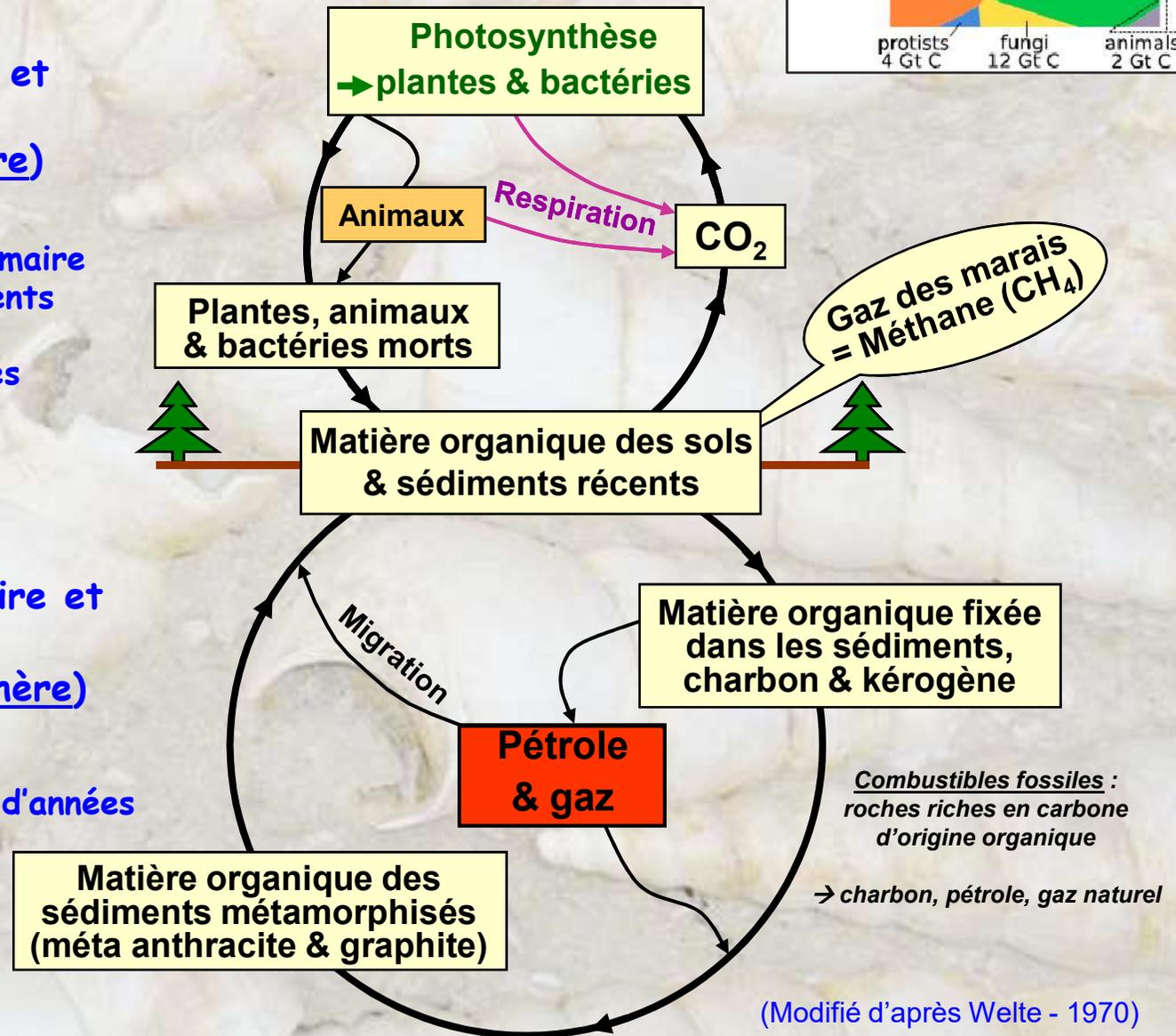
Cycle 1 = Cycle biologique et atmosphérique (se passe dans la Biosphère)

Moins de 1% de la biomasse primaire est préservée dans les sédiments

Durée du 1<sup>er</sup> cycle en années

Cycle 2 = Cycle sédimentaire et métamorphique (se passe dans la Lithosphère)

Durée du 2<sup>nd</sup> cycle en millions d'années

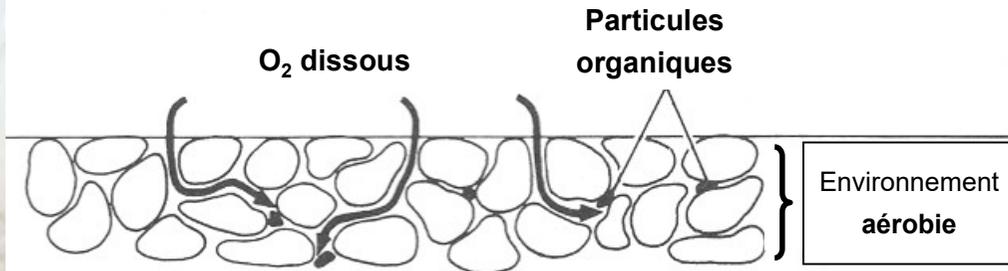


(Modifié d'après Welte - 1970)

# Matière organique 2/5

## Destruction ou préservation de la matière organique après son dépôt dans les sédiments superficiels ?

**Destruction dans un sédiment poreux  
déposé en conditions oxydantes  
(ex. fond marin sableux avec courant)**



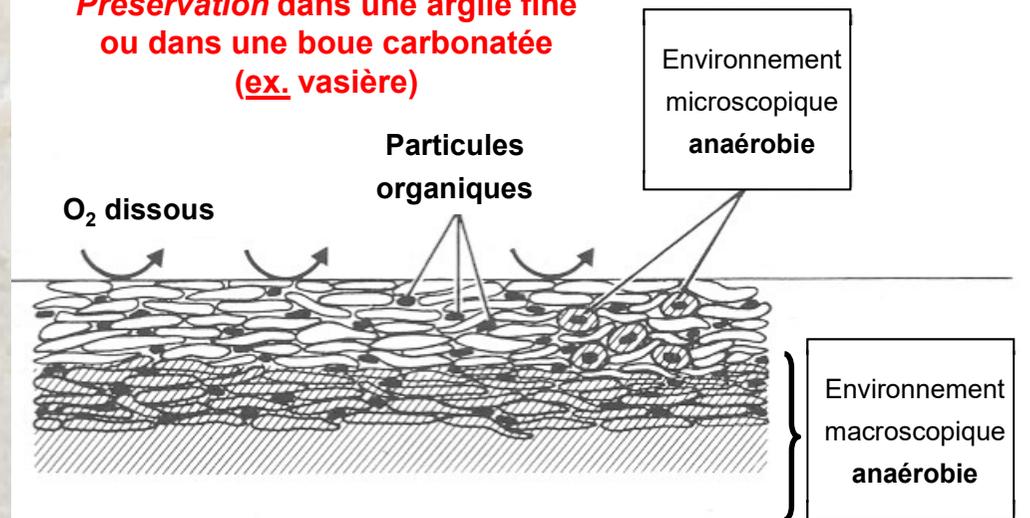
→ si la matière organique sédimente dans un milieu anaérobie la minéralisation s'arrête dès que tout le dioxygène initialement présent a été consommé

→ La plus grande partie de la biomasse subit une minéralisation totale et seule une très faible partie (< 1%) sédimente

→ Formation de roches mères à HC (roche sédimentaire fine riche en matière organique - plusieurs % en poids de roche - déposée dans des environnements favorables à la préservation de la matière organique)

→ C'est cette fraction qui est à l'origine du charbon, du pétrole et du gaz naturel après enfouissement

**Préservation dans une argile fine  
ou dans une boue carbonatée  
(ex. vasière)**



(d'après Tissot & Welte - 1978)



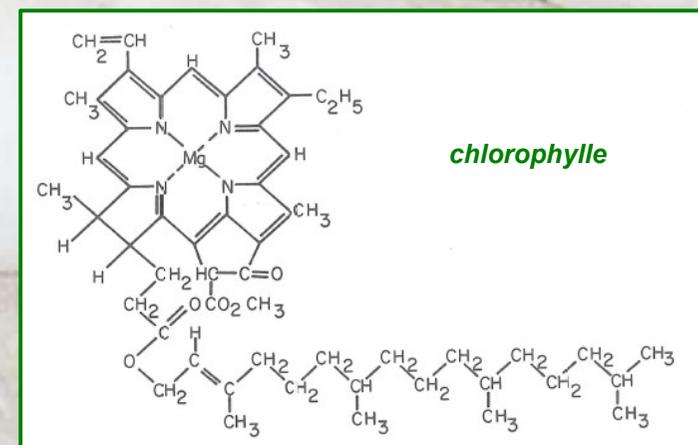
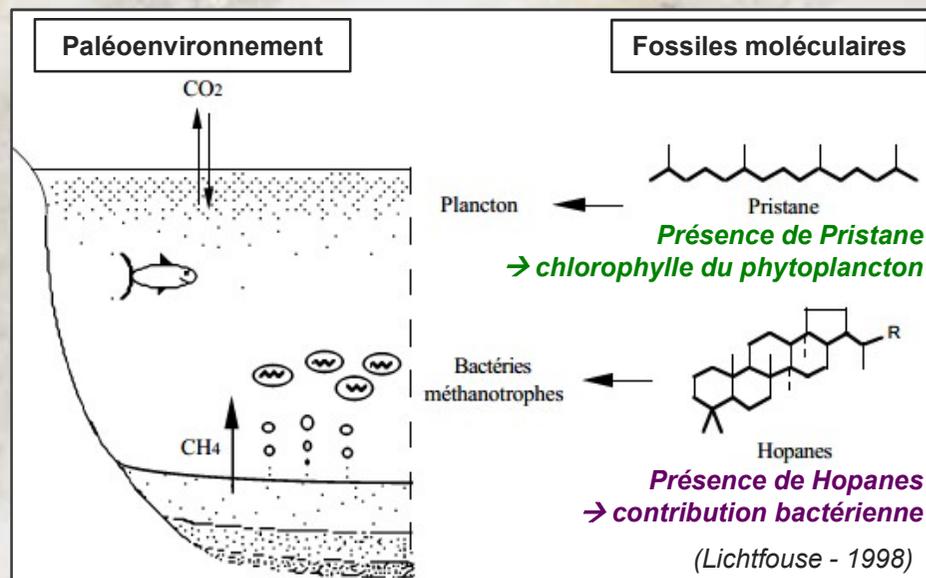
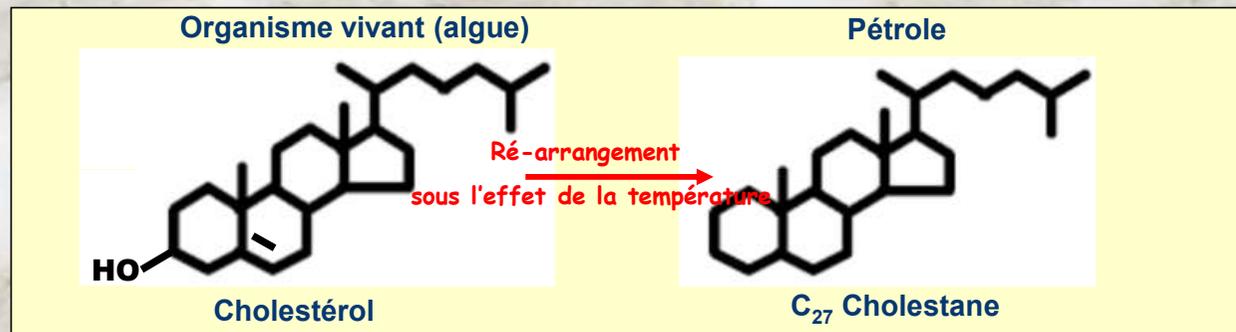
# M.O./les hydrocarbures (« combustibles fossiles ») 3/5

La matière organique des sols et des sédiments est issue de la transformation de la M.O. biologique (protéines, glucides, lipides ...) après la mort des êtres vivants

Les hydrocarbures liquides et gazeux se forment en profondeur par action de la température sur des matières organiques fossiles (restes de végétaux et bactéries) déposées dans des sédiments

Les fossiles (\*) moléculaires (ou biomarqueurs) sont des molécules présentes naturellement dans les sols, les sédiments ... le pétrole brut. Ils permettent de faire le lien avec la matière organique source des combustibles fossiles, en particulier d'identifier l'origine d'un pétrole avant sa migration  
→ informations sur les apports de matière organique, le milieu de dépôt ...

(\*) restes ou moulages naturels d'anciens êtres vivants



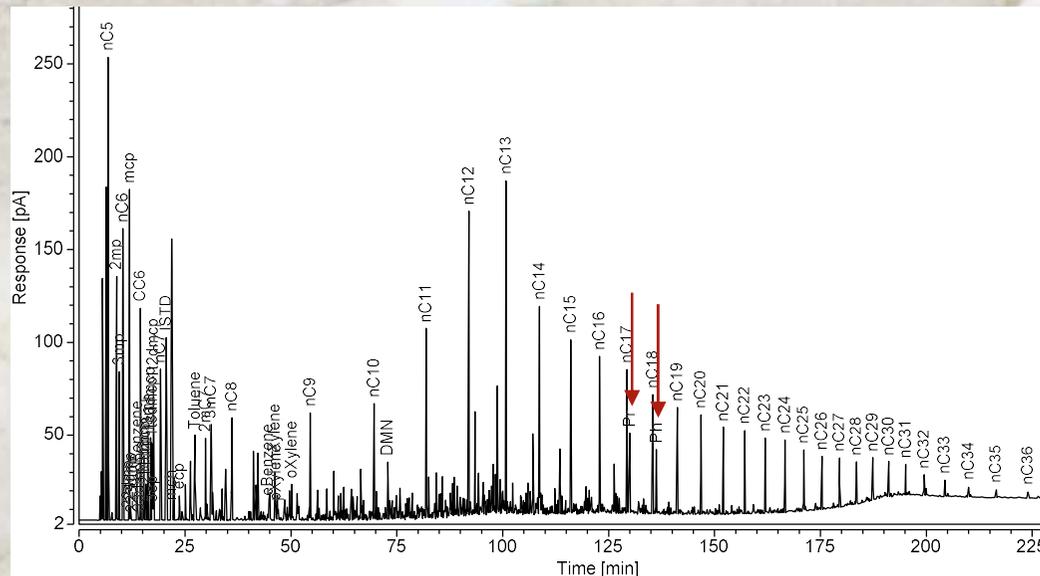
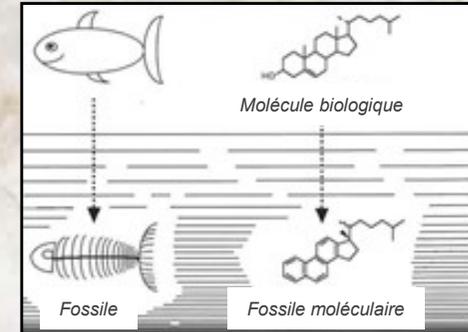
# Qu'est-ce qu'un BIOMARQUEUR ? 4/5

➤ Biomarqueurs = fossiles moléculaires complexes dérivés de substances biochimiques, en particulier les lipides des organismes vivants.

➤ Leur structure chimique suggère un lien avec un produit naturel connu dans la biosphère, appelé « précurseur ».

➤ Les biomarqueurs ont été identifiés dans des roches mères et dans des pétroles, et permettent de corréler le pétrole à sa roche mère

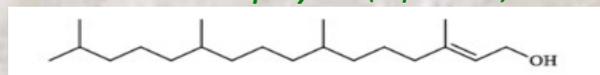
➤ Ils révèlent des informations sur les environnements de dépôt des roches mères



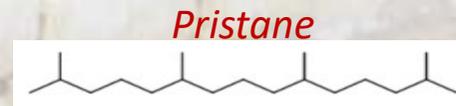
**Exemple : le rapport Pristane/Phytane**

**Organisme vivant**

**Chlorophylle ("queue")**

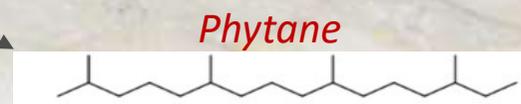


Oxydant

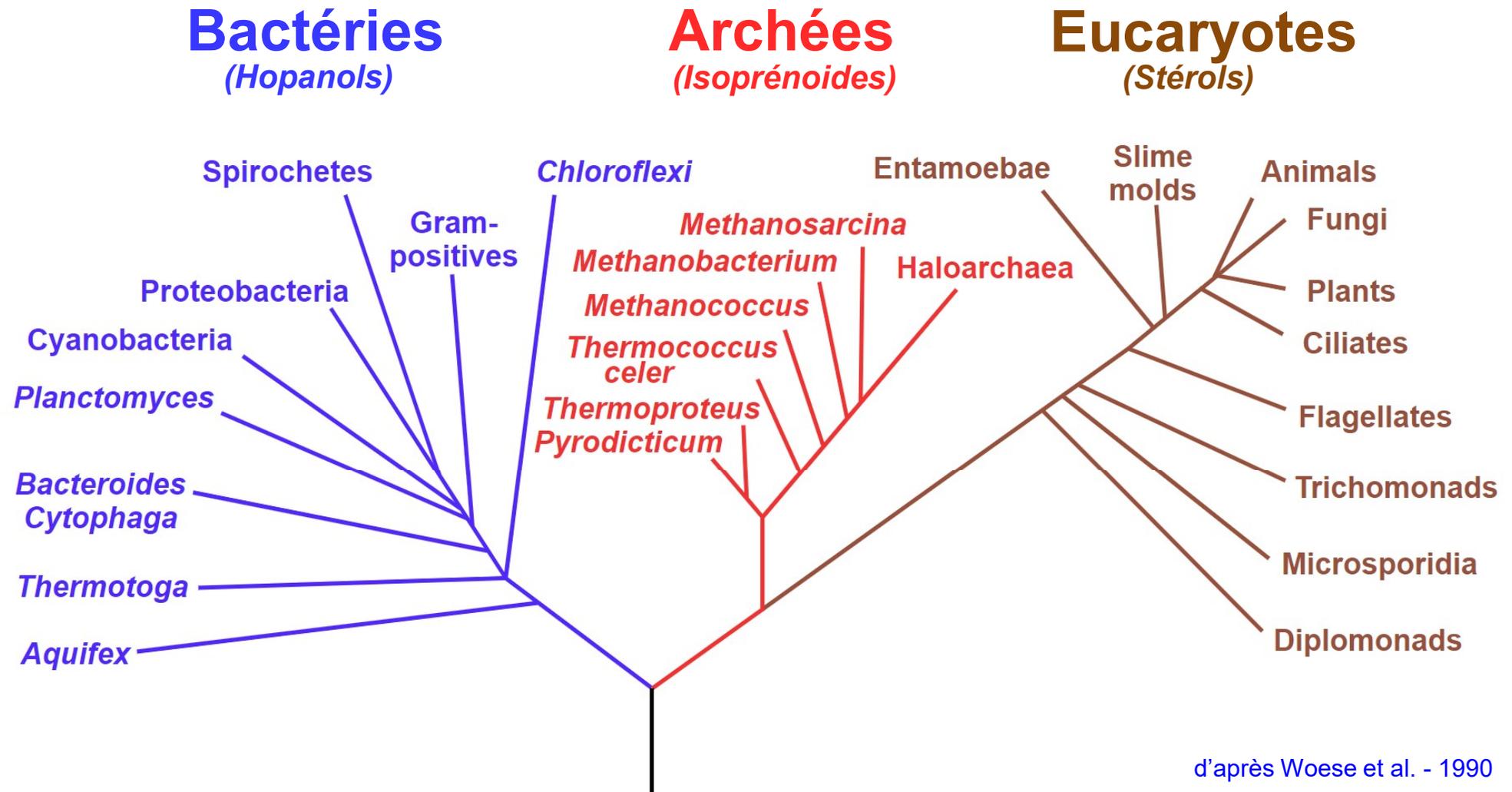


Réducteur

**Hydrocarbures**



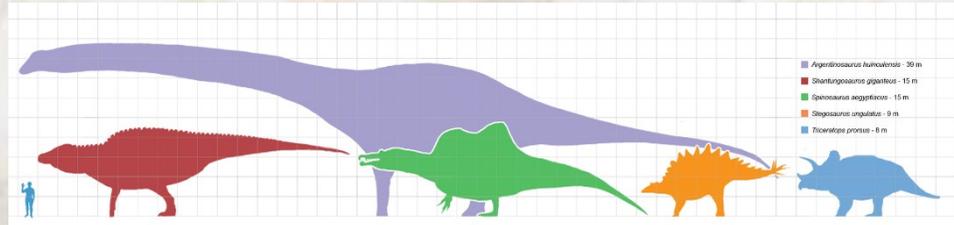
# Les précurseurs des biomarqueurs ? 5/5



Trois grands domaines du Vivant : Bactéries & Archées (Procaryotes) et Eucaryotes  
Ces organismes fournissent de la matière organique au cycle du carbone sur Terre.

Les Procaryotes sont des micro-organismes unicellulaires  
Les Eucaryotes contiennent un noyau membranaire et des organites complexes

Certains fossiles correspondent à des plantes ou animaux ayant vécu à une période donnée de l'histoire de la Terre, et qui ont maintenant disparu. C'est par exemple le cas des Ammonites, qui vivaient dans les mers et des Dinosaures, qui vivaient sur terre et pour certains dans les mers de l'Ere Secondaire (entre -251 et -66 Ma)



De nombreux autres groupes d'animaux ou de plantes ont disparu au cours des temps géologiques, comme les Trilobites qui ont vécu dans les mers de l'Ere Primaire (entre -541 et -251 Ma)  
→ trouver de tels fossiles permet d'estimer l'âge des roches dans lesquelles ils sont conservés  
Inversement certains groupes d'animaux qui sont apparus il y a très longtemps vivent toujours aujourd'hui, comme les Requins qui sont apparus lors de l'Ere Primaire (entre -420 et -360 Ma)

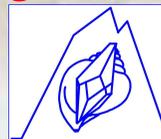


→ datation des roches sédimentaires



Un autre renseignement apporté par les fossiles est de montrer que la Terre n'a pas toujours eu le même aspect : si on trouve des coquillages marins fossiles datant de 20 millions d'années en plein milieu des Landes, cela signifie qu'à l'époque la mer venait jusque là !

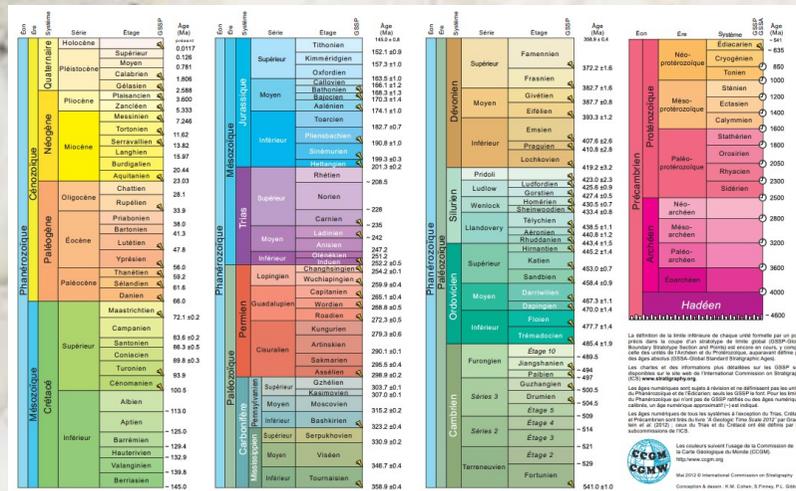
→ reconstitution des visages de la Terre (paléogéographie)



# Eléments de conclusion

Nombreuses applications de l'étude des fossiles, en Géologie comme dans la vie de tous les jours :

- L'intérêt de retrouver certains groupes de fossiles est de permettre de dater = attribuer un âge, aux terrains dans lesquels on les trouve. On nomme fossiles stratigraphiques des espèces ayant à la fois une existence brève à l'échelle géologique, et une répartition géographique importante de leur vivant.



Principe d'identité paléontologique :  
 « Deux couches contenant les mêmes fossiles sont considérées comme ayant le même âge. »  
 → Découverte des fossiles stratigraphiques



William SMITH (1769 – 1839)

- Des fossiles peuvent être liés à un milieu de vie particulier : ce sont alors des fossiles de faciès, dont la présence permet de reconstituer l'environnement dans lequel ils vivaient par analogie avec l'Actuel (Turritelles de Roquefort → climat tropical)



- Les fossiles ont aussi une importance économique (cas des combustibles fossiles, issus des restes d'êtres vivants, comme le pétrole...mais aussi d'autres comme la craie, la diatomite). Dans ces cas, il s'agit de l'accumulation de quantités énormes de ... microfossiles

# Détermination des fossiles 1/2

## 1- Toujours mentionner lieu de découverte !

Indispensable à toute détermination, ainsi qu'à la collection de fossiles (et de minéraux)

Prendre des photos des échantillons sur le site (avant et/ou après dégagement)

Penser à les protéger lors du transport (journal ... pour des fossiles fragiles réaliser une enveloppe protectrice avec de l'argile)

## 2- Distinguer les « pseudo-fossiles » des véritables

(exemple : dendrites de manganèse)

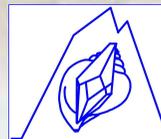


## 3- Dégager un minimum les fossiles et les regrouper par « espèces ressemblantes »

- simple brossage à l'eau, si l'état du fossile le permet
- sinon consolider l'échantillon pour une meilleure préservation

## 4- Déterminer l'étage géologique de la trouvaille

- « Normalement » la détermination d'un fossile stratigraphique doit permettre de déterminer l'étage géologique ... mais ...
- Utiliser des cartes géologiques, des guides géologiques régionaux, Internet ... associations locales ... les sources d'information possibles sont quasiment infinies



# Détermination des fossiles 2/2

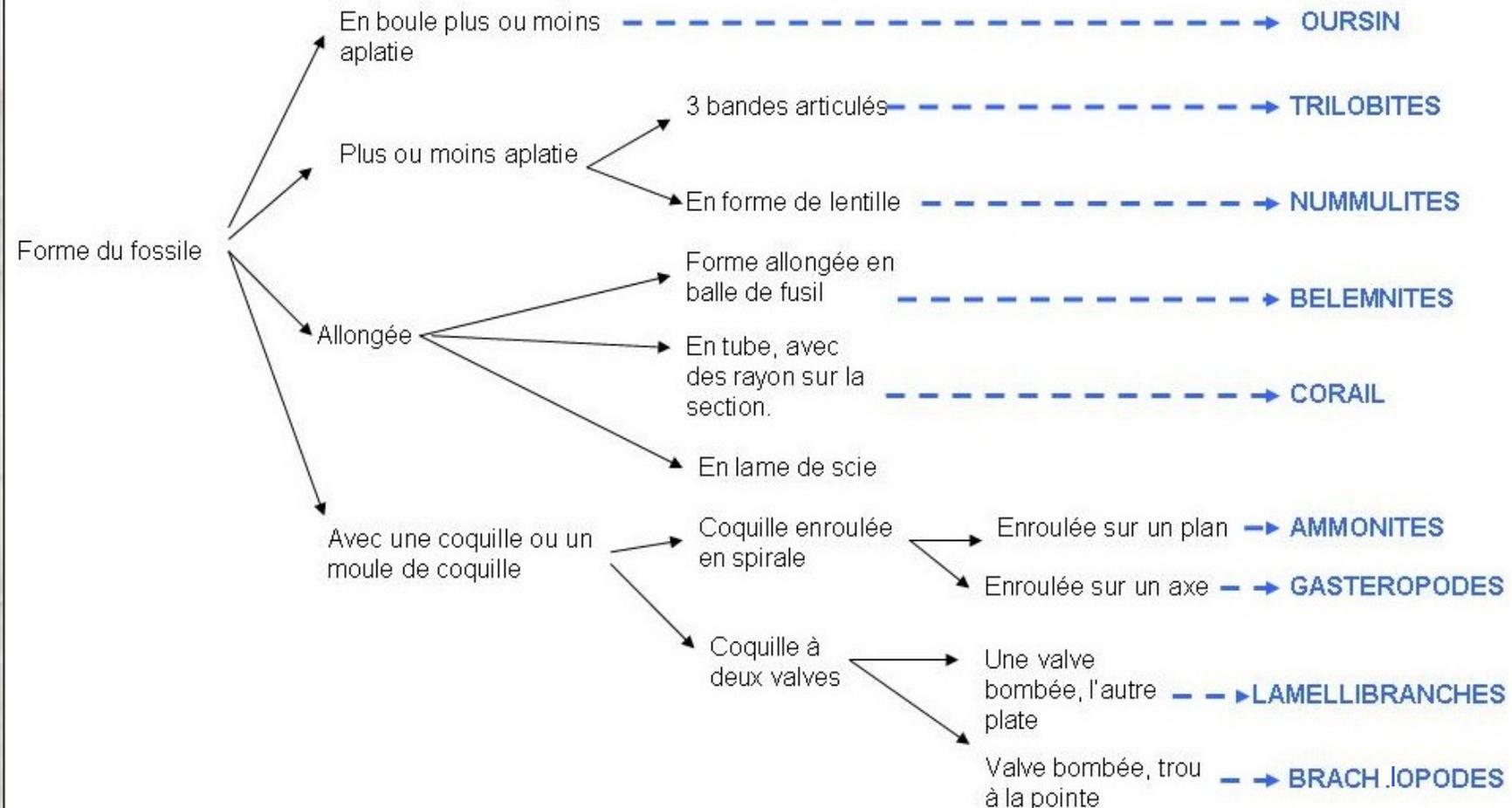
## 5- Classifier le fossile (ou le groupe de fossiles) par famille

→ Regrouper les fossiles découverts sur chaque site en fonction des critères de forme, de taille, d'ornementation (voir étape 3) et utiliser une clé de détermination

→ Une détermination se fait rarement d'un seul coup : c'est un processus itératif dans lequel de nouvelles informations ou d'autres découvertes peuvent tout remettre en cause !!!

### → Clé simplifiée pour la détermination de quelques fossiles

<http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/svt/>



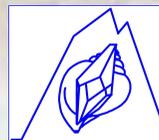
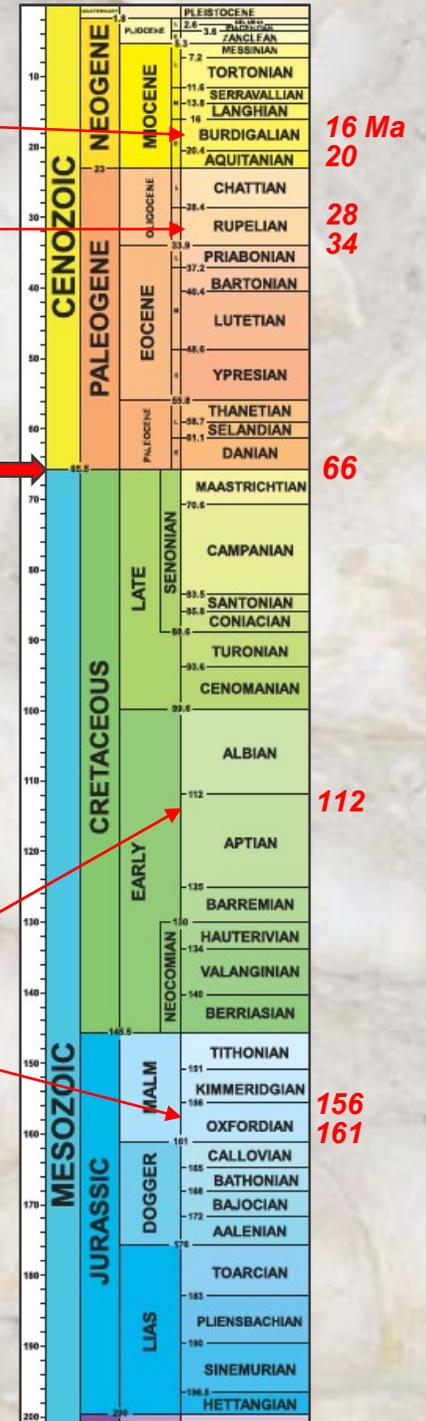
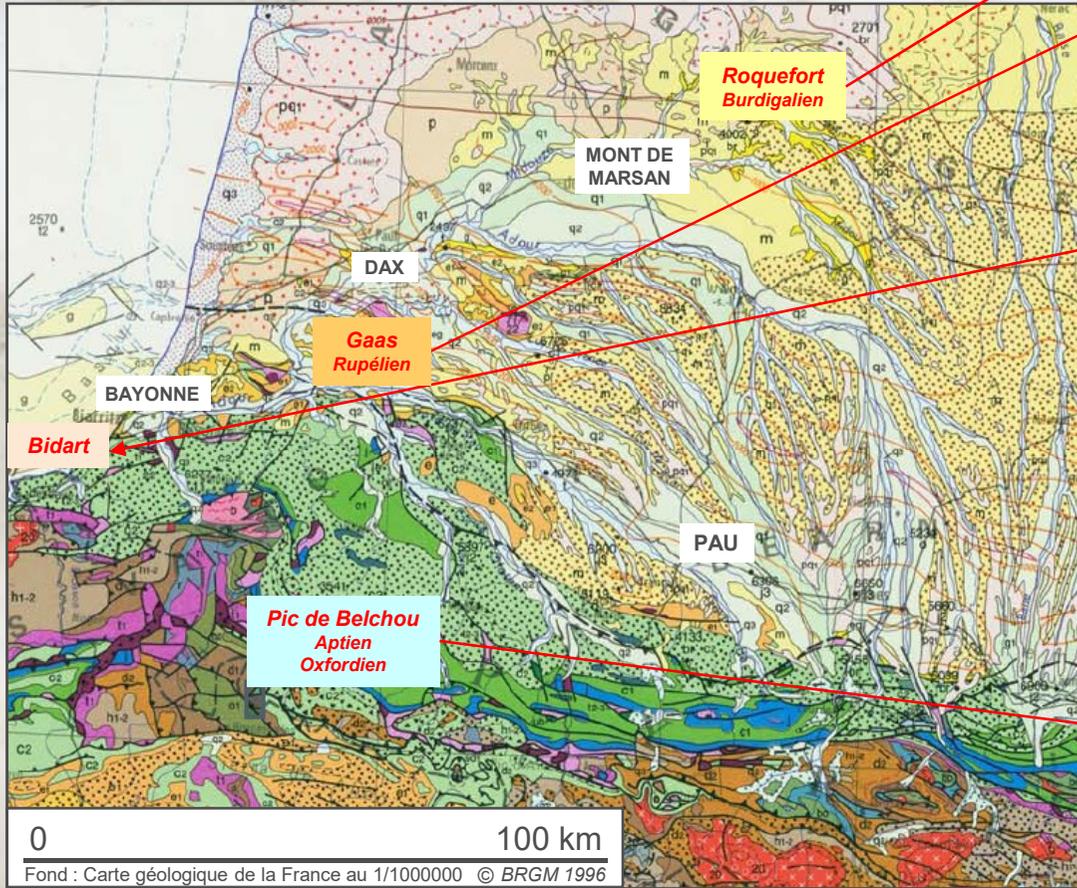
 Les Vertébrés (Poissons, Reptiles, Oiseaux, Mammifères) et les Végétaux ne sont pas pris en compte dans ce document

1<sup>ère</sup> partie : Fossilisation  
& détermination des fossiles

→ 2<sup>ème</sup> partie : Observation de fossiles  
de 4 sites régionaux

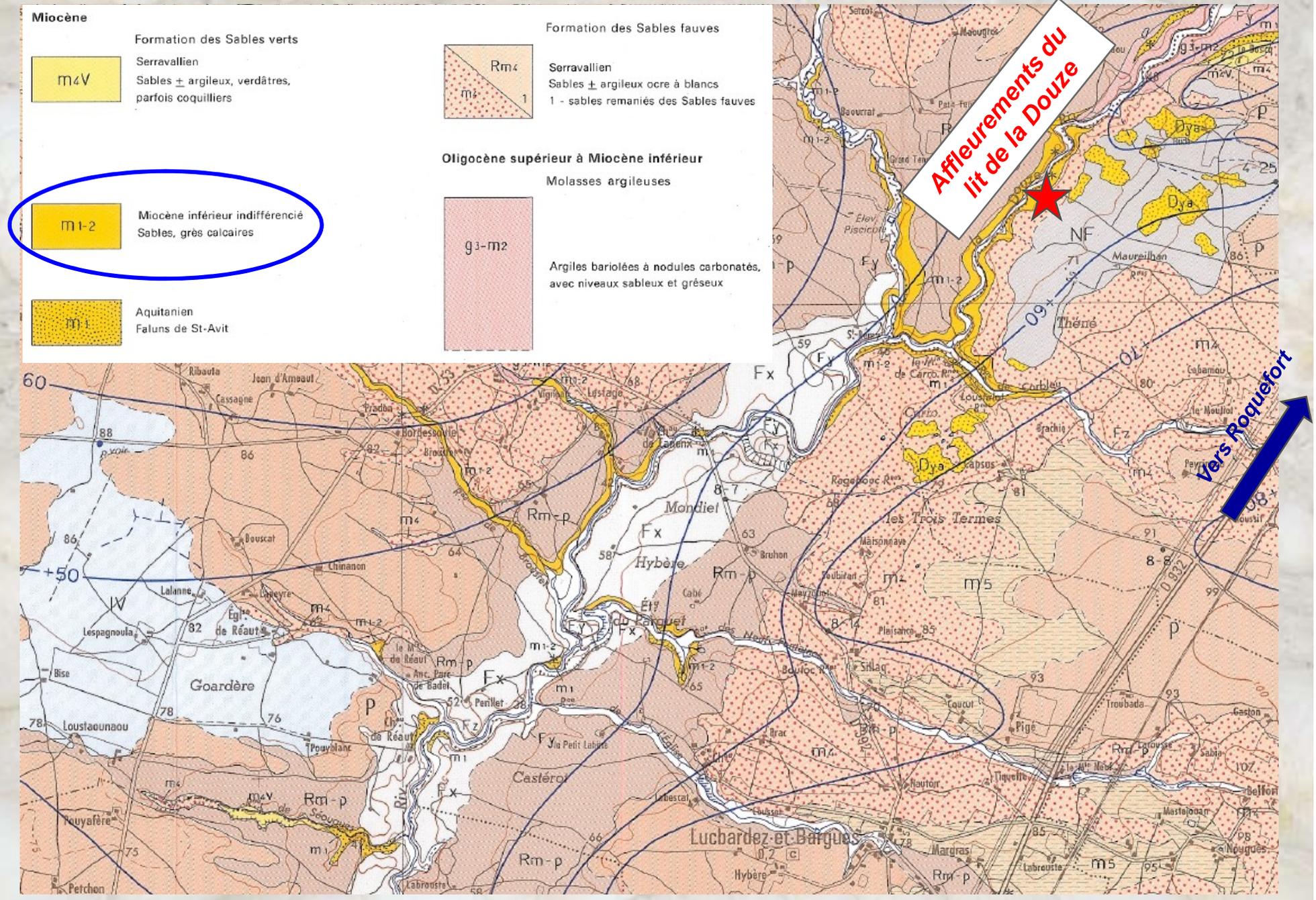
3<sup>ème</sup> partie : Discussion

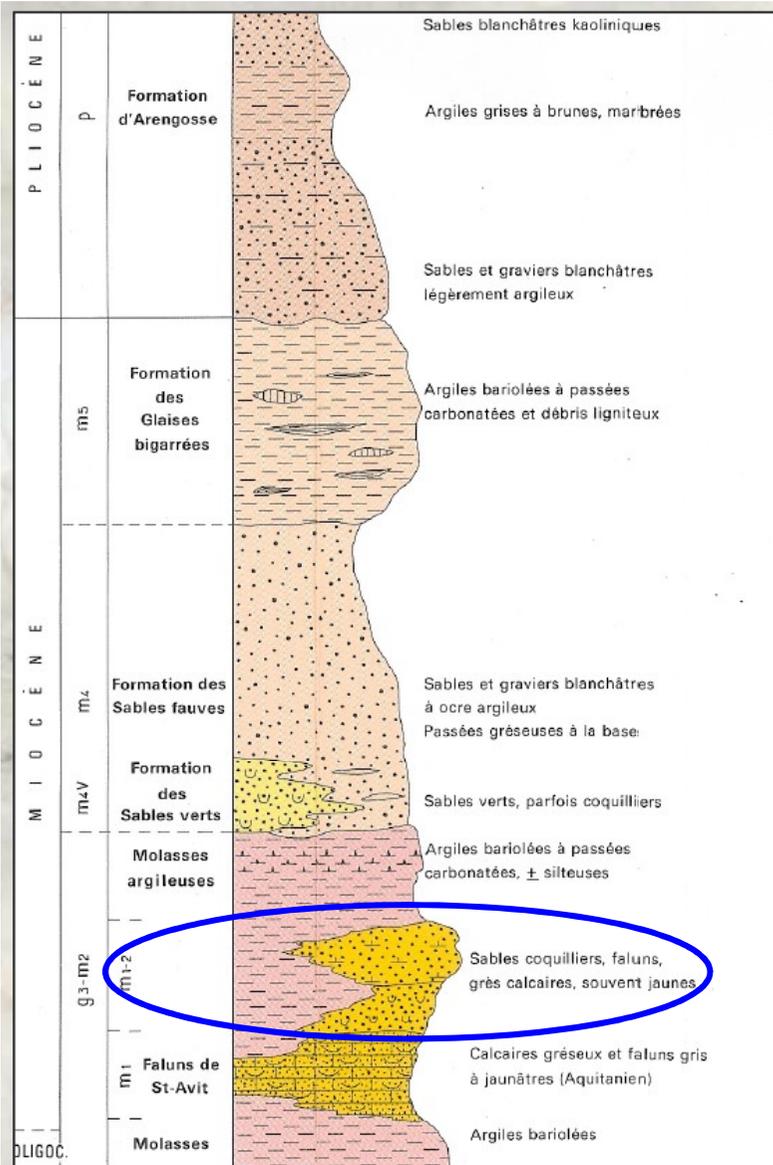




# ROQUEFORT

## Carte géologique au 1/50000 feuille Brocas - BRGM



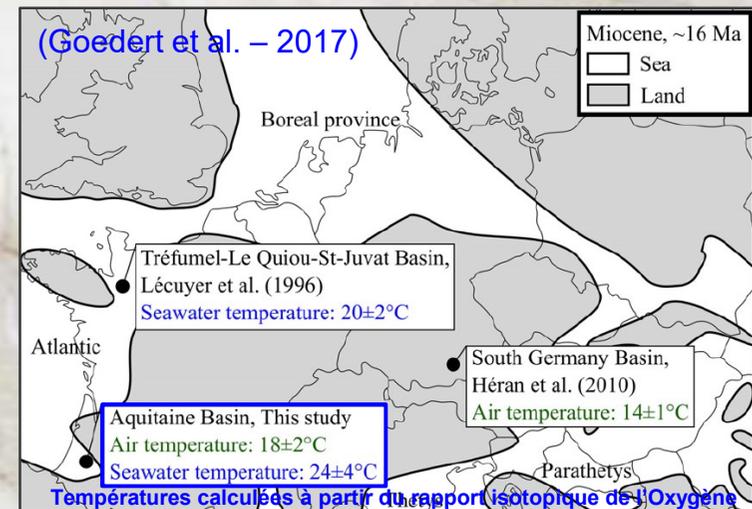


## Coupe lithologique synthétique (Carte géologique au 1/50000 feuille Brocas - BRGM)



**Carte paléogéographique au Burdigalien**  
(d'après Cahuzac U. Bordeaux)

**L'association paléontologique ressemble à celle des régions tropicales actuelles**  
→ **Climat chaud et bathymétrie faible**





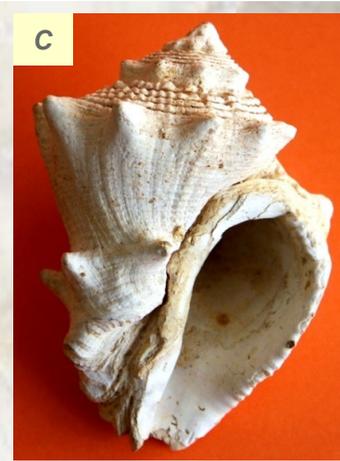
A

**Turritella terebra :**  
Gastéropode  
Répartition : Océan Pacifique  
Océan Indien



B

A- *Turritella terebralis*  
B- *Turritella desmarestina*



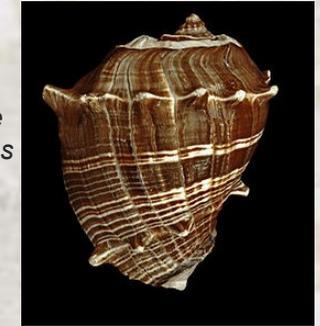
C

C- *Melongena lainei*  
D- *Melongena cornuta*



D

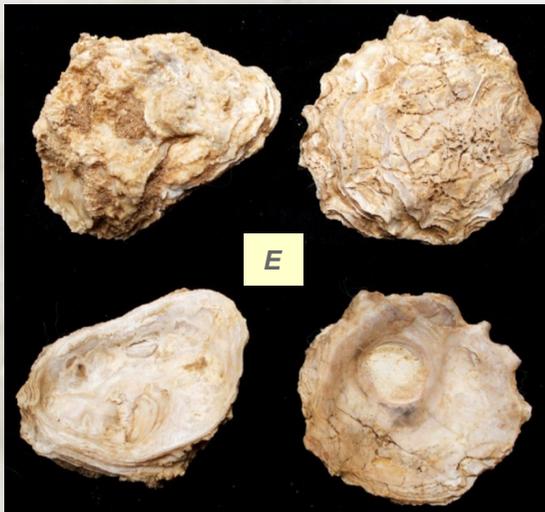
**Melongena :** Gastéropode  
Répartition : Antilles et côtes  
de l'Alabama et Floride



F

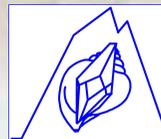
F- Côte de Sirénien  
(*Metaxytherium*)

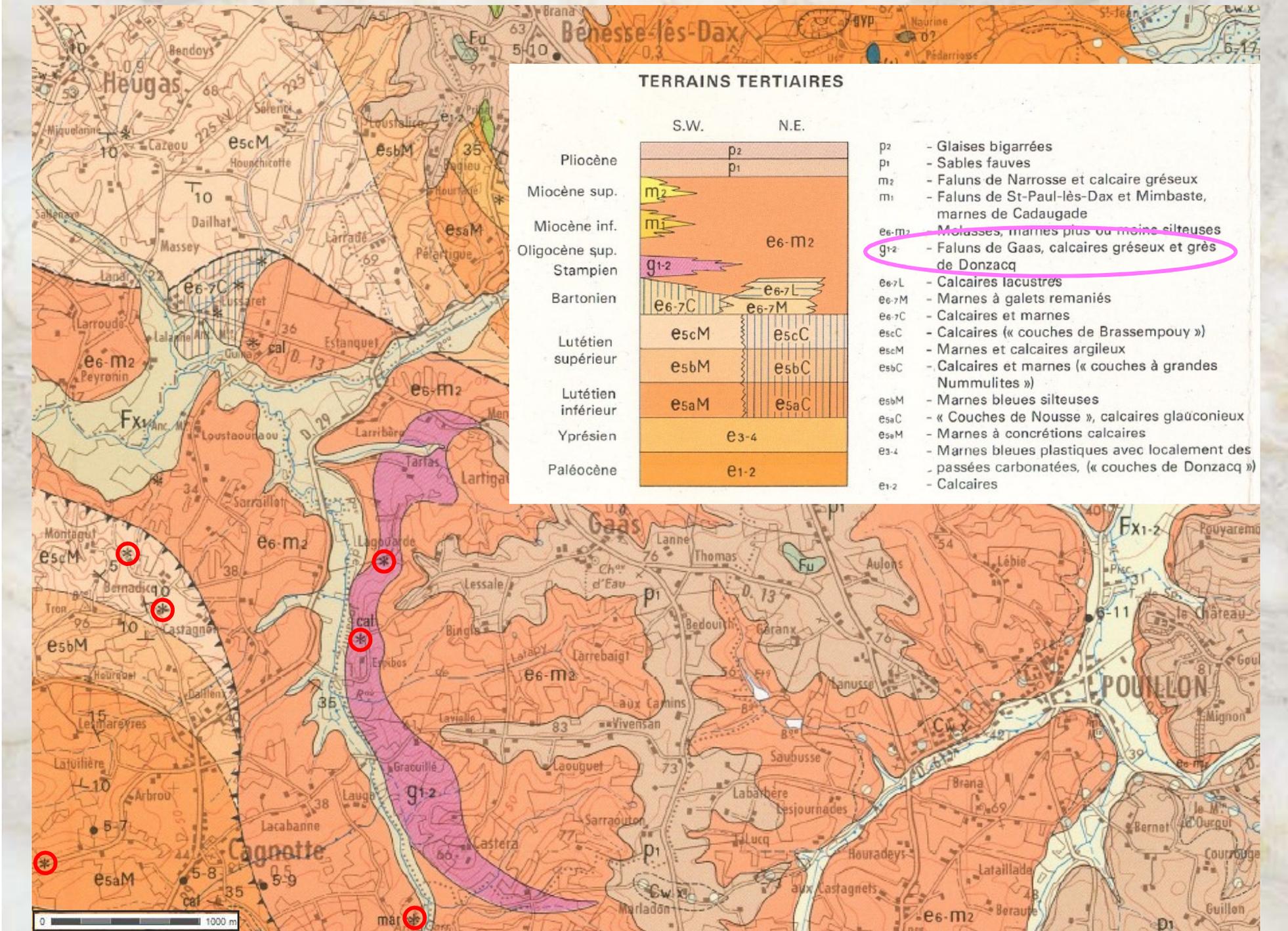
**Dugong :** Mammifère marin herbivore,  
vivant sur les littoraux de l'océan Indien  
et de l'océan Pacifique ouest



E

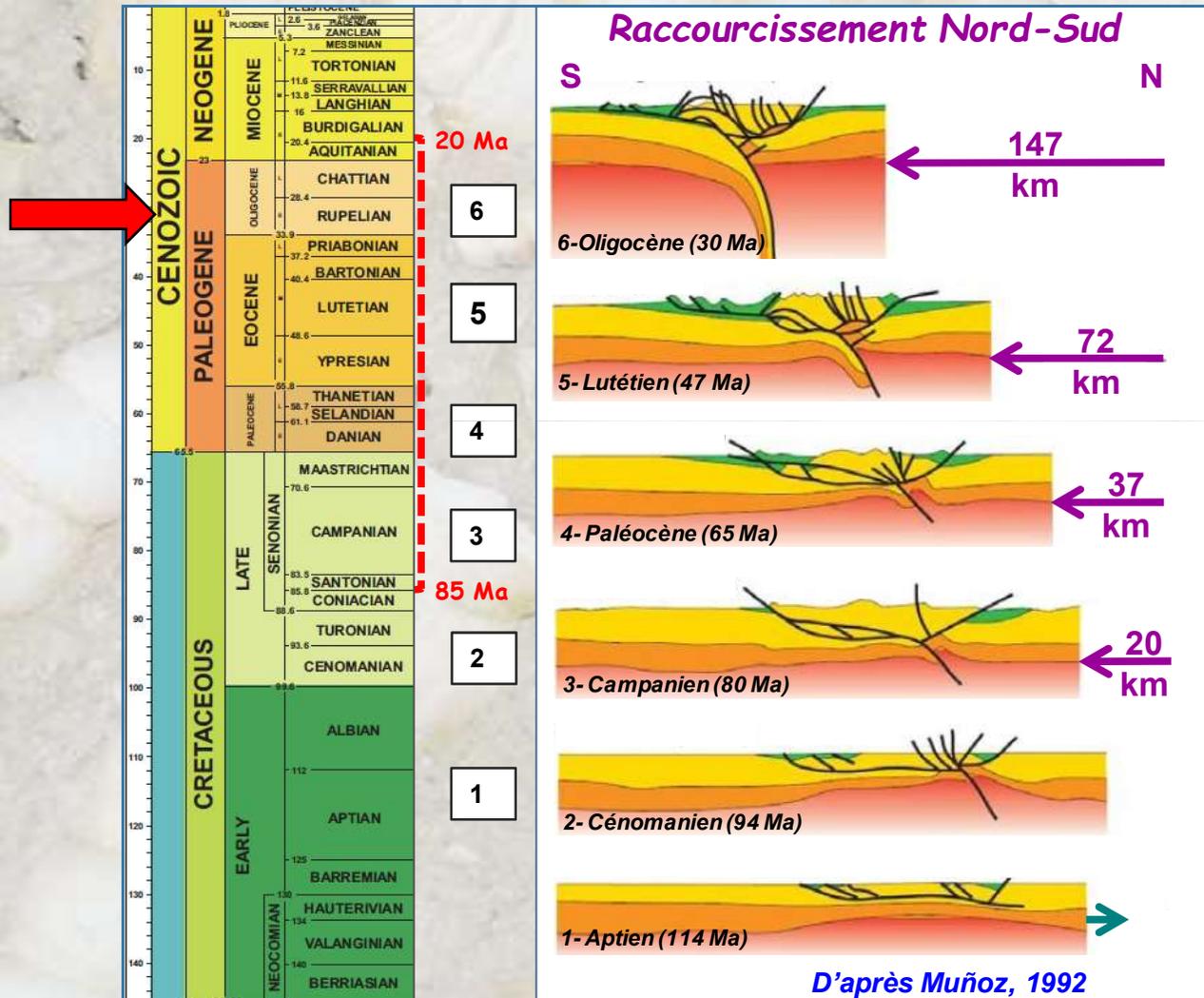
E- *Hyotissa undata*



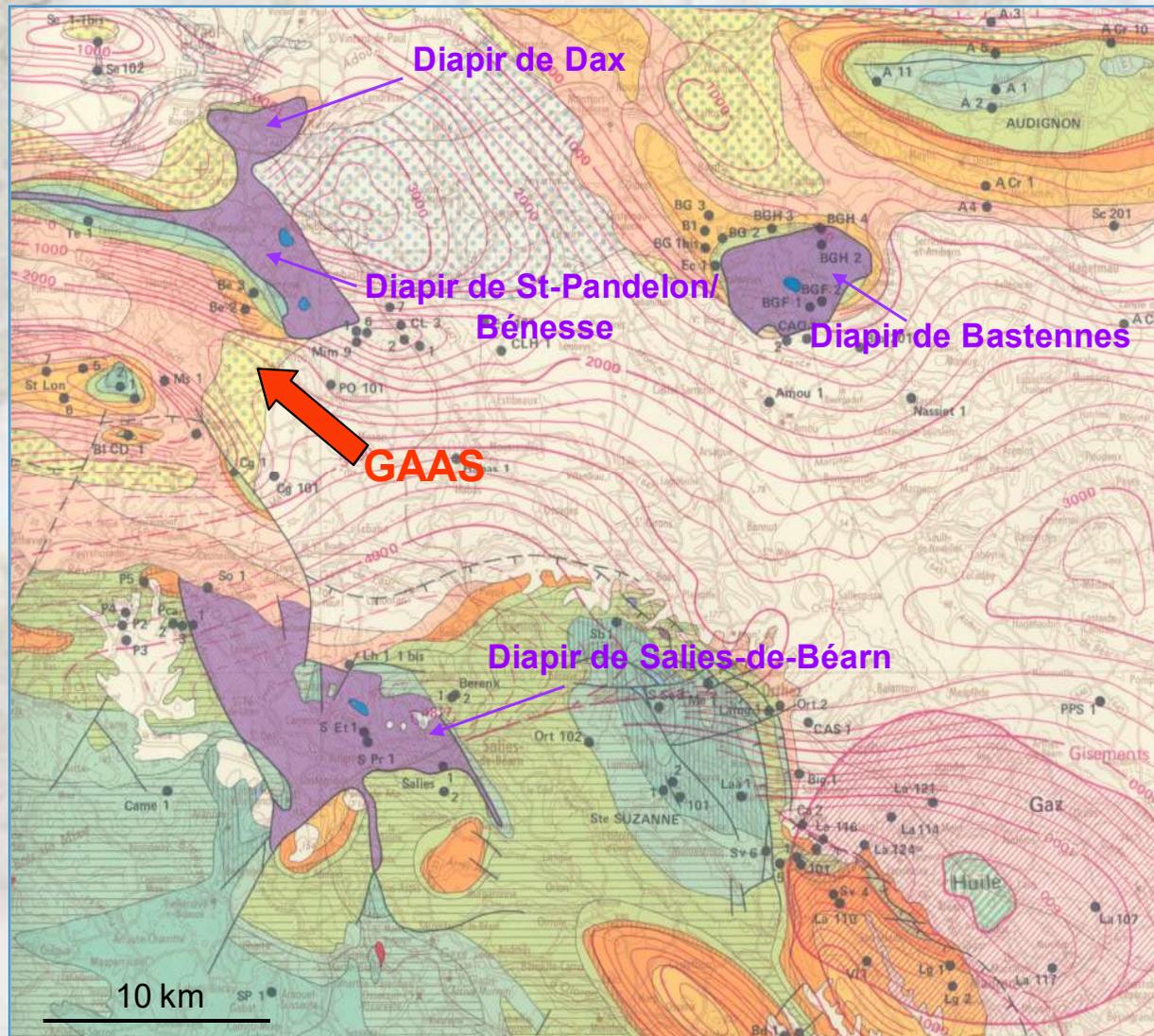


L'Oligocène est une période pendant laquelle les Pyrénées, récemment mises en place avec une étape de structuration majeure à l'Eocène, sont soumises à une forte érosion

→ Dépôt du « Poudingue de Jurançon » autour de Pau en milieu continental



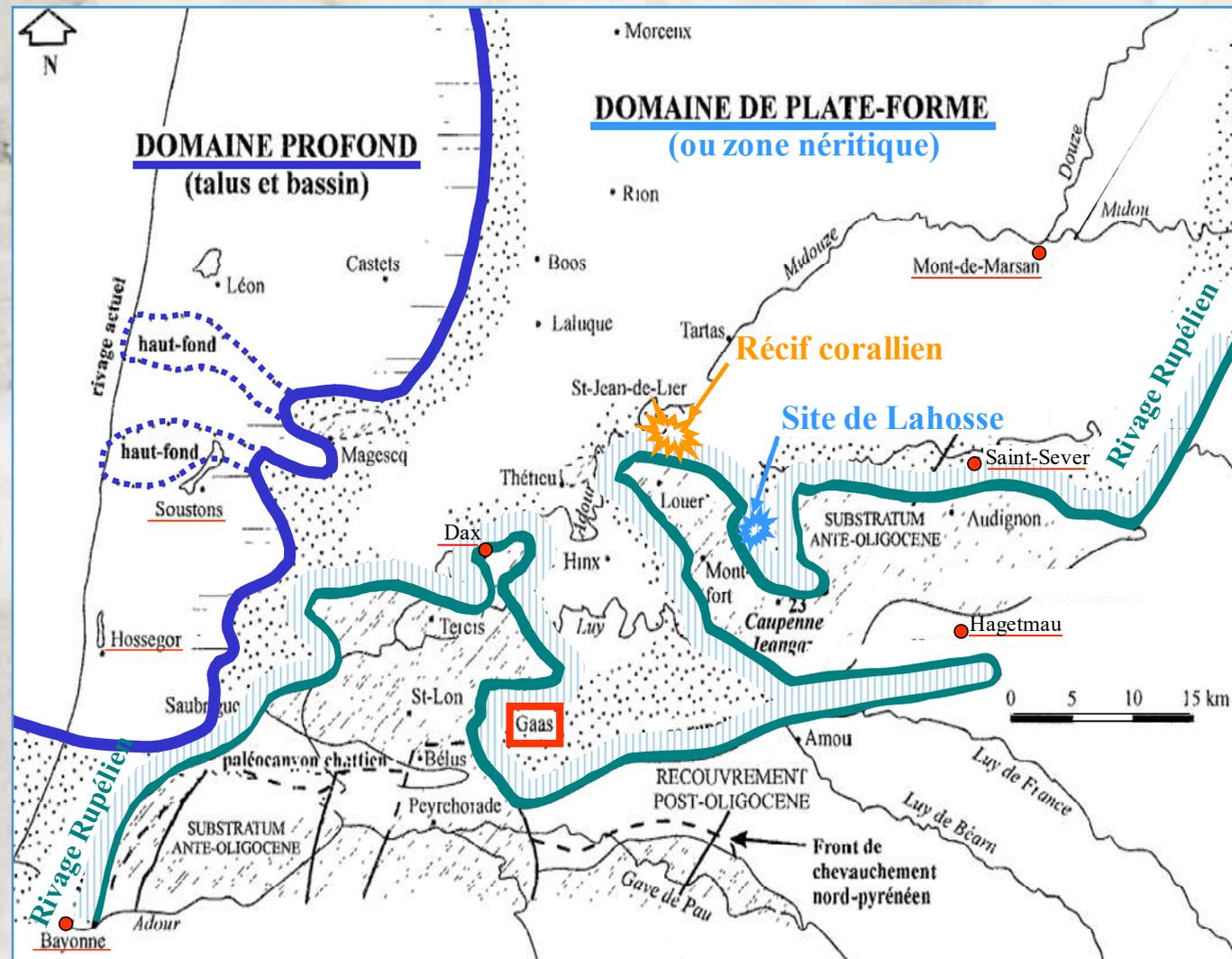
**Carte géologique (d'après SNPA - 1972)  
en jaune à points bleus : formations de l'Oligocène  
(Rupélien: -34 à -28 millions d'années)**



**Influence des diapirs sur la forme du Golfe de Gascogne**

Le paysage à l'époque dépendait donc d'une balance entre les apports détritiques d'une part et les oscillations marines d'autre part (transgression = avancée de la mer, au Rupélien)

Ce paysage dépendait aussi, au niveau plus local, de la présence de plusieurs diapirs, déjà en place et créant des hauts topographiques



Carte paléogéographique au Rupélien (d'après Nolf et al. – 2002)

→ Gaas se situait dans un golfe protégé

Au niveau régional à -34/-28 millions d'années l'Aquitaine se présentait ainsi :

### Calcaire à Astéries de la région bordelaise

- doit son nom aux fragments d'*Asteria* (organisme apparenté aux étoiles de mer)
  - calcaire à mollusques
  - petits récifs coralliens
- sables calcaires à stratifications obliques

Dépôts marins dans des eaux (sub)tropicales

### Rocher de la Vierge à Biarritz (Sannoisien = Rupélien inf.)

- grès calcaires tendres avec bancs + calcaires + durs
- riches en Nummulites (Foraminifères **disparus**)



(Thomas - 2013)

- mais aussi : Oursins, Huîtres



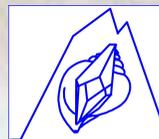
Carte  
paléogéographique  
au Rupélien  
(d'après B. Cahuzac  
U. Bordeaux)

Golfe de Gaas

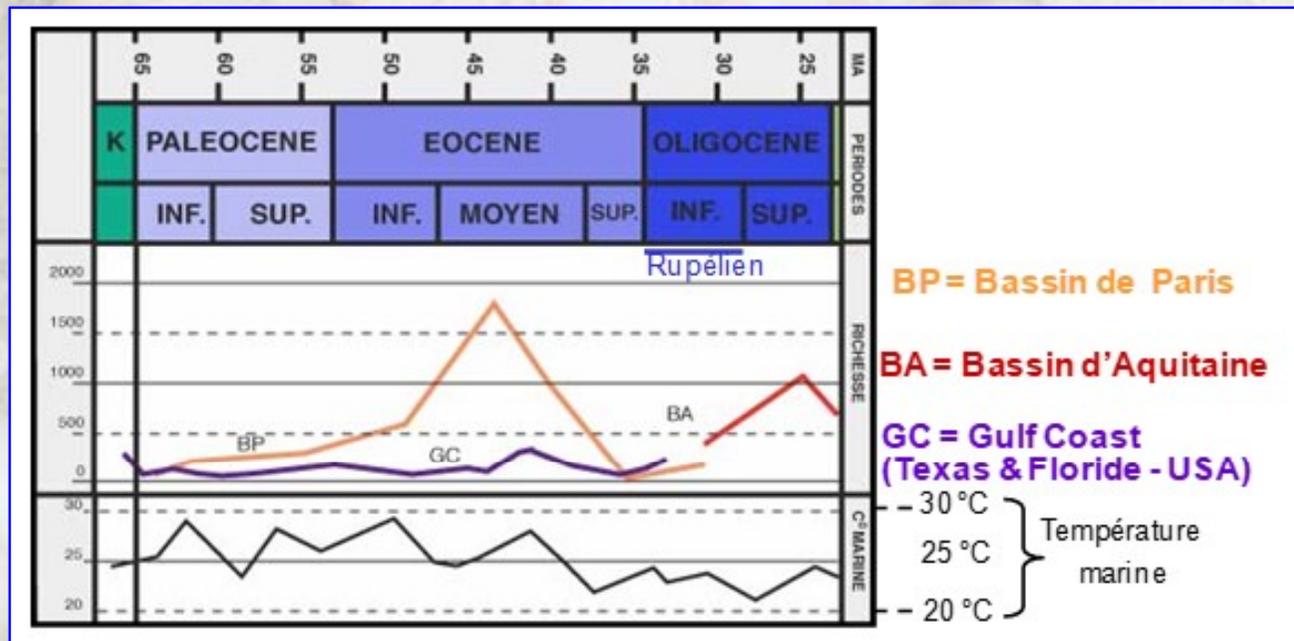
Poudingue de  
Jurançon



Dépôt continental témoin  
d'une importante phase d'érosion



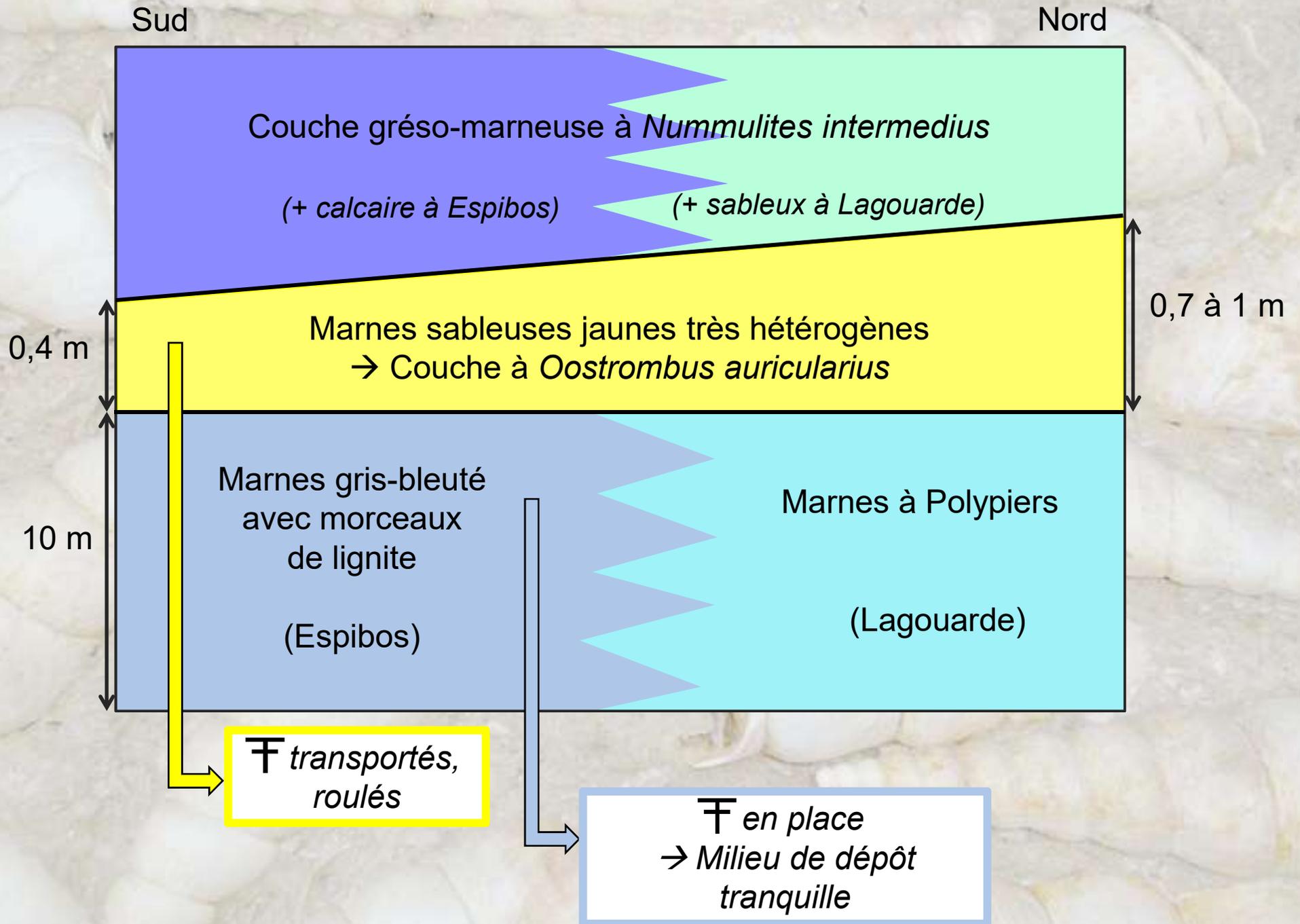
Le climat planétaire enregistre à l'Eocène supérieur un abaissement significatif des températures avec des répercussions sur l'abondance et la diversité des Gastéropodes (Merle - 2000 ?)



- *Tendance globale pendant l'Oligocène à une baisse des températures surtout dans le Rupélien (avec quelques fluctuations positives)*
- *Température moyenne des eaux de mer au Rupélien estimée à 23-24 °C*



# Coupe de terrain (d'après Dolin & Lozouet - 1985)

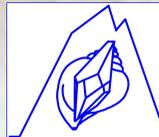


# Les Gastéropodes 1/3



*Crommium (ou Amaurellina)  
angustatum*

Potamididé (?) et *Cerithium*



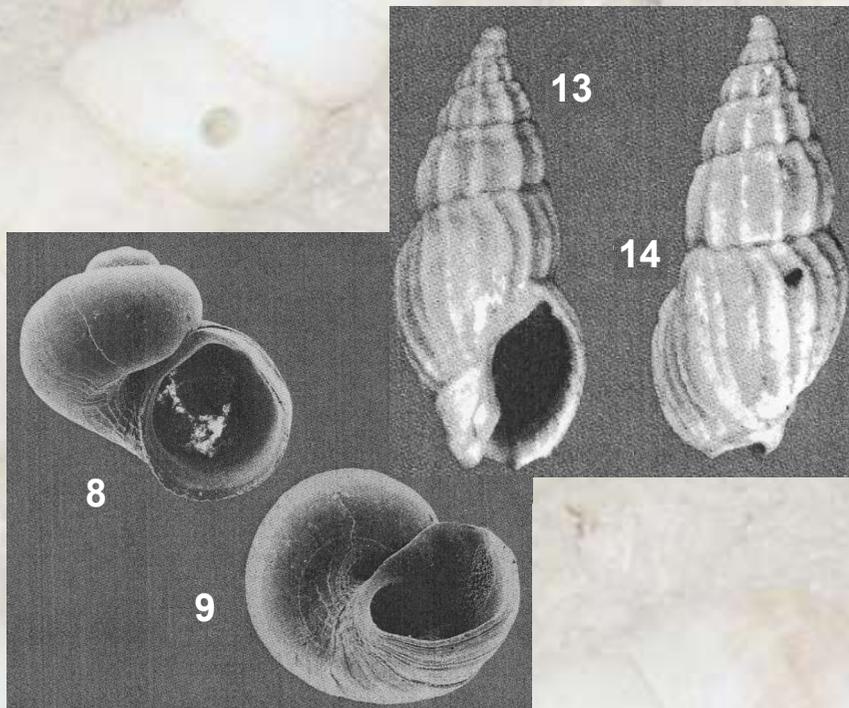
# Les Gastéropodes 2/3



**Turbo (*Heteroninella parkinsoni*) sur gangue  
et dégagé – au centre : opercule**



**Porcelaine (*Cypraea*)  
et Volutidé (*Volutilithes* ?)**



Deux espèces ont été baptisées d'après  
les noms de la localité et de la région :

***Dorsanum gaasensis* (13 & 14 - H 7,5 mm)**

***Lissospira chalossensis* (8 & 9 - H 1,1 mm)**

(Lozouet – 1999)



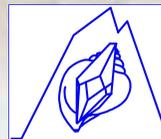
# Les Gastéropodes 3/3

et la vedette :



*Ampullinopsis crassatina* en place

dégagé



# Les Bivalves



*Astarte (?)*



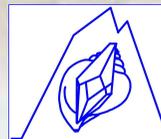
*Mya (?)*

*En conclusion : abondance de coquilles (Gastéropodes & Bivalves) en très bon état de préservation :*

*→ transport limité*

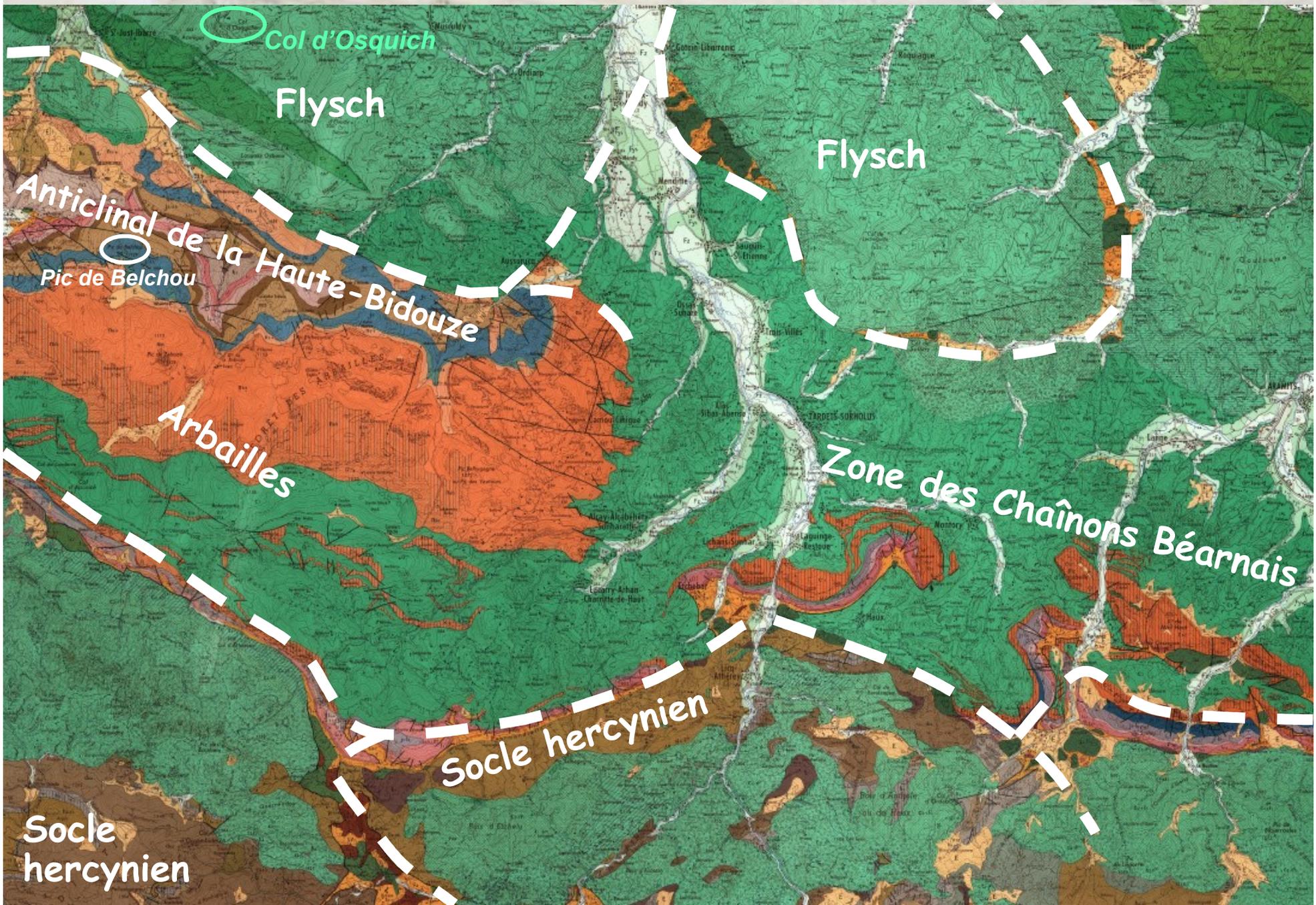
*→ milieu de faible énergie*

*→ golfe relativement protégé des vents et courants dominants*



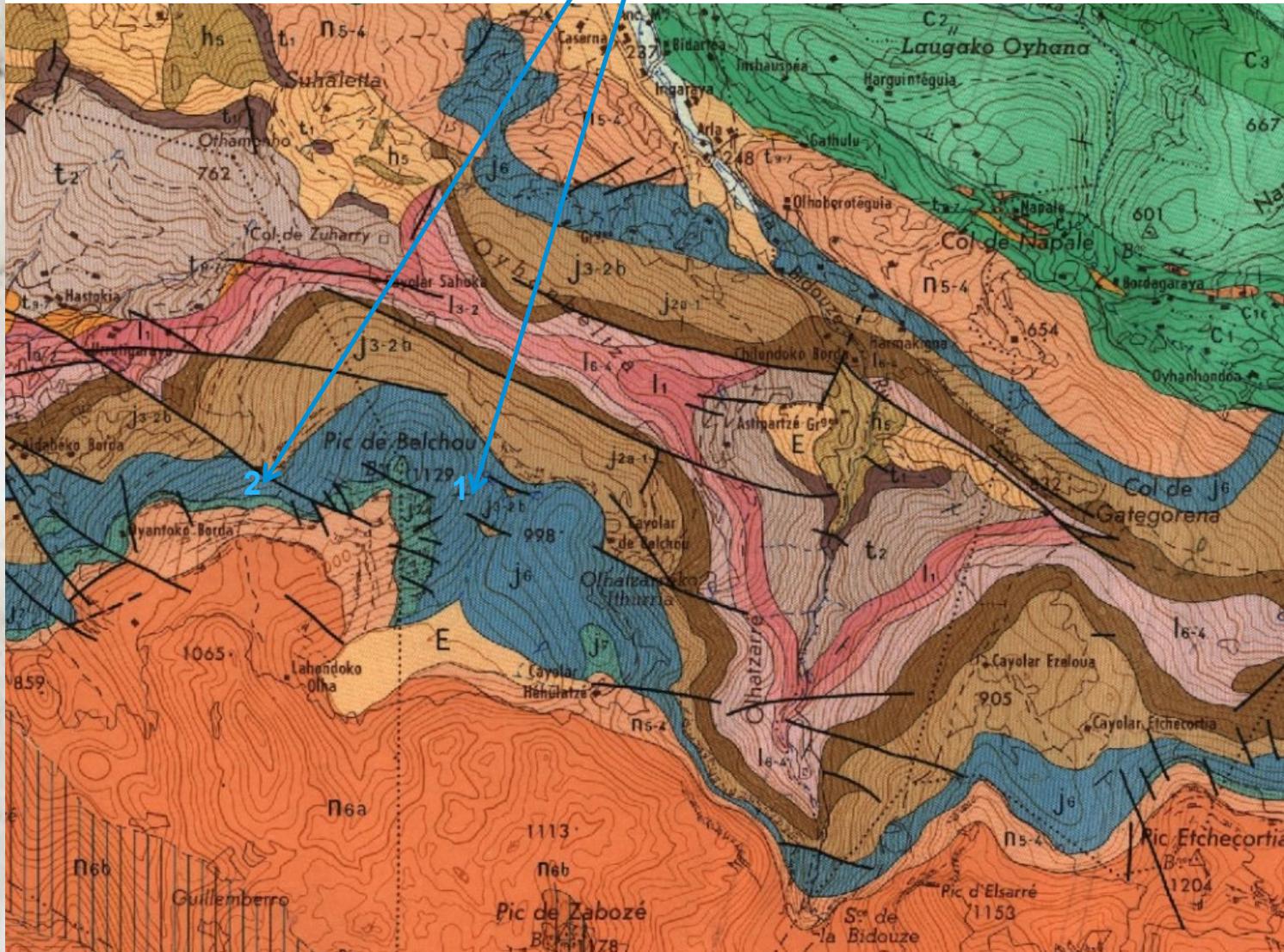
# PIC DE BELCHOU

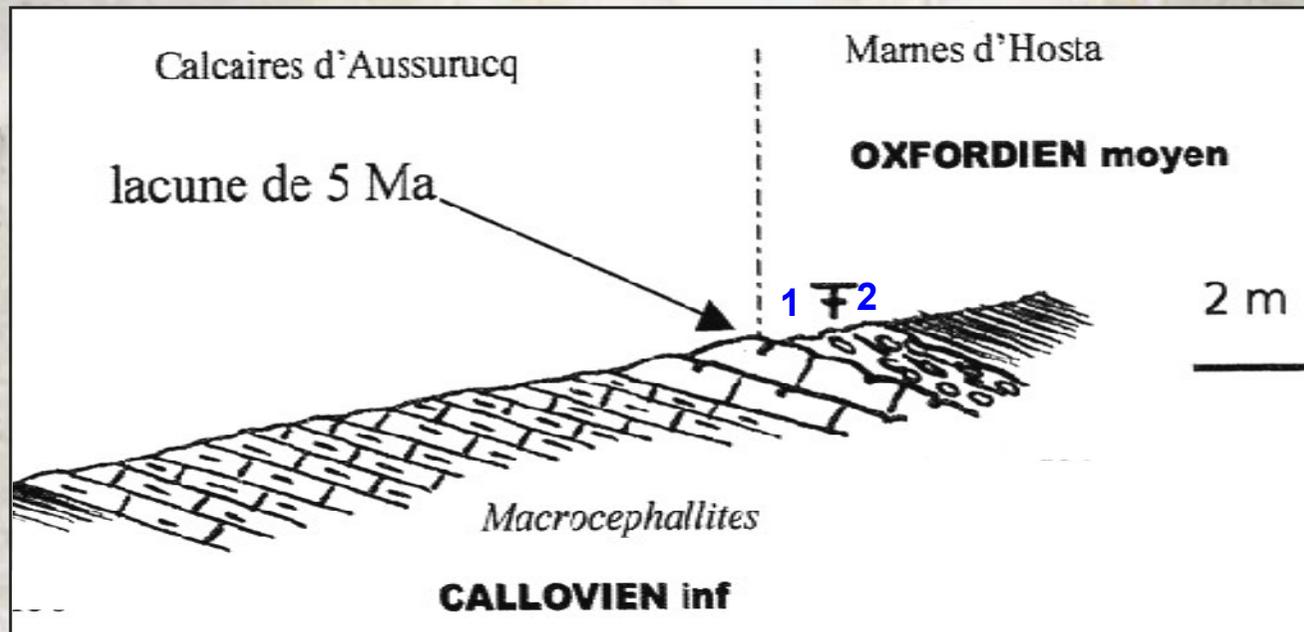
Carte géologique au 1/50000 feuille Tardets-Sorholus - BRGM



## Marnes oxfordiennes à Ammonites et Bélemnites (J6)

A la base : une assise, de 2 à 10 m d'épaisseur, de calcaires marneux noduleux à cassure bleu noir, connue sous le nom de « dalle à *Perisphinctes* » correspondant à un niveau de condensation fait d'Ammonites roulées et de Bélemnites



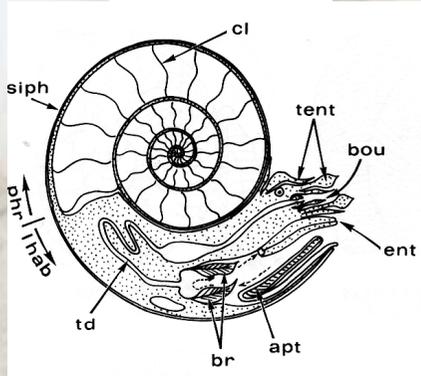


# Ammonites et Bélemnites 1/2

Familles éteintes :

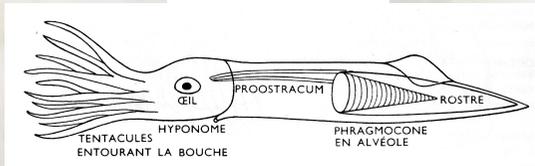
Ammonoïdes (tous)

Ammonite

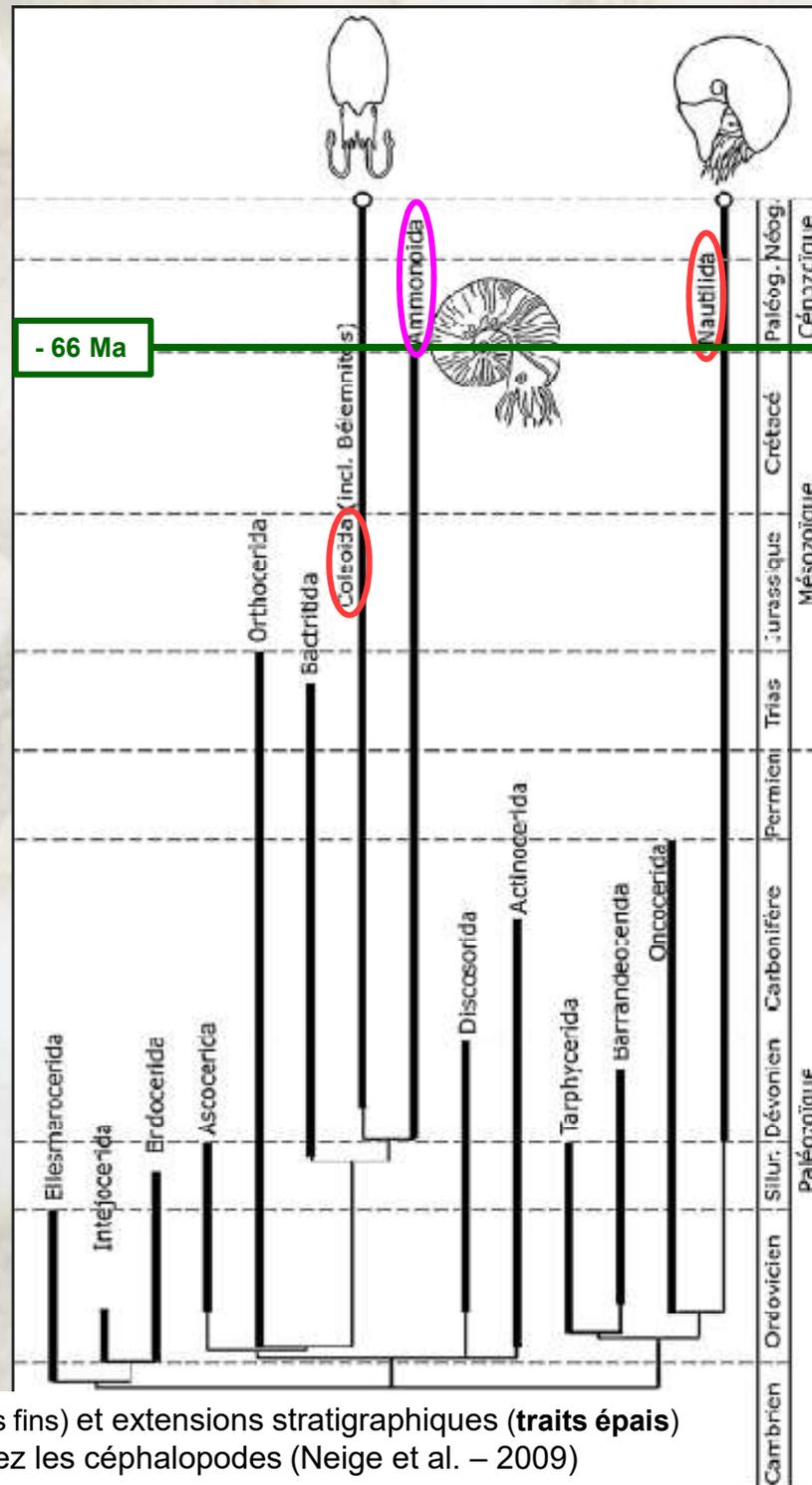


Coléoïdes fossiles

Bélemnite



Beaucoup d'autres (Orthocères ...)

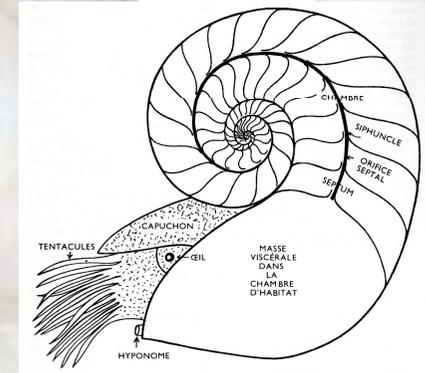


2 sous-classes ont des représentants à l'Actuel :

Coléoïdes actuels  
Seiches, Calmars, Pieuvres

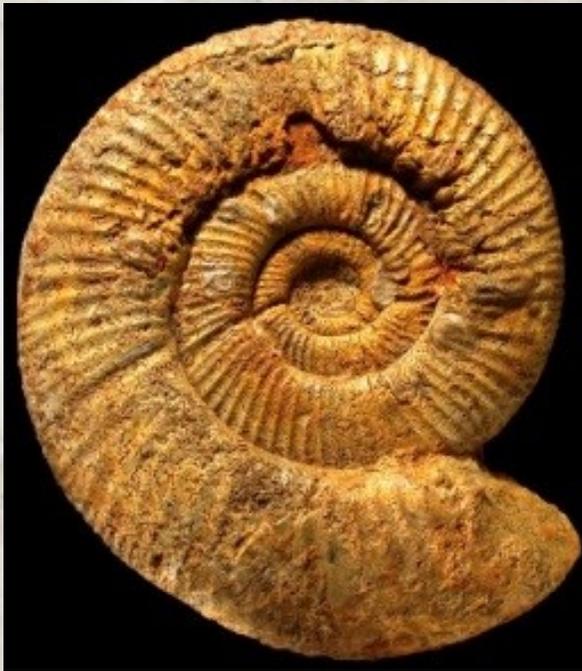
Nautiloïdes actuels

Nautilé



Relations phylogénétiques (traits fins) et extensions stratigraphiques (traits épais) des groupes majeurs chez les céphalopodes (Neige et al. – 2009)

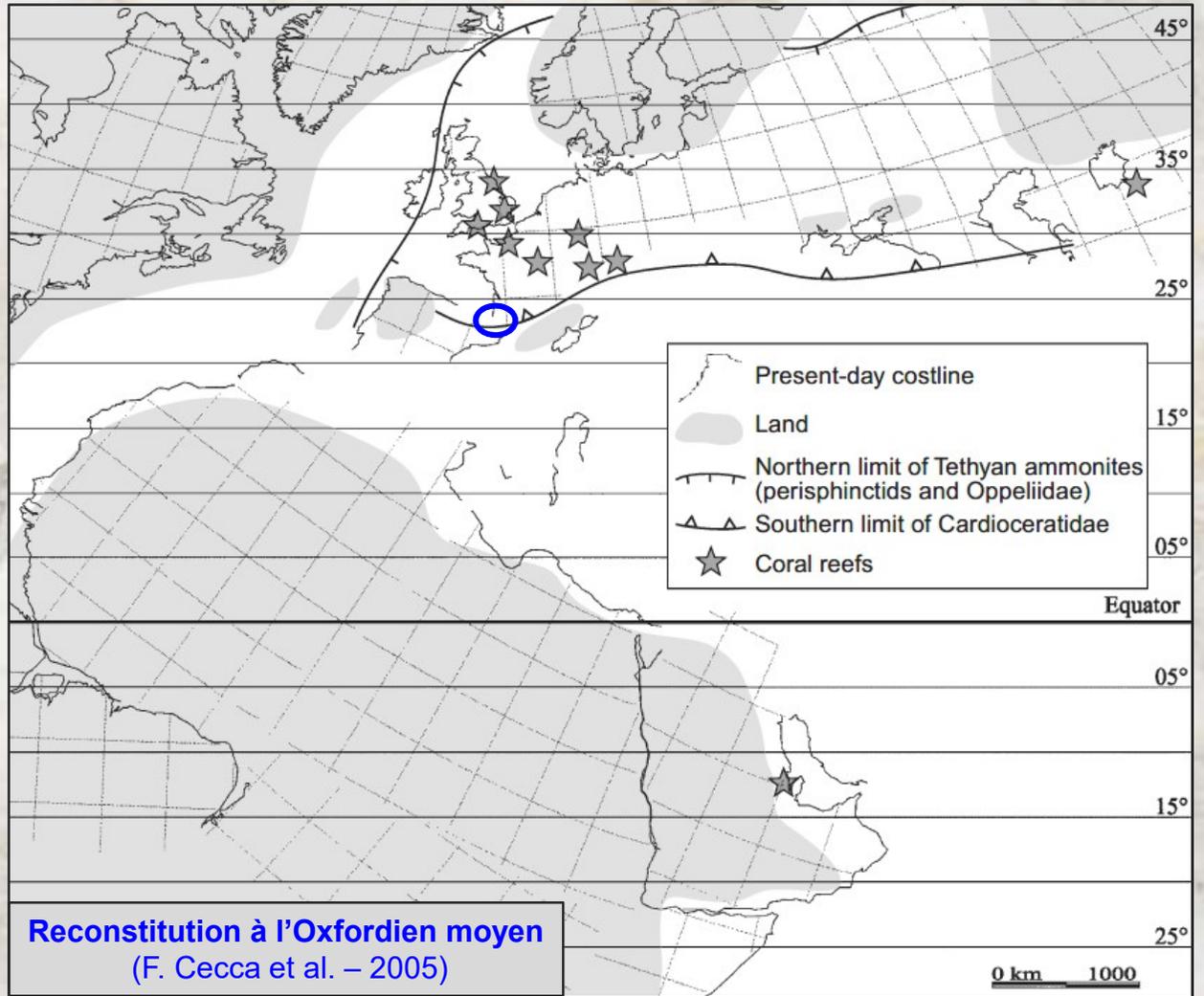
# Ammonites et Bélemnites 2/2



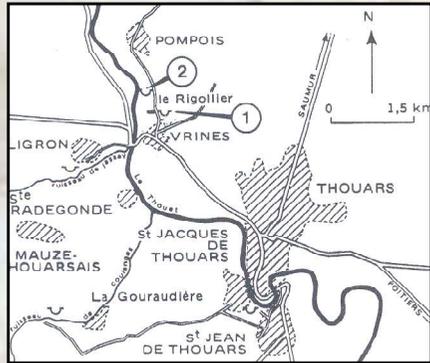
***Liosphinctes sp. (Vienne)***  
Coll. Châtelier



***Belemnites sp. (Calvados)***  
Coll. Lhomme

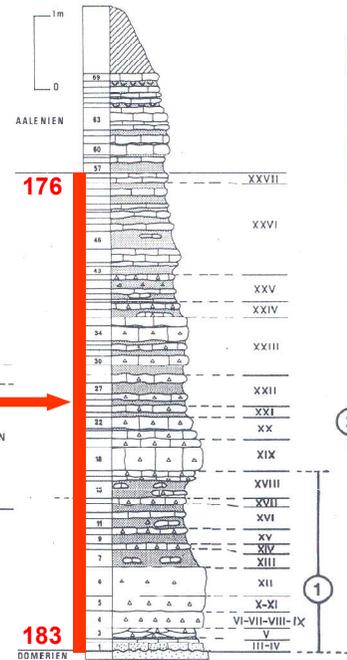


# Les zones d'ammonites (cas du Toarcien)



étage Toarcien défini en 1849 (d'Orbigny) découpé en 8 zones et 27 horizons

SUBDIVISIONS		0	
QUATERNAIRE		1,8	
TERTIAIRE	PLIOCENE		
	MIOCENE	23	
	OLIGOCENE		
	EOCENE		
PALEOCENE		0,5	
SECONDAIRE	CRETACE	Santonien	8,3
		Coniacien	
		Turonien	
		Cénomannien	
		Albien	0,5
	JURASSIQUE	Aptien	13,0
		"Wealdien"	
		Portlandien	
		Kimméridgien	
		Oxfordien	15,0
TRIAS	Callovien	17,6	
	Bathonien	20,4	
	Bajocien	24,5	
PRIMAIRE	Lias	29,0	
	Sinemurien	24,5	
	Mettangien	20,0	
	Carbonifère	36,0	
Devonien	40,0		



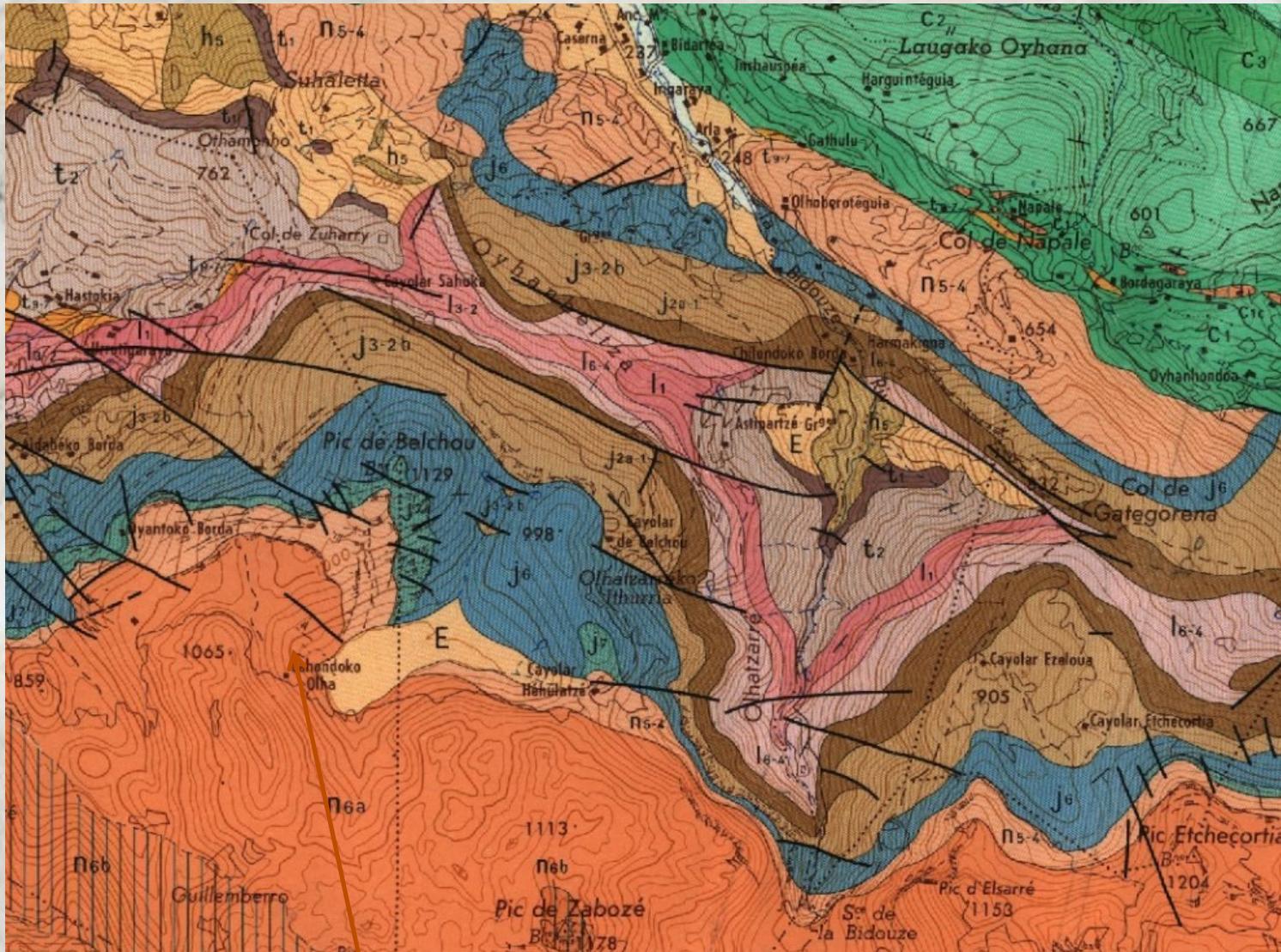
Hantzpergue & Gabilly (1988)

	Zones	Sous-zones	Horizons	N°
Toarcien supérieur	8 Aalensis	Duckmani	Duckmani	XXVII
		Aalensis	Aalensis	XXVI
		Maetra	Subcompta	XXV
	7 Pseudoradiosa		Maetra	XXIV
		Pseudoradiosa	Explanata	XXIII
	6 Insigne		Levesquei	XXII
			Gruneri	XXI
		Insigne	Insigne	XX
5 Thouarsense		Fallaciosum	XIX	
		Fascigerum	XVIII	
		Thouarsense	XVII	
		Doerntense	XVI	
		Bingmanni	XV	
4 Variabilis		Vitiosa	XIV	
		Illustris	XIII	
		Variabilis	XII	
Toarcien moyen	3 Bifrons	Semipolitum	Semipolitum	XI
		Bifrons	Bifrons	X
	2 Sublevisoni		Lusitanicum	IX
			Commune	VIII
		Sublevisoni	Sublevisoni	VII
Toarcien inférieur	2 Falciferum		Falciferum	VI
			Pseudo-serpentinum	V
	1 Fenicostatum	Strangewaysi	Strangewaysi	IV
		Semiclatum	Semiclatum	III
	Costatum	Faltus	II	
		Faltus	I	



L'étage Toarcien s'étend sur 7 millions d'années :

Chaque zone d'ammonite représente en moyenne une durée légèrement inférieure à 1 Ma  
 Chacun de ses horizons a une durée de ~ 260 000 ans environ (~ la durée de vie d'une espèce)  
 → « pouvoir séparateur » d'un horizon de l'ordre de 250 000 ans



Calcaires urgoniens de l'Aptien supérieur à Rudistes et Oursins (n6)

# Rudistes

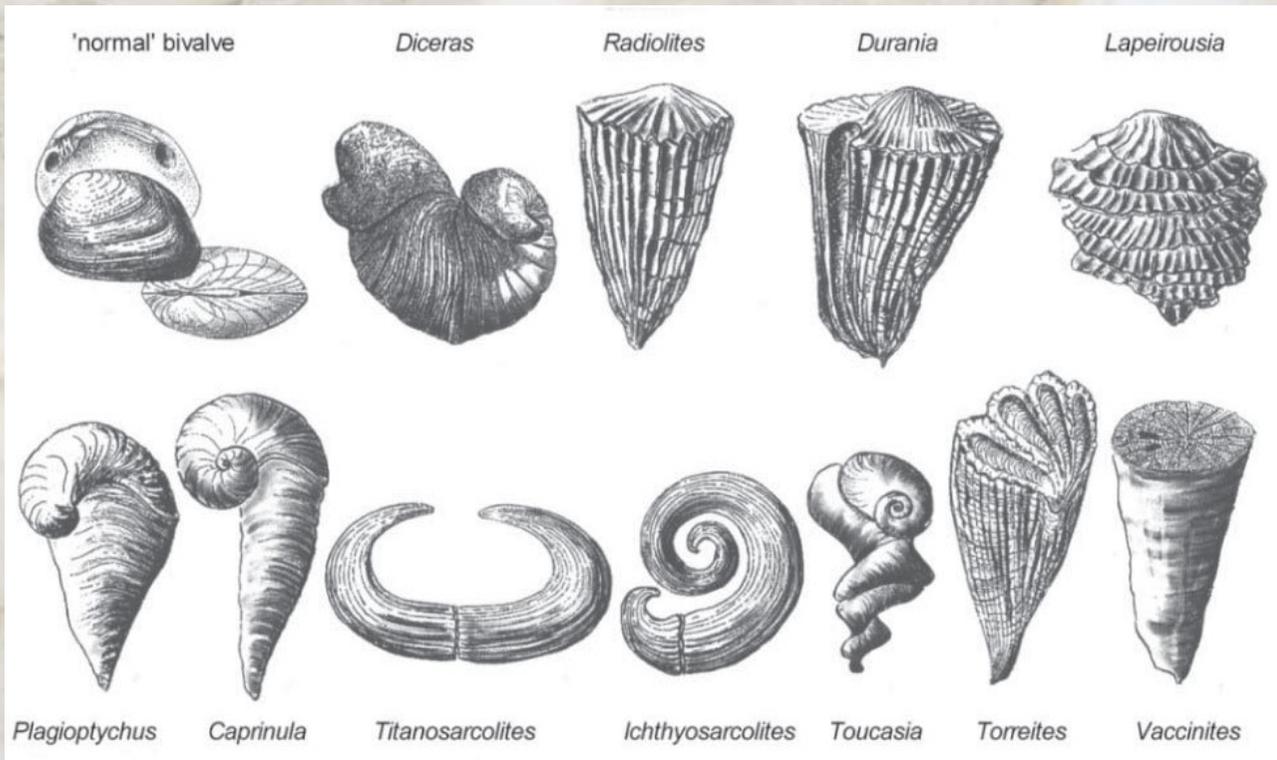
constituent une famille de Bivalves entièrement éteinte, ayant vécu entre le Jurassique supérieur et la fin du Crétacé, caractérisés par :

- leur dissymétrie (une des valves est hypertrophiée et l'autre, très réduite, forme un « couvercle »  
Selon les groupes, la valve hypertrophiée est soit la valve droite soit la valve gauche)
- un mode de vie fixé (l'animal est rattaché à un autre individu ou au substrat par sa grande valve)  
dans des mers chaudes et peu profondes

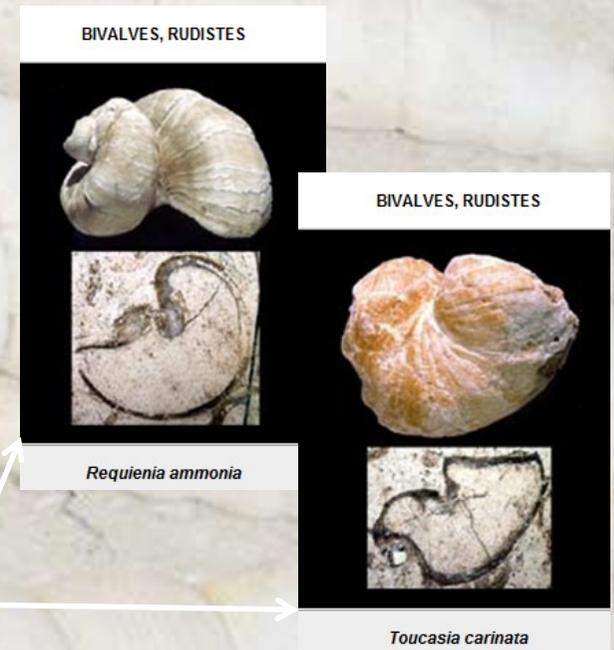
**Coquille épaisse : rôle important dans la fixation de  $\text{CaCO}_3$**   
 → formation de véritables récifs  
 → production de roches calcaires



Section du Rudiste *Toucasia carinata*  
 Massif des Arbailles  
 Photo GéolVal



Exemples de Rudistes et comparaison avec un Bivalve actuel  
 (Langlois – 2006)



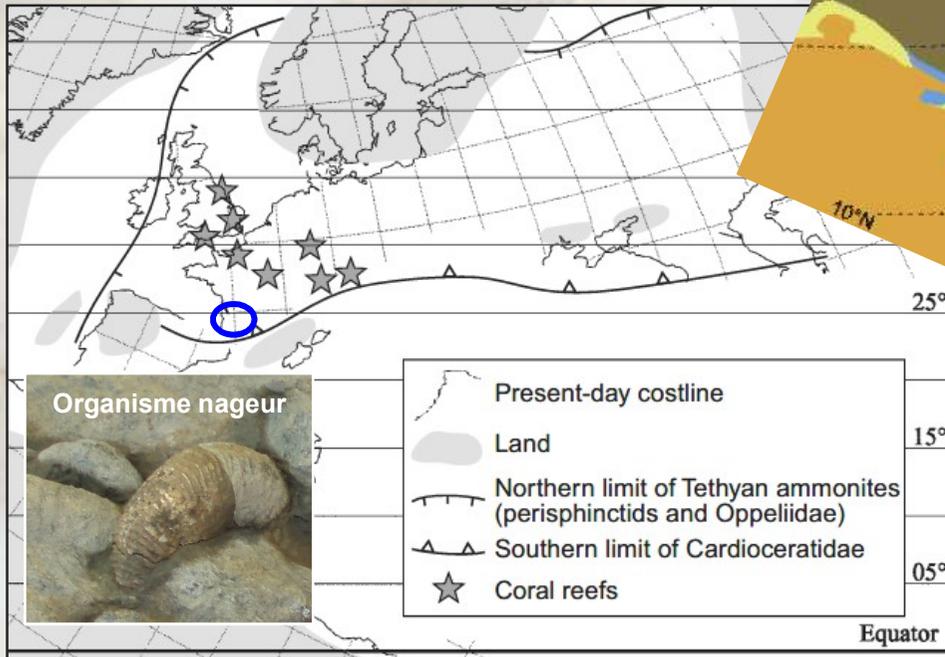
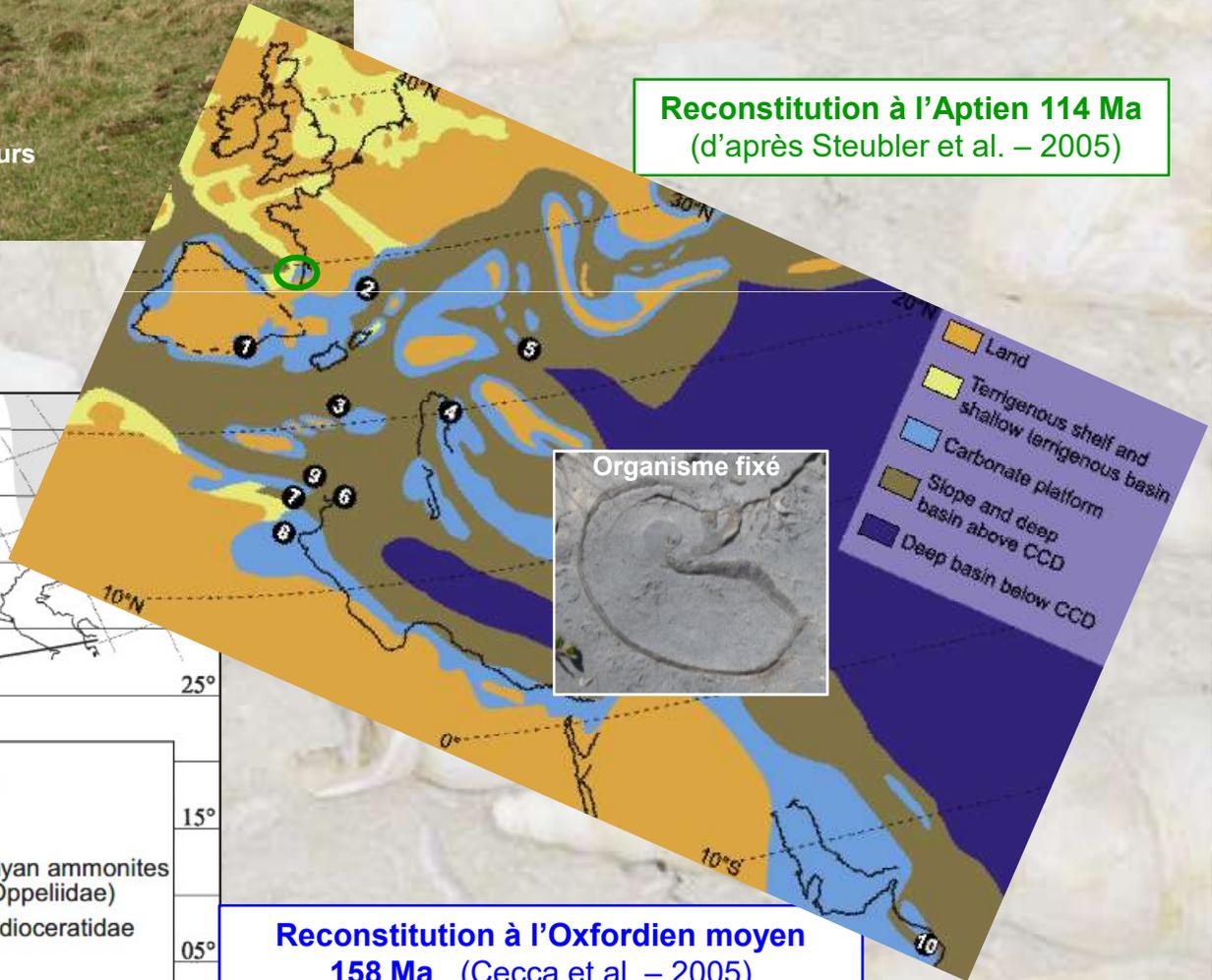
# Evolution du milieu



Organismes terrestres coureurs

Aujourd'hui (Lat = 43 °N)  
(Photo Dugene)

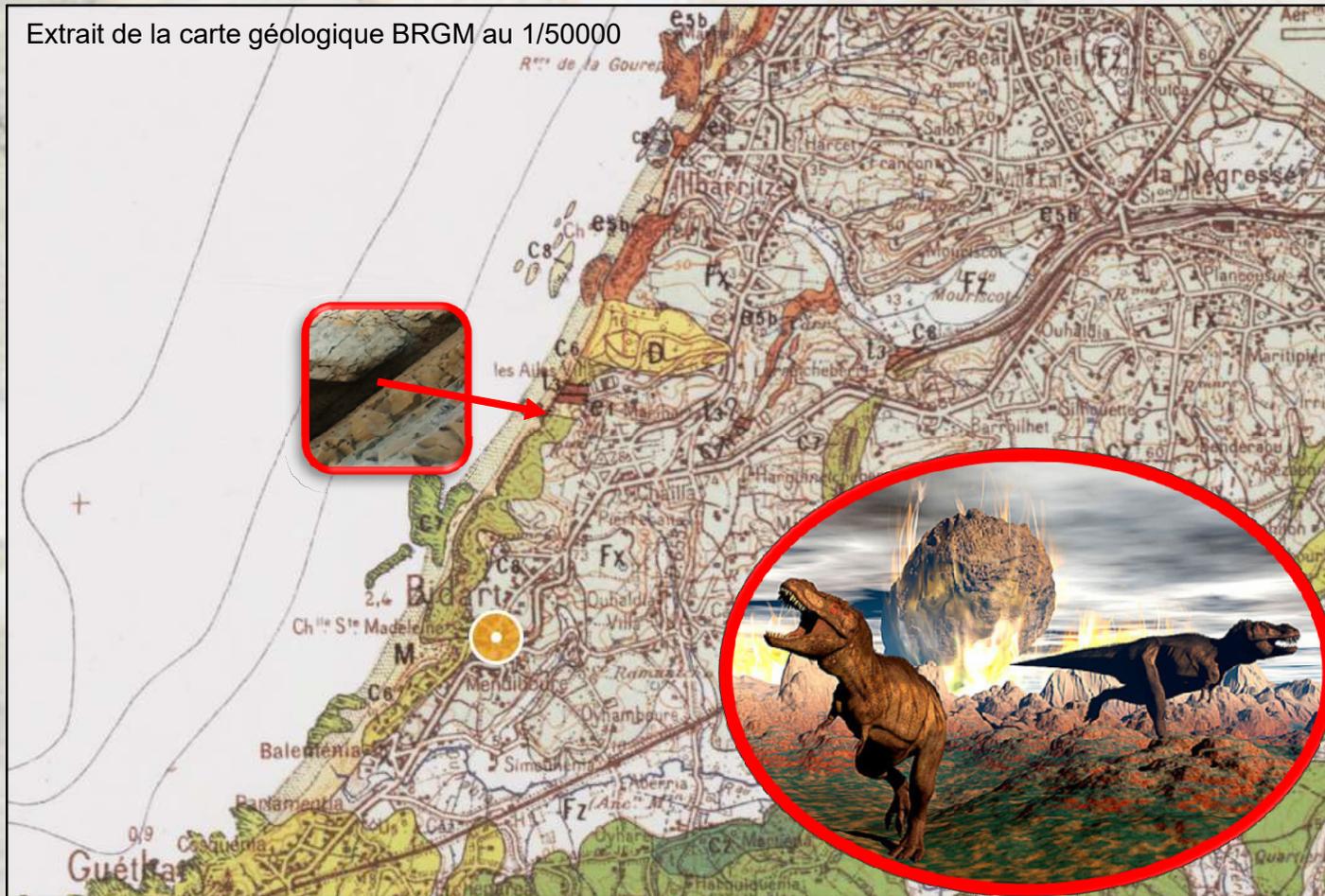
Reconstitution à l'Aptien 114 Ma  
(d'après Steubler et al. – 2005)



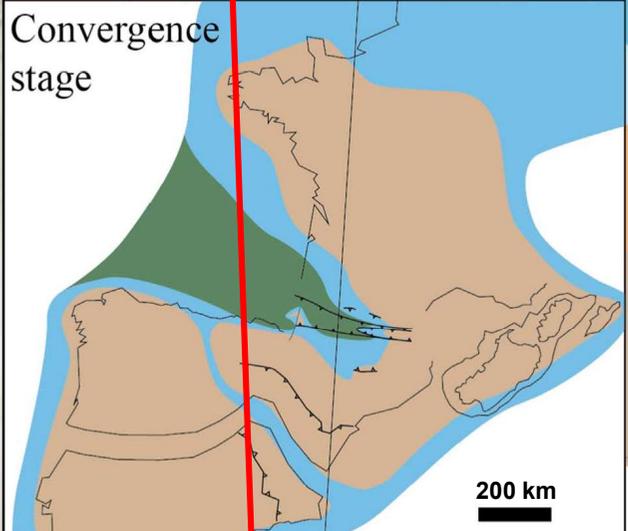
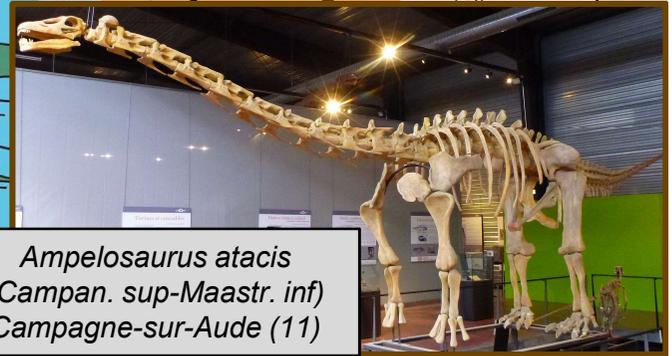
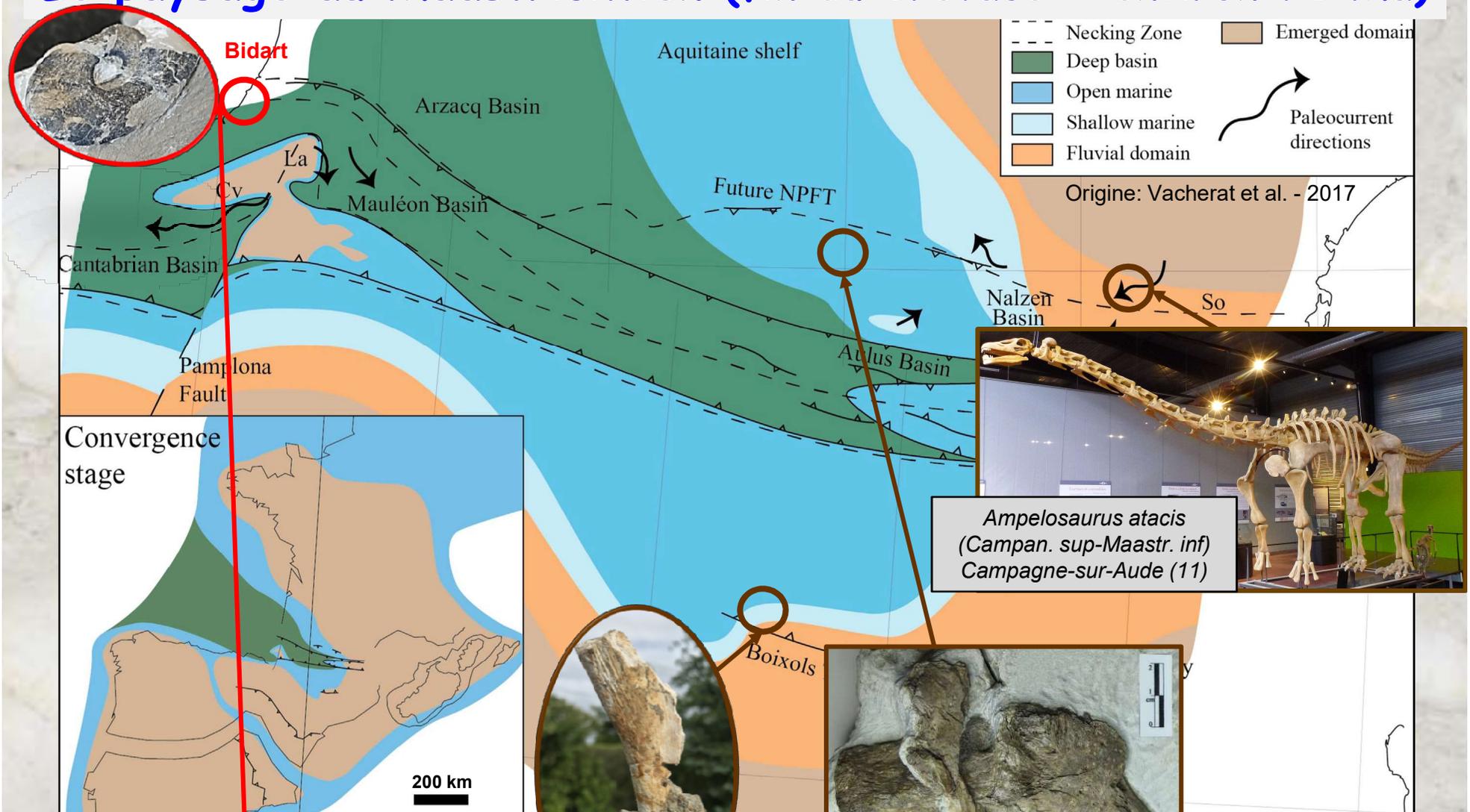
- Present-day coastline
- Land
- Northern limit of Tethyan ammonites (perisphinctids and Oppeliidae)
- Southern limit of Cardioceratidae
- Coral reefs

Reconstitution à l'Oxfordien moyen  
158 Ma (Cecca et al. – 2005)  
Latitude à l'époque ~ tropique du Cancer actuel

# La limite K/T dans les falaises de Bidart



# Le paysage au Maastrichtien (fin du Crétacé - environ 70 Ma)



Ammonite (déformée)  
du Maastrichtien de Bidart  
Photo S. d'Ennetières

Os de dinosaure du Garumnien (Maastrichtien terminal)  
de Serraduy (Prov. de Huesca)  
Hadrosaure ? Théropode ???  
Photo A. Legendre

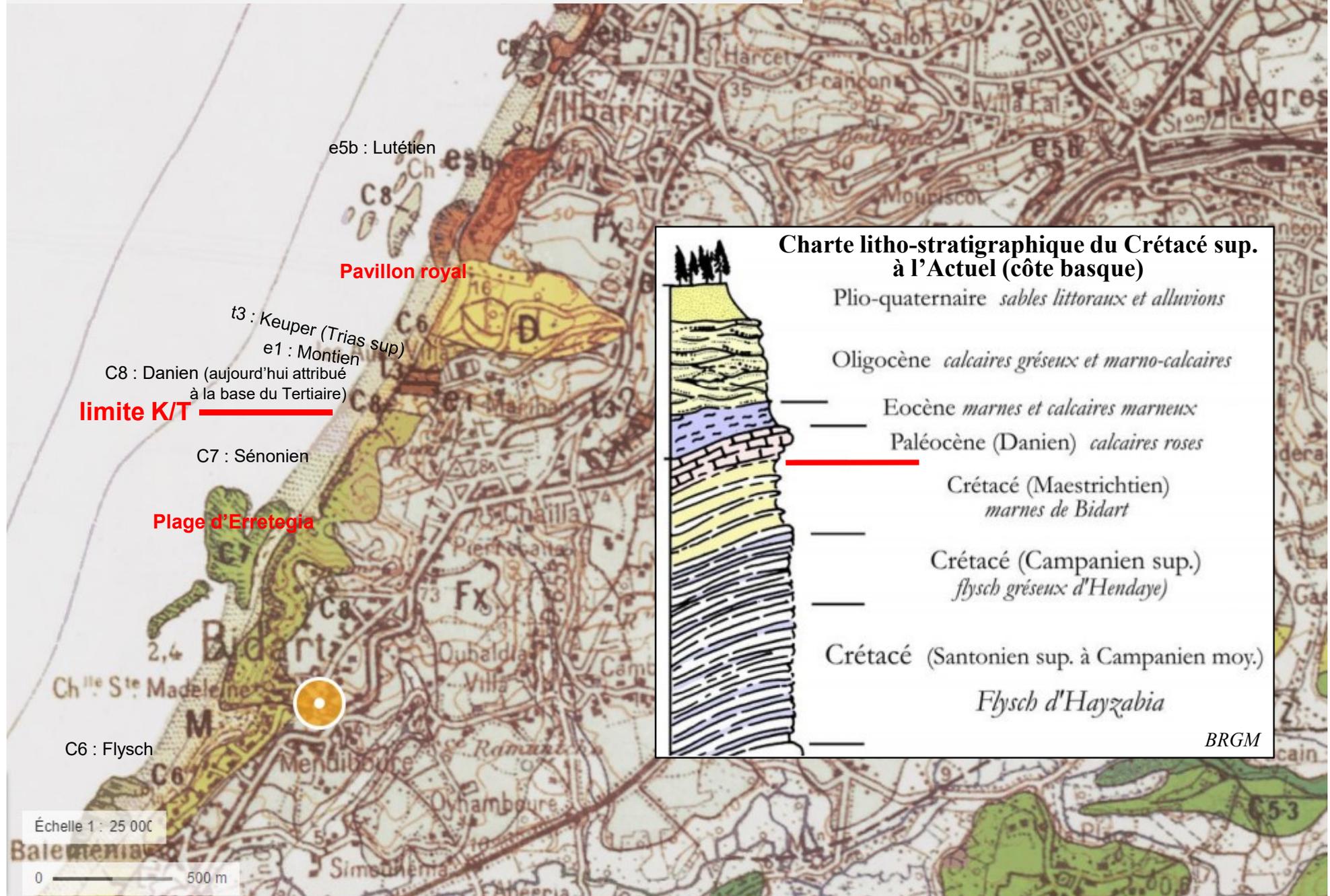


Fragments crâniens d'Hadrosaure (dinosaur « à bec de canard ») du Maastrichtien sup. de la carrière de Larcán (31) découverts à environ 1 m sous la zone à iridium de la limite K/T. Des chenaux fluviaux ont permis le transport de la dépouille de ce jeune spécimen jusqu'à la mer, où elle a sédimenté. (Origine : Bilotte et al. - 2010)

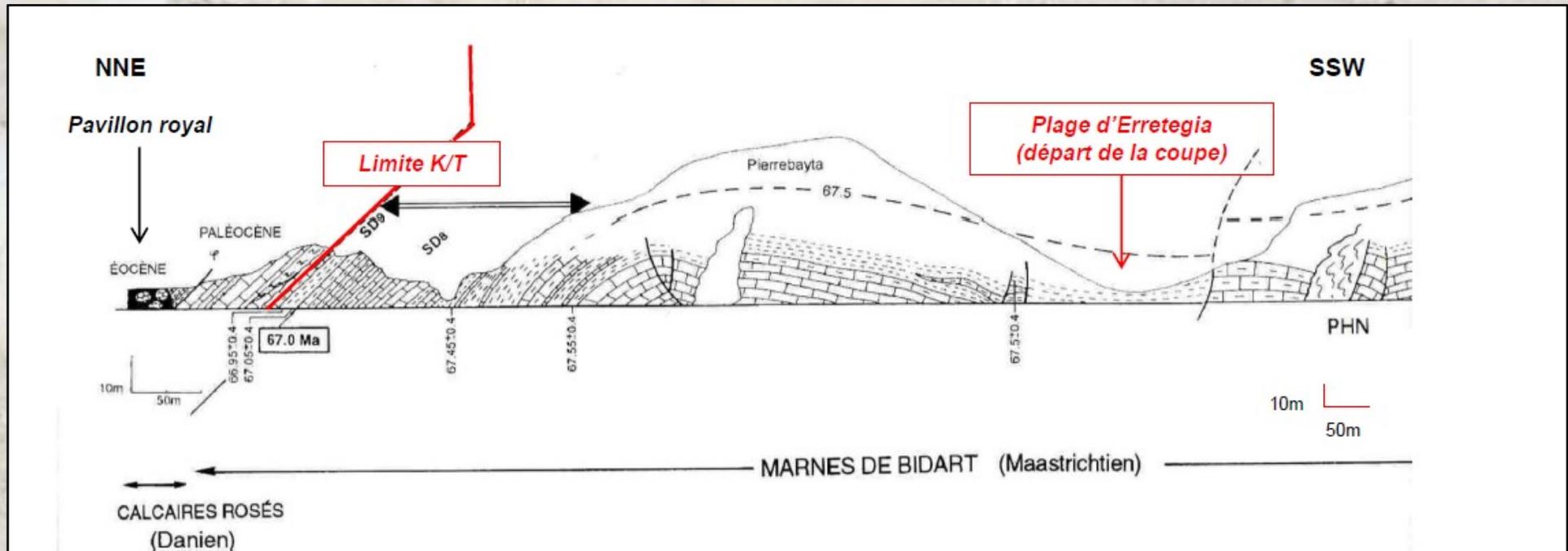
# Géoportail IGN



# Carte géologique 1/50 000 N° 1001 feuille Bayonne (BRGM - 1963)



# La coupe



D'après A. Lacazedieu, B. Peybernès, Ch. Seyve - 1996

Du Sud vers le Nord on observe successivement:

- **Les Marnes de Bidart:** datées Maastrichtien (72-66 Ma); milieu de dépôt relativement profond, sans apport de détritique; macrofaune: *Inocérames*, *ammonites*, *Echinides*... microfaune: *Globotruncanas*

- **La Limite Crétacé – Paléocène (K/T):** mince horizon (7cm) de marnes noires à Iridium rare dans la croûte terrestre mais abondant dans certaines météorites  
→ Origine extraterrestre par collision avec un astéroïde (cratère de Chicxulub au Mexique)

- **Les calcaires rosés du Danien (66-62 Ma):** # 50 m d'épaisseur, comportant au moins 6 séquences de dépôts qui traduisent une instabilité du fond marin

Origine : GéoVal

# Les structures

Figure 1 :  
Affleurement des  
marnes à gypse  
triasiques (Bidart,  
Plage du Pavillon  
Royal)



Figure 2 : Calcaire rose  
du Danien - Plage du  
Pavillon Royal à Bidart



Figure 3 :  
Affleurement de la  
limite KT (limite  
Crétacé-Tertiaire) et  
du calcaire rose du  
Danien sur la plage  
du Pavillon Royal à  
Bidart



Figure 4 : Formations  
plio-quaternaires  
sableuses - Plage du  
Pavillon Royal à Bidart



Origine : [http://sigesaqi.brgm.fr/IMG/pdf/fiche\\_synthetique\\_de\\_terrain\\_-\\_pavillon\\_royal.pdf](http://sigesaqi.brgm.fr/IMG/pdf/fiche_synthetique_de_terrain_-_pavillon_royal.pdf)

***A Bidart, la limite K/T est bien visible dans des affleurements de dépôts marins continus, mais avec changements de faune importants de part et d'autre de la limite :  
→ disparition des ammonites, inocérames ... au niveau des macrofossiles  
→ au niveau des microfossiles les biocénoses à Globotruncana et Heterohelicidae du Maastrichtien sont complètement remplacées dans les calcaires rosés du Paléocène par des assemblages de Globigerinidae, ce qui est un témoin de crise majeure (extinction) au niveau de la limite***

## La limite K/T



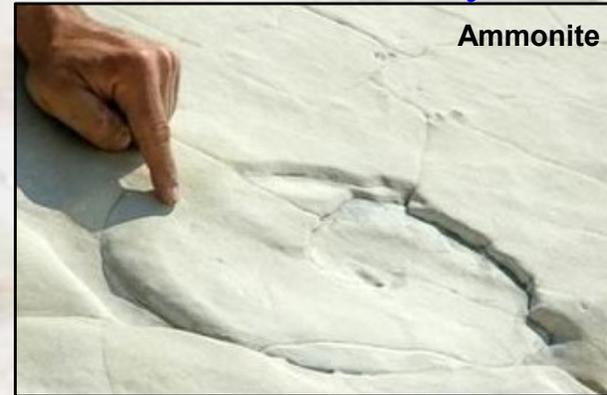
### **Couche d'argile relativement sombre correspondant à la limite K/T**

- elle repose sur des marnes grises, beiges ou rosées (en bas, à droite) contenant des microfossiles du Maastrichtien et est surmontée par des calcaires contenant des microfossiles du Danien
- la base particulièrement sombre de cette couche d'argile constitue le niveau très enrichi en Iridium

# Les macro-fossiles (du Maastrichtien)



Photos GéolVal



- Anciennement appelés Cancellophycus
- Traces fossiles arquées, hélicoïdales, visibles dans les couches sédimentaires (généralement des calcaires marneux)
- Produites par des organismes fousseurs limivore proches de vers (?) vivant dans les vases sous-marines

Photo S. Quero

*Remarque : on trouve aussi des Zoophycos dans le Danien (Origine : Rodríguez-Tovar et al. – 2011)*



Photo S. d'Ennetières

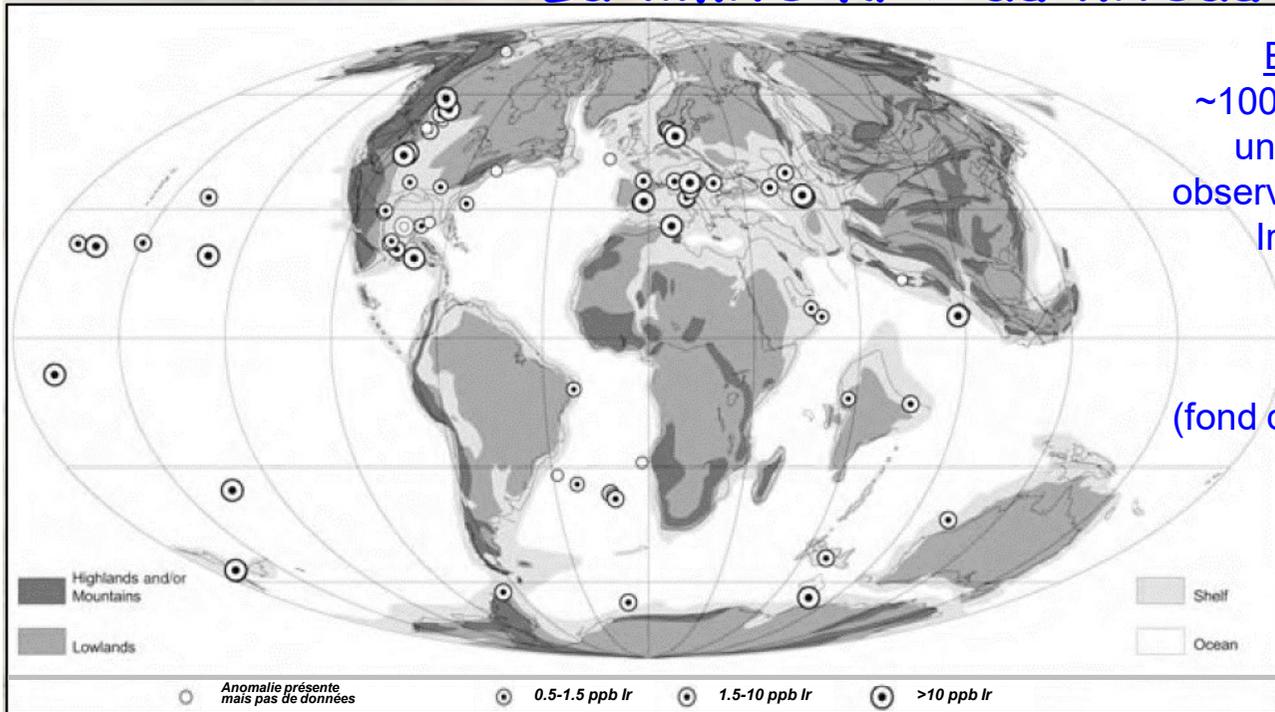
## Les micro-fossiles Maastrichtien Danien

### Exemples de Foraminifères

Taille : environ 0,3 mm - Photos GéolVal

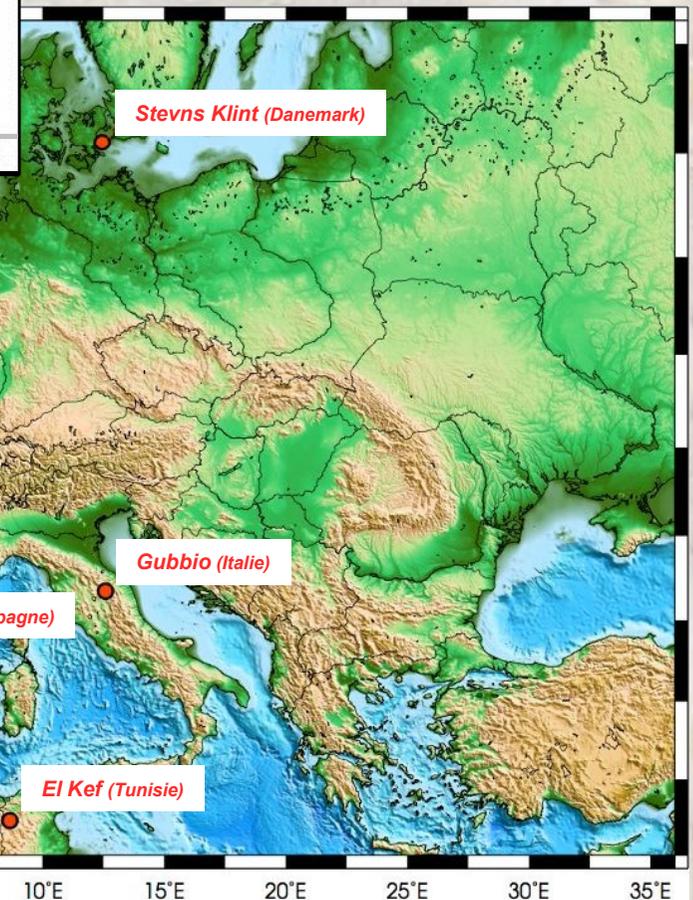


# La limite K/T au niveau mondial



Etat des sections Crétacé-Tertiaire :  
~100 sites répartis dans le monde entier (sur un total de 345 sites où la limite K/T est observée) présentent une anomalie positive en Iridium. Ils ont enregistré des éjectas (= débris d'impact) de Chicxulub

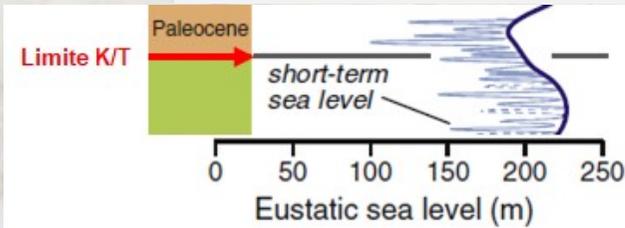
origine : Claeys et al. – 2002  
(fond de carte = reconstruction paléogéographique effectuée par Golonka - 1997)



Affleurements de référence de la limite K/T en Europe et au Maghreb

origine : Langlois – 2014

# Conclusion (1/2) : interaction de 3 évènements



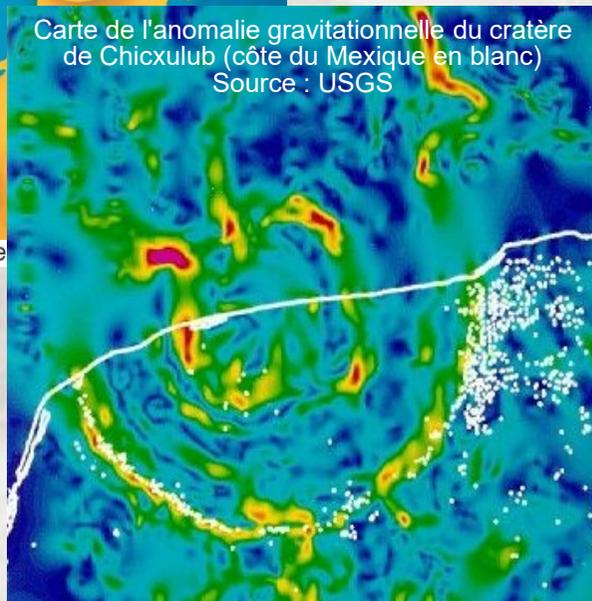
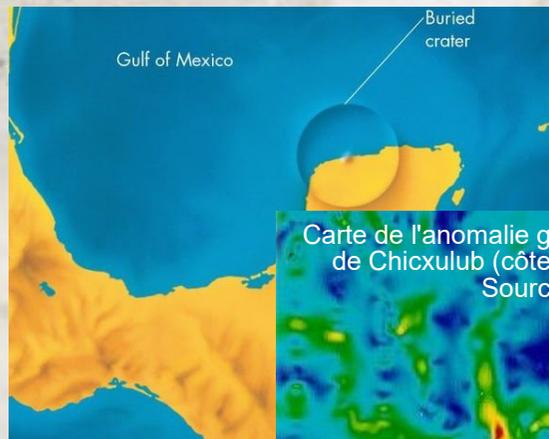
Empreintes d'inocérames du « flysch gréseux » maastrichtien de Zumaia (Gipuzkoa)  
Source : T. Juteau - 2014

1- “long” (10 millions d’années ?):  
régression marine & refroidissement  
→ Disparition d’espèces (Inocérames ...)

2- “bref/moyen” (600000 à 3 Ma?):  
volcanisme exceptionnel



Trapps du Decca (Inde Ouest)  
Source : Wikipédia



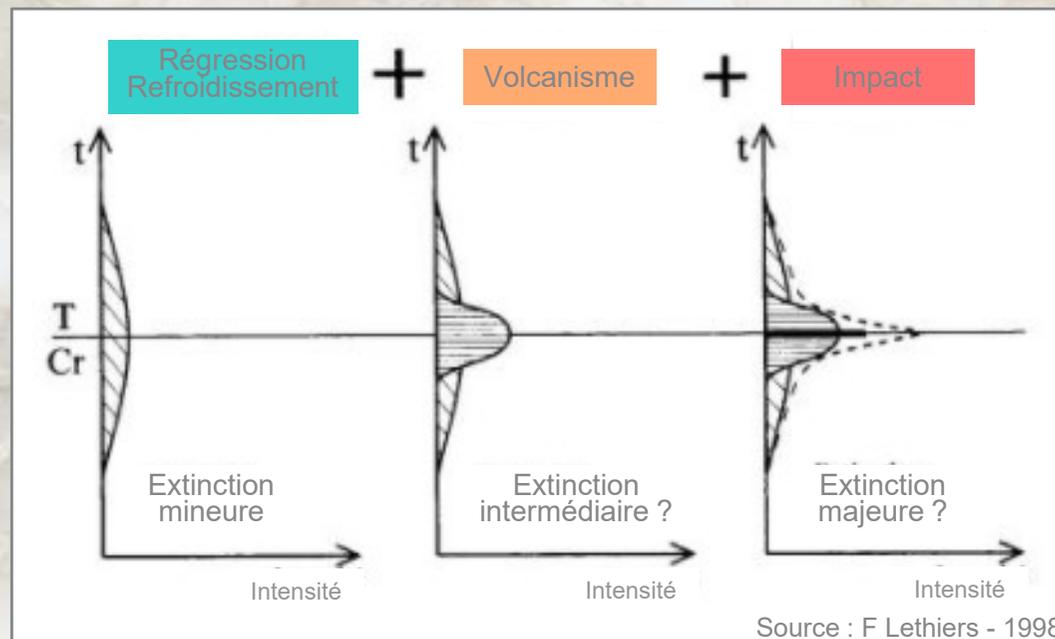
Carte de l'anomalie gravitationnelle du cratère de Chicxulub (côte du Mexique en blanc)  
Source : USGS

© 2005 Pearson Prentice

3- “instantané” (années à milliers d’années ?):  
origine extraterrestre par collision à -66 Ma  
avec un astéroïde (Ø ~10 à 80? km)  
→ cratère d’environ 180 km de Ø

## Conclusion (2/2)

Une synthèse possible des diverses données accumulées sur les événements exceptionnels de la limite K/T serait que les extinctions résultent de la superposition de plusieurs événements néfastes, contribuant plus ou moins fortement à la disparition de nombreux groupes d'animaux et de végétaux



Remarque : d'après Punakar et al. (2016) un phénomène de dissolution coïncide stratigraphiquement avec le refroidissement climatique qui suit le réchauffement planétaire du Maastrichtien supérieur et pourrait être lié à l'acidification des océans induite par le volcanisme du Deccan.

L'arrivée dans l'atmosphère de 12 000 à 28 000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> et de 5200 à 13 600 milliards de tonnes de SO<sub>2</sub> (estimées) aurait déclenché une « crise des carbonates » dans les océans, entraînant un stress sévère pour les organismes calcificateurs marins, menant à l'extinction de masse.

→ relation possible entre les évènements 1 et 2 (cause « terrestre ») mais pas avec le 3 (cause « cosmique »)

**1<sup>ère</sup> partie : Fossilisation  
& détermination des fossiles**

**2<sup>ème</sup> partie : Observation de fossiles  
de 4 sites régionaux**

**→ 3<sup>ème</sup> partie : Discussion**

- **apports sur l'évolution de la Vie**
  - **utilisations des fossiles**
- **outils de modélisation du futur (?)**

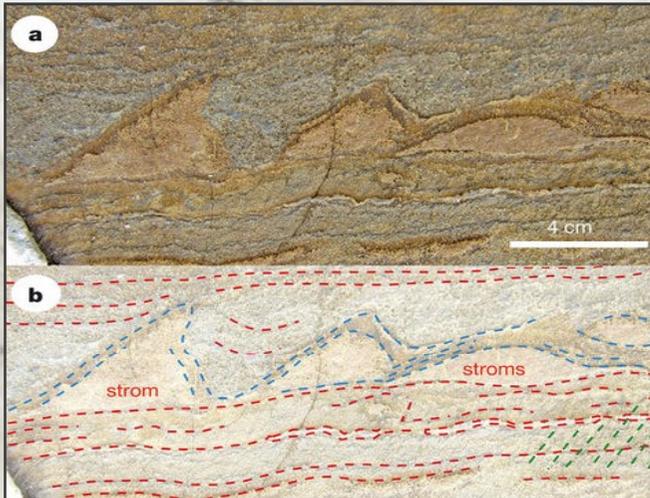


# Evolution de la Vie

## Les + vieux fossiles

Stromatolites = roches carbonatées formées de feuillets superposés se développant en forme de boules ou de choux-fleurs. La précipitation de fines pellicules de carbonates est induite par des colonies de micro-organismes (en particulier des Cyanobactéries). Les Cyanobactéries seraient responsables d'un bouleversement écologique majeur : la « Grande Oxygénation » = dégagement d'O<sub>2</sub> dans l'atmosphère par photosynthèse (2,4-2,0 Ga)

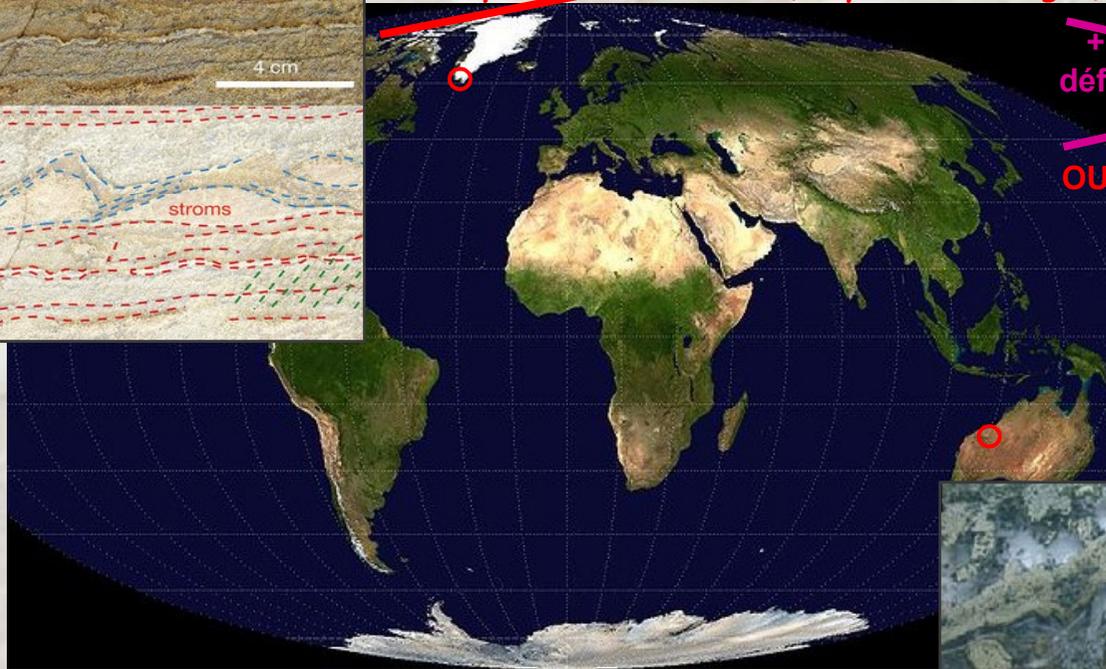
Photo : Stromatolites actuels sur le littoral de l'Ouest de l'Australie (Eeckhout)



~~Ile d'Isua (SW Groenland) : 3,7 Ga (milliards d'années)  
les stromatolites (a) présentent des feuillets internes caractéristiques (b) (lignes en pointillés bleus) coincés entre des dépôts sédimentaires (en pointillés rouges) Nutman et al. - 2016~~

~~+ probablement des structures de déformation d'origine métamorphique  
Ailwood et al. - 2018~~

**OUI ce sont bien des stromatolites de 3,7 Ga !**  
Nutman et al. - 2019

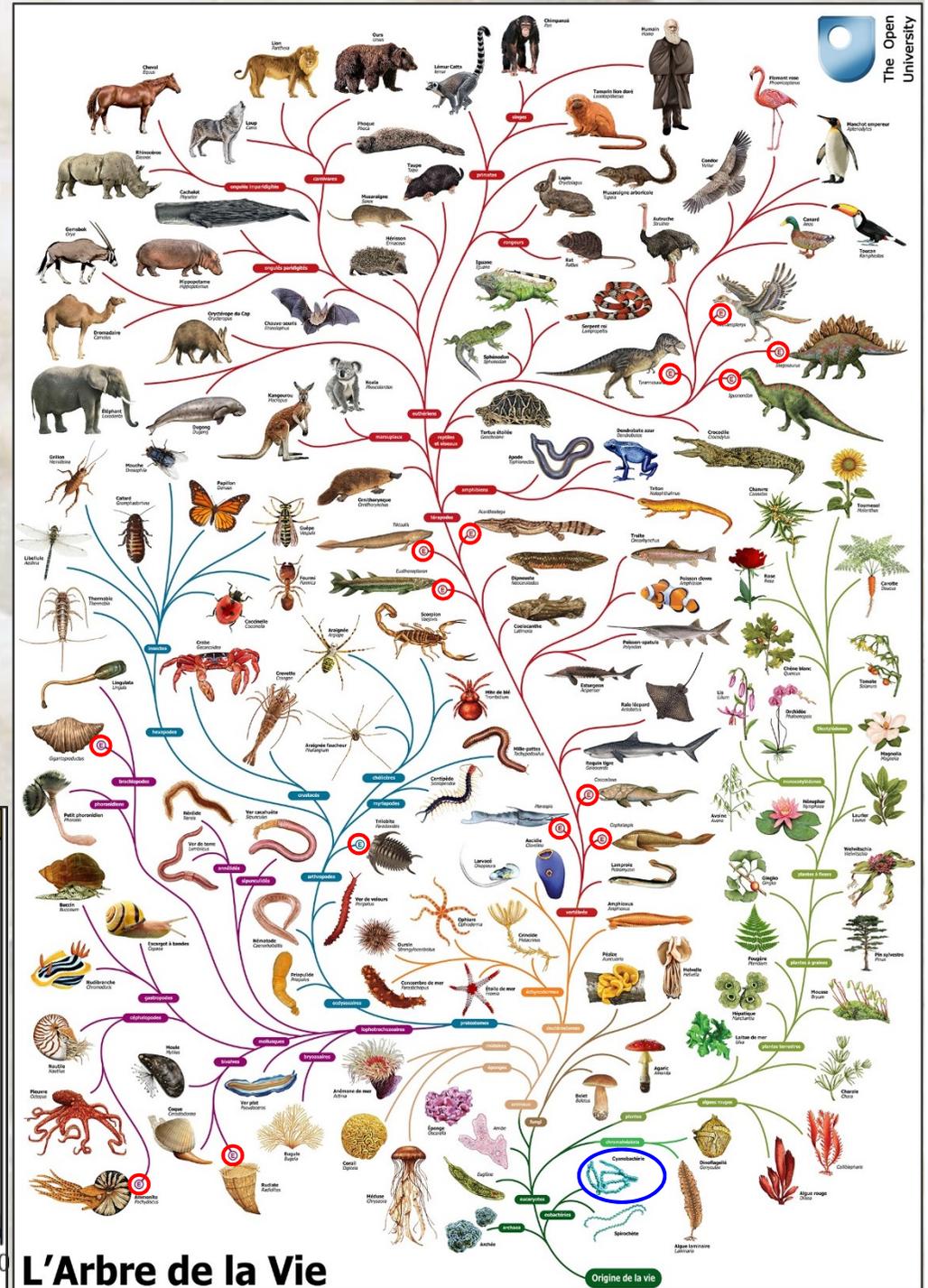
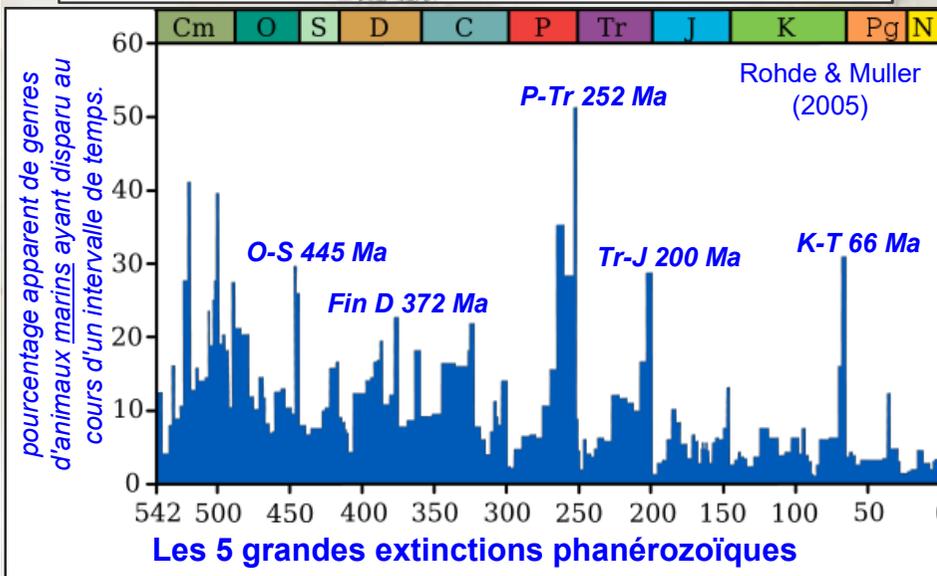
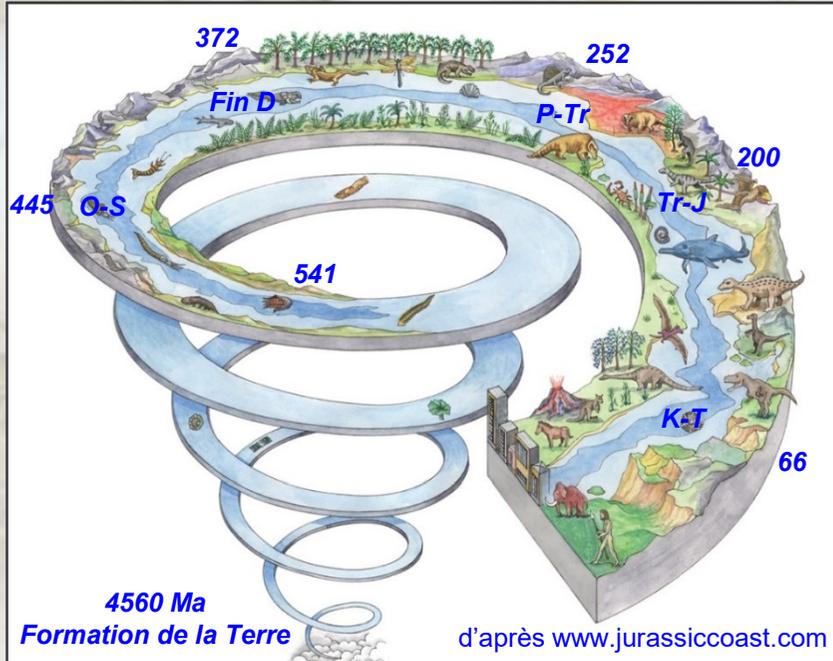


Craton de Pilbara (NW Australie) : 3,5 Ga  
Stromatolites en colonnes remplacés par de la pyrite  
Largeur image environ 5 cm  
Van Kranendonk et al. - 2008



# Evolution des espèces

L'étude des fossiles a amené des informations (apparitions & disparitions voire extinctions +/- massives d'espèces) → contribution à la notion d'évolution

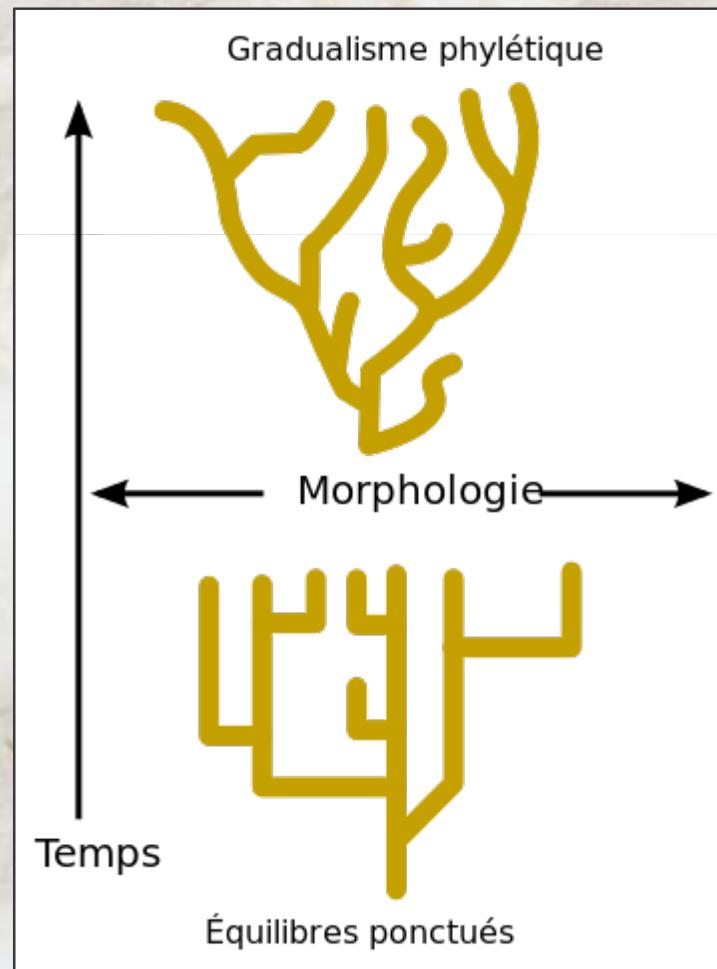


# Evolution des espèces

La théorie des équilibres ponctués est un développement de la théorie de l'évolution proposée par deux paléontologues américains, Niles Eldredge & Stephen Jay Gould (-1972) :

l'évolution comprend de longues périodes d'équilibre, ou quasi-équilibre, ponctuées de brèves périodes de changements importants comme la spéciation ou les extinctions.

Elle décrit l'évolution de la vie sur Terre sur un modèle accordant le darwinisme avec les hiatus fossilifères et avec les traces de grands bouleversements environnementaux passés que le gradualisme phylétique n'expliquait pas.

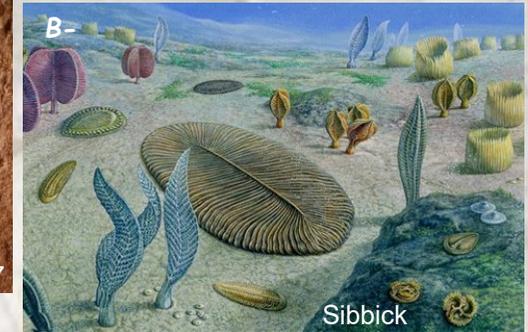
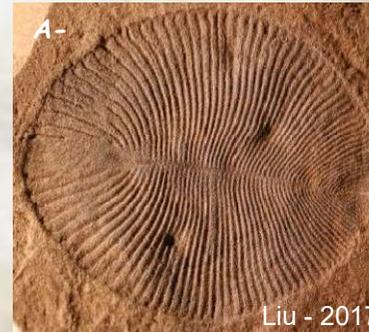


# "Explosion" cambrienne

Présence de formes de vie déjà bien diversifiées à l'Ediacarien (-635 à -541 Ma)

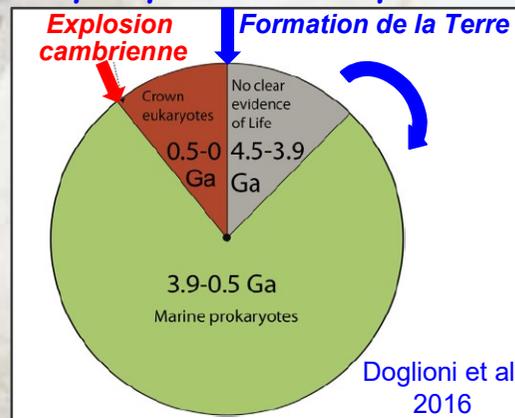
A- Dickinsonia : plus ancien animal connu sur Terre  
ovale et plat - pouvait mesurer plus d'un mètre de longueur

B- Faune de l'Ediacarien



Apparente explosion de la vie au Cambrien (-541 à -485 Ma)  
résultante possible de plusieurs causes

- Apparition des carapaces, coquilles → conservation + facile de parties dures
- Mais dès -900 Ma : possibles réorganisations du génôme → apparition de formes de vie nouvelles ... sauf que ... les conditions climatiques sur Terre à cette période étaient défavorables !  
à partir du Cambrien : niveaux élevés en  $O_2$  et en nutriments dans des lacs de rifts continentaux → enrichissement en  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , bicarbonate, phosphate → carapaces, coquilles (Maruyama et Santosh - 2008)



- Augmentation du champ magnétique terrestre → effet protecteur marqué vis-à-vis des rayons UV solaires. Cette augmentation du champ magnétique aurait pu résulter de la solidification du noyau interne de la Terre, résultant de son refroidissement (Dogliani et al. - 2016). Avant cela, la vie était dominée par les Archées et les Bactéries vivant en milieu marin (protection des UV) et supposés + résistants que d'autres organismes aux UV !  
Possiblement associé à une baisse du flux solaire
- Remarque : apparition de l'œil au Cambrien favorise les déplacements et permet une prédation + efficace

# Quelques repères

-3 Ma ( à -7 Ma ?) : Apparition de l'Homme ... 6<sup>ème</sup> extinction ?

-66 Ma : Extinction K/T (disparition des Dinosaures, des Ammonites...)

-200 Ma : Extinction fin Trias

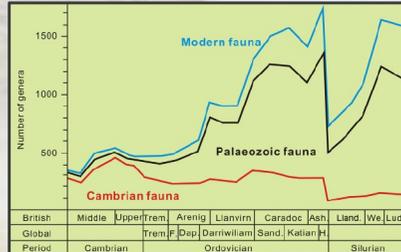
-252 Ma : Extinction fin Permien (la + importante de l'histoire de la Terre)

➤ disparition d'~ 90% des espèces marines, 70% de vertébrés terrestres, 30% des ordres d'insectes (Brand – 2016)

➤ causes = 1- émission de gaz à effet de serre due à un épisode de volcanisme intense  
2- le réchauffement engendré par les émissions de CO<sub>2</sub> volcanique aurait ensuite déclenché le relargage d'énormes quantités de méthane, issu du pergélisol et des hydrates du plateau continental, et ainsi accéléré le réchauffement global (Brand – 2016)

-372 Ma : Extinction fin Dévonien

-445 Ma : Extinction fin Ordovicien (la 2<sup>nde</sup> + importante de l'histoire de la Terre)



➤ disparition d'environ 85% des espèces (Rasmussen & Harper – 2011)

➤ causes = 1- variations de température 2- rôle de la tectonique des plaques :  
→ amalgamation des microcontinents (Pangée)  
→ réduction de surface des plateaux continentaux  
→ réduction des biotopes disponibles

-470 Ma (Ordovicien moyen) : 1<sup>ères</sup> traces de plantes terrestres (spores) → colonisation des continents



-541 Ma (Cambrien) : « Invention » du squelette (coquilles, carapaces, squelettes)

-2,1 Ga : Organismes multicellulaires (Gabon)



-2,4 Ga : Grande oxygénation (production d'O<sub>2</sub> par photosynthèse)

-3,7 Ga : Premières traces de vie (Groenland)

-4,56 Ga : Formation de la Terre



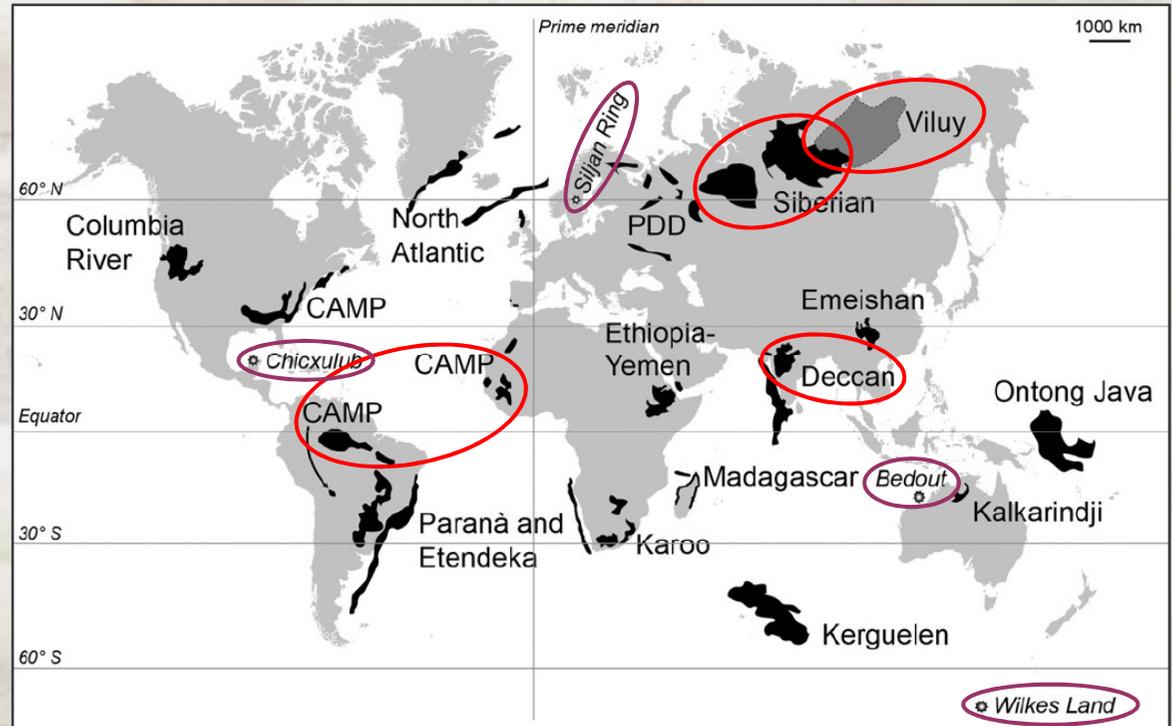
# Causes possibles des extinctions massives

On parle d'extinction de masse lorsque plus de 50% des espèces vivantes disparaissent en un temps géologiquement court

Grande province magmatique

Structure d'impact

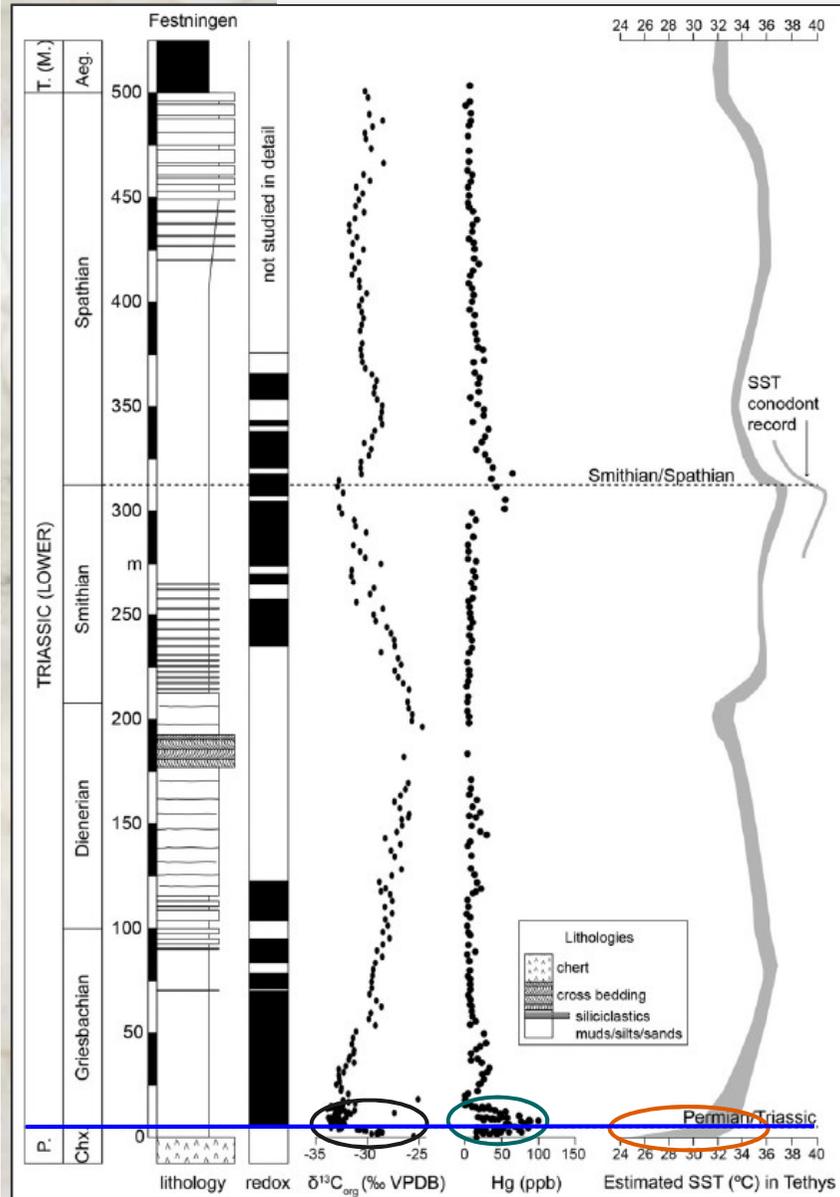
Extinction (age)	Associated IIP	Associated impact structure	Global warming or cooling?
O-S	Kalkarindji	None	?
	None	None	Warming?
	Speculated?	None	Cooling (phase 1) and warming (phase 2)
	None	None	Cooling?
Fin D	None	None	Cooling?
	None	None	Cooling?
	None	None	Warming?
	None	None	Warming?
	Viluy Traps	Siljan Ring?	Warming (+9 °C) imposed on cooling pulses
	PDD?	None	Warming and cooling (including glaciation)
	None	Woodleigh, Western Australia?	? both have been invoked
	None	None	Warming (+10 °C)
P-Tr	Siberian Traps	Bedout? Wilkes Land?	Warming (+6 °C)
	Siberian Traps (late stages)	None	Warming (+7 °C)
Tr-J	Wrangellia	None	Warming (+6 °C)
	CAMP	None	Warming (+7 °C)
K-T	Karoo/Ferrar	None	Warming (+4 °C)
	Deccan Traps	Chicxulub	Warming (+4 °C)



Pour Bond & Grasby (2017) le volcanisme à grande échelle serait la principale cause des extinctions massives

Pour Frankel (2016) des causes différentes auraient pu intervenir :  
glaciation pour O-S, éruption magmatique et contact magma/charbon et méthane pour P-Tr,  
météorite de Chicxulub pour K/T

# Que se passe-t-il à ces périodes ? Phénomènes possibles

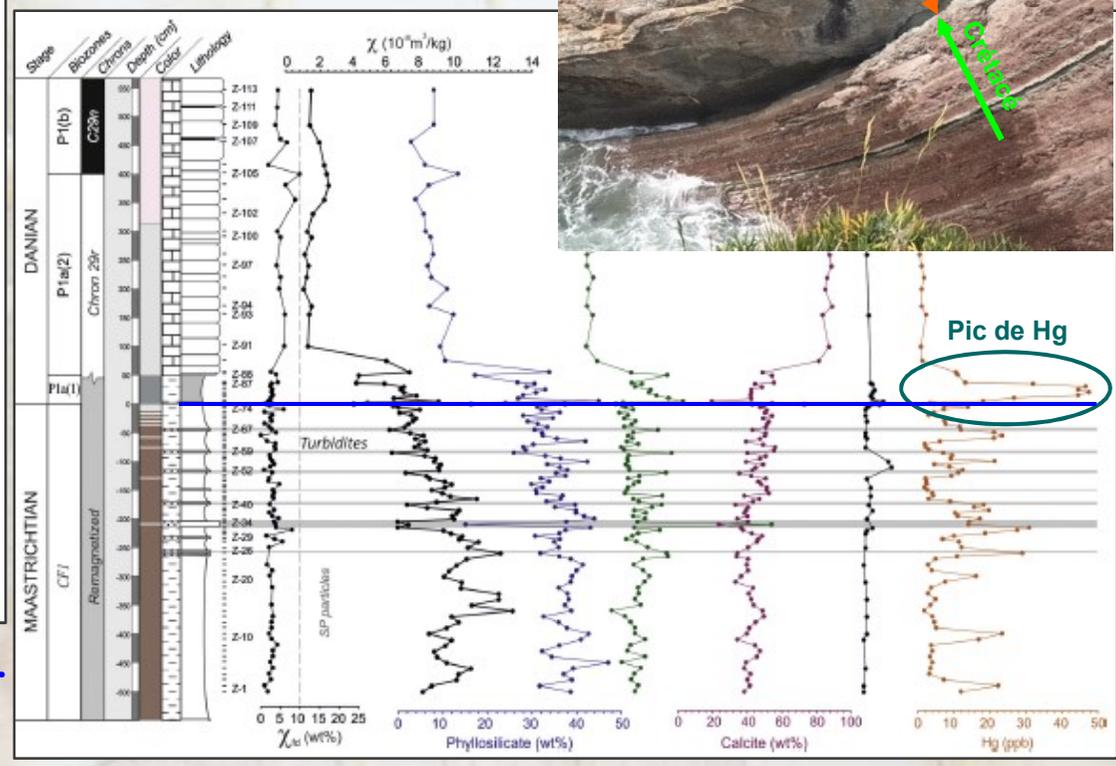


Exemple de variations à la limite Permien-Trias (Spitzberg) également observées dans l'Arctique canadien (île d'Ellesmere) Bond & Grasby (2017)

Température (°C) des eaux de surface :

Concentration en Hg (ppb) : Rôle de métaux toxiques issus des éruptions volcaniques dans les extinctions ?

$\delta^{13}C_{org}$  : Développement de conditions anoxiques



Variations observées à Zumaia à la limite K/T Font et al. (2018)

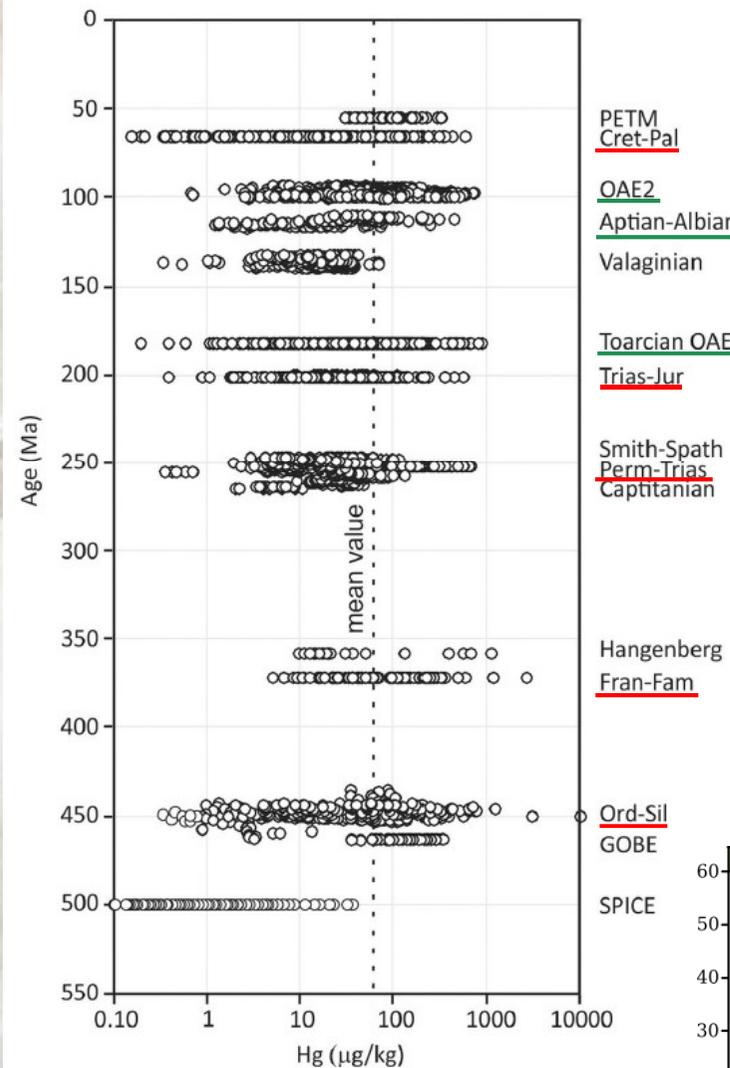
# Remarque sur le Hg : souvent (toujours) présent lors d'évènements importants de la Terre

Les éruptions des grandes provinces ignées (LIP) sont de plus en plus considérées comme ayant entraîné les extinctions massives dans l'ensemble du Phanérozoïque (Grasby et al. – 2019)

## Concentration en Hg aux limites des grandes extinctions et des évènements anoxiques océaniques au cours des temps géologiques

Ligne verticale en tiretés = valeur moyenne de toutes les données en Hg reportées

- **PETM** = Palaeocene/Eocene Thermal Maximum
- **Cret-Pal** = Cretaceous/Paleogene ("K/T" limit)
- **OAE** = Ocean Anoxic Event
- **GOBE** = Great Ordovician Biodiversification Event
- **SPICE** = Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion



5 grandes extinctions      Intervalles de dépôt de RM

← K/T

←

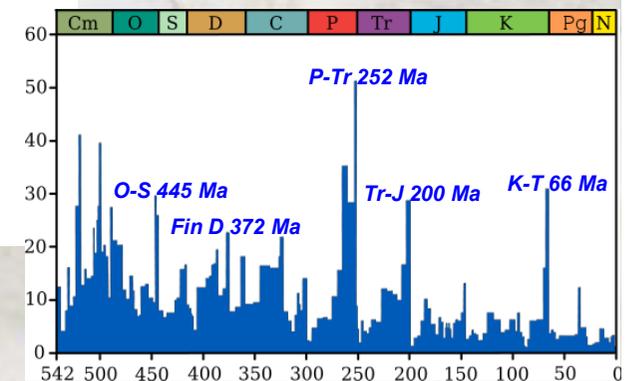
←

←

←

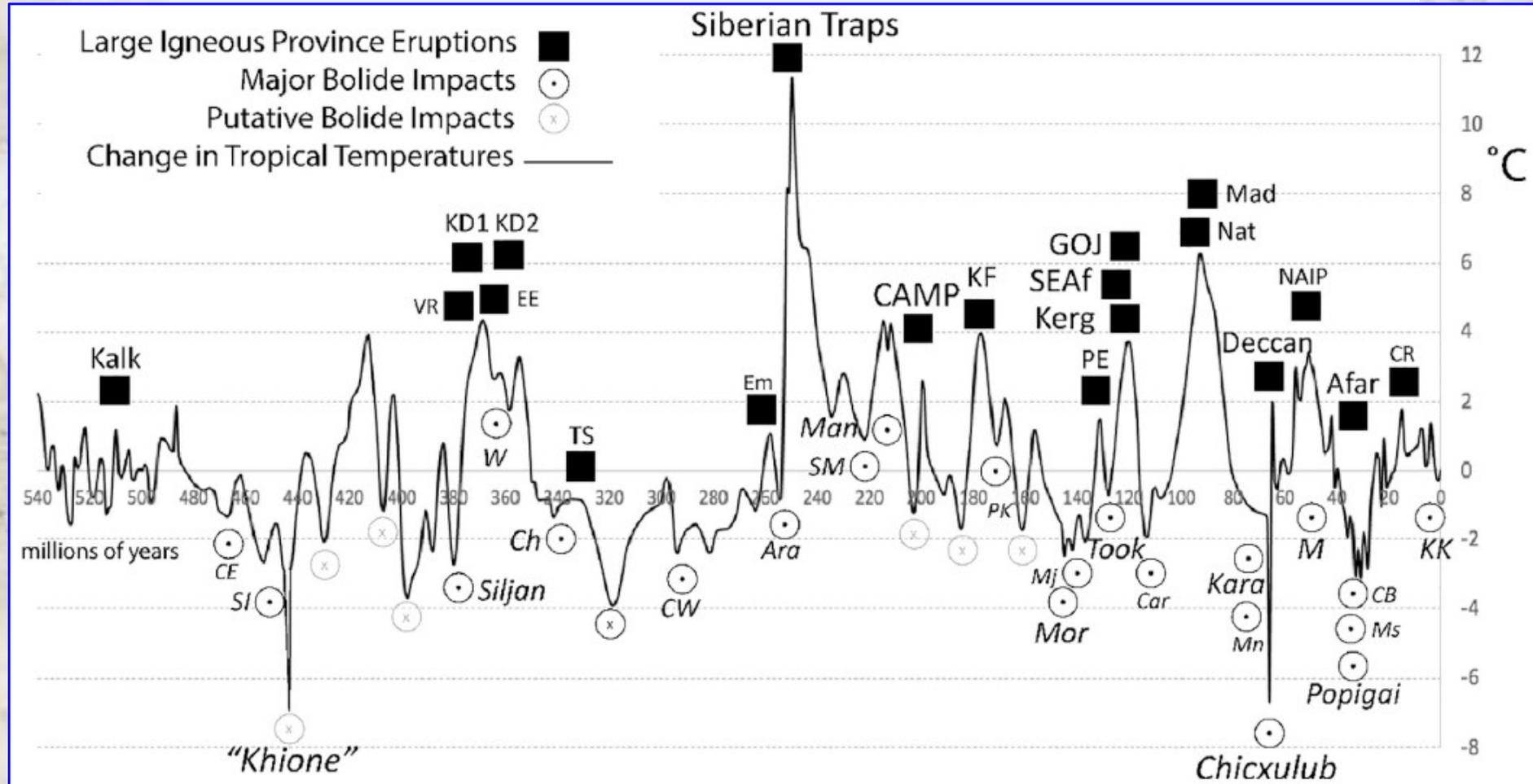
←

←



# Comparaison de l'effet des LIPS et des impacts

(Scotese et al. 2021)

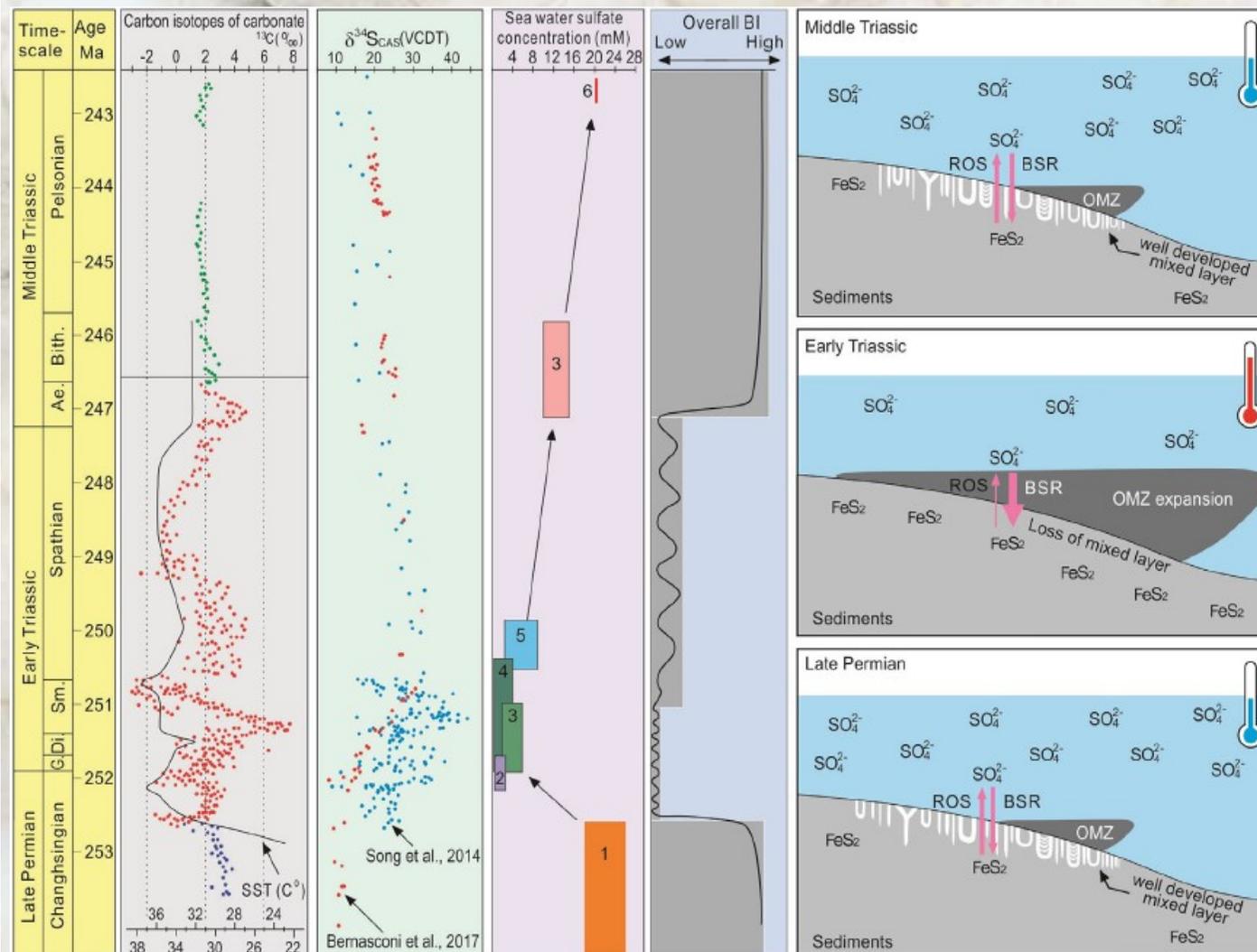


Comparaison de la chronologie des LIPS (carrés noirs), des grands impacts de bolides (cercles avec points) et des événements présumés de grands impacts (cercles gris clair marqués x) avec les changements de température tropicale

- 19 des 21 principales LIPS correspondent à des périodes de réchauffement climatique
  - effet de refroidissement des événements d'impact (diminue rapidement quand la taille du bolide diminue)

# Utilisation de la paléoichnologie comme indicateur de la reprise de l'activité biologique après l'extinction de la fin du Permien

La paléoichnologie est le domaine de la paléontologie étudiant exclusivement les traces d'activité biologique fossilisées (*ichnofossiles*). Ceci inclut les traces de déplacement, bioturbation, forage, bioconstruction, prédation ... et autres comportements habituels ou occasionnels d'êtres vivants.



terriers creusés par des crustacés (Trias moyen)

Variations de paramètres géochimiques et intensité de bioturbation pendant l'intervalle Permien sup. - Trias moyen.

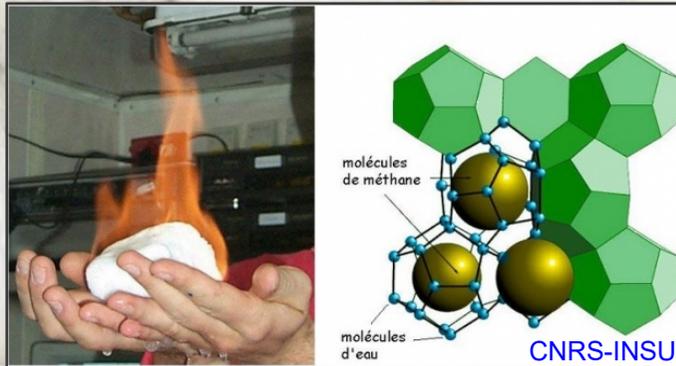
Noter l'intensité de bioturbation généralement faible dans le Trias inférieur, associée à une très faible teneur en sulfates dans l'eau de mer

Exemple du Yunnan (province du Sud de la Chine)

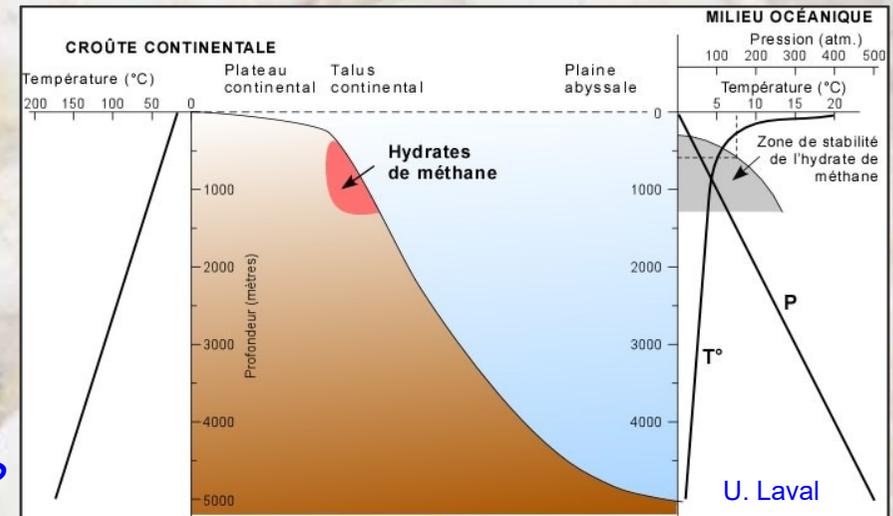
LUO et al. - 2020

# Les hydrates de gaz

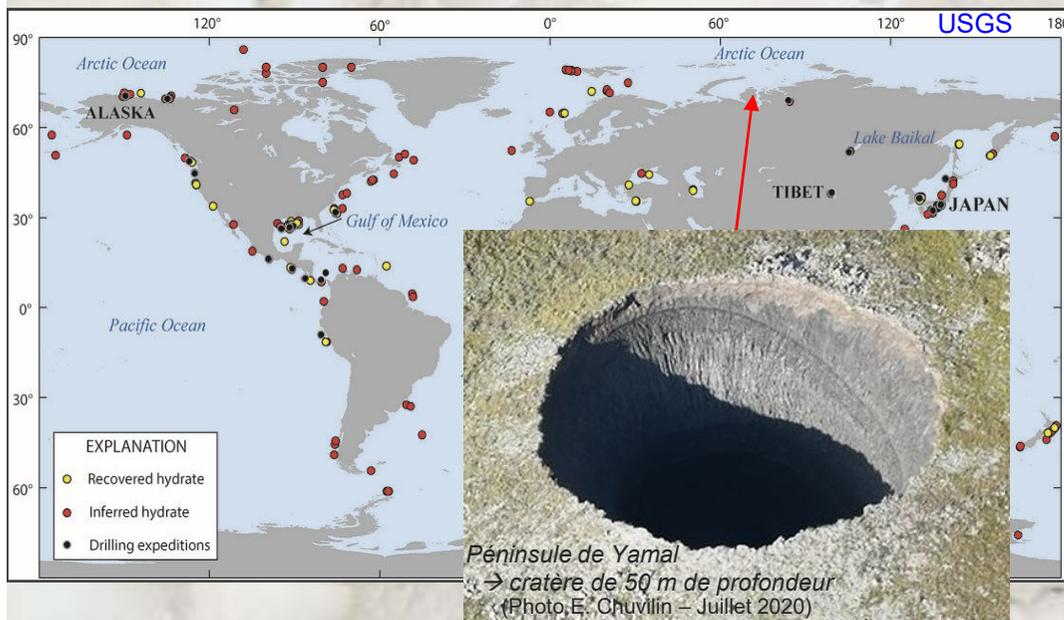
Molécules de gaz (*ex.* méthane) entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage avec apparence et consistance de la glace. Ramenés en surface, la structure solide se décompose → le gaz libéré peut brûler si on l'enflamme (« glace qui brûle »)



Dans la nature ils sont stables à faible Temp. et forte P



De très grandes quantités de gaz peuvent être stockées sous forme d'hydrates : volume de méthane présent sous forme d'hydrate dans les fonds marins et les sols gelés arctiques estimé à 20 millions de km<sup>3</sup> (USGS)

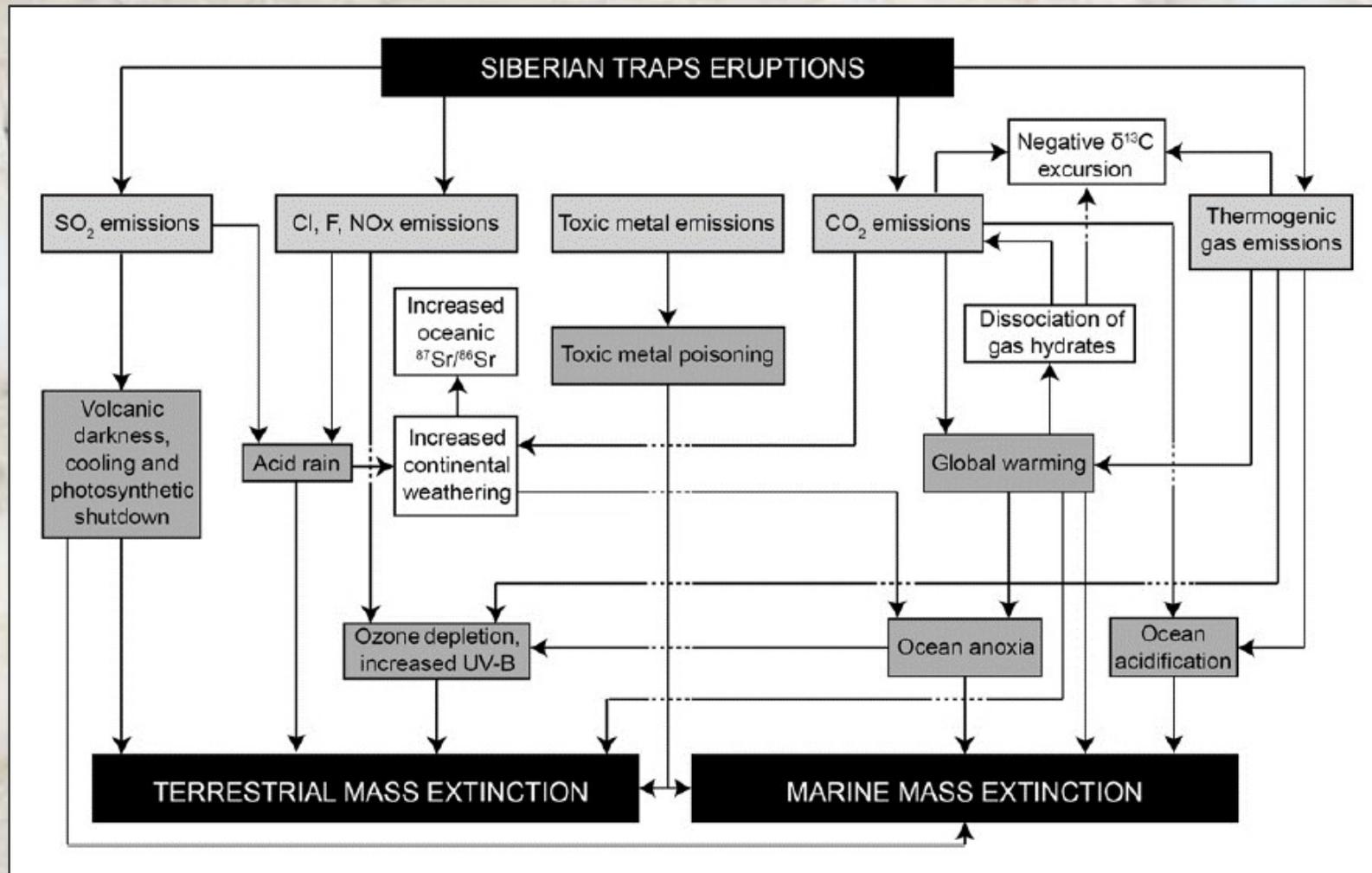


Les hydrates constituent un « puits de carbone » à l'échelle planétaire MAIS sont très instables quand leur température dépasse un certain seuil : → déstabilisation thermique des hydrates libère du méthane (GES)

→ pourrait jouer un rôle fondamental dans les changements climatiques globaux

Le mécanisme "début de réchauffement / déstabilisation thermique des hydrates/libération de méthane" a pour effet une accélération du réchauffement climatique (extinction P-Tr ?)

# Possibles relations de cause à effet à la limite Permien-Trias



Bond & Grasby (2017)

Produit direct du volcanisme

Mécanisme actif

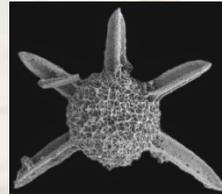
Effets induits

Quel lien avec les fossiles ?

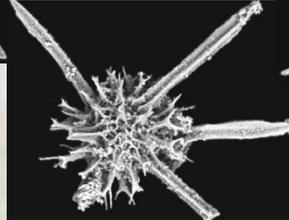
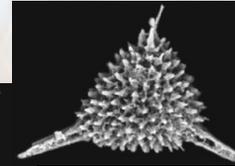
# Utilisations

## Le silex

*Des organismes animaux ou végétaux (Radiolaires, Diatomées, certaines Eponges) fixent la silice dissoute dans l'eau dans leur squelette. A leur mort, ces squelettes sont dissous et vont intégrer un gel riche en silice et en calcite qui se dépose sur le fond.*



Taille  
100 à 300  $\mu\text{m}$



**Radiolaires du Crétacé**  
(Bragina et Bragin - 2016)

*A partir de ce gel, la silice peut précipiter sous l'interface fond de l'océan/sédiments. La précipitation démarre souvent dans des cavités (terriers, fissures, fractures) et forme des nodules*

Les implantations préhistoriques sont liées à la présence de calcaires à silex dans le Crétacé supérieur des anticlinaux de Tercis et d'Audignon

Ce silex constituait une matière première importante qui a pu être exportée dès la Préhistoire

Racloir en silex

(dit de "Chalosse")



(Cliché P. Fernandes)

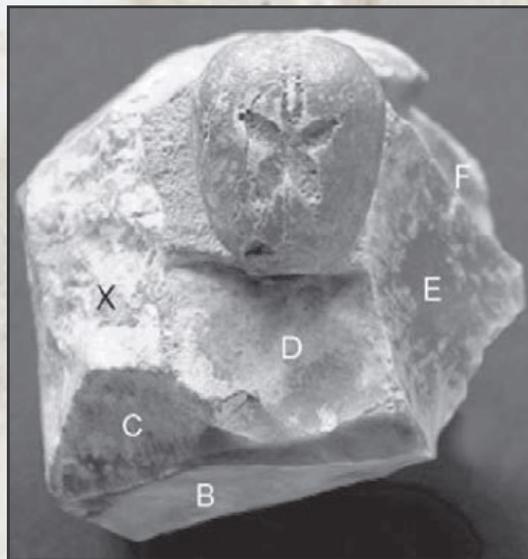
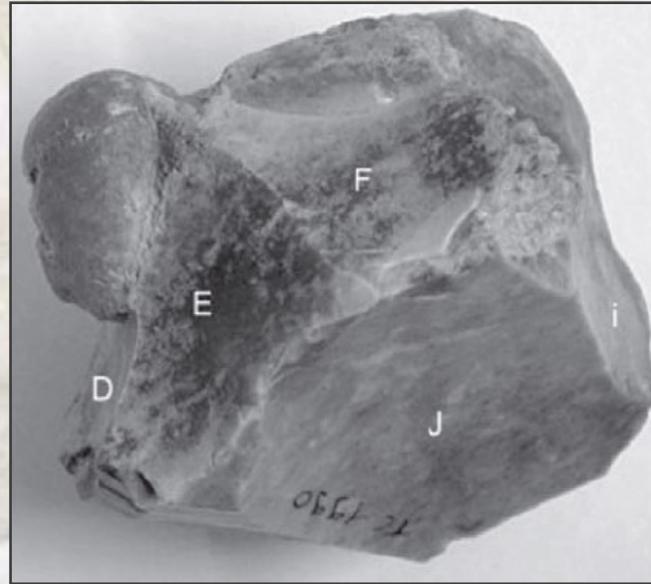
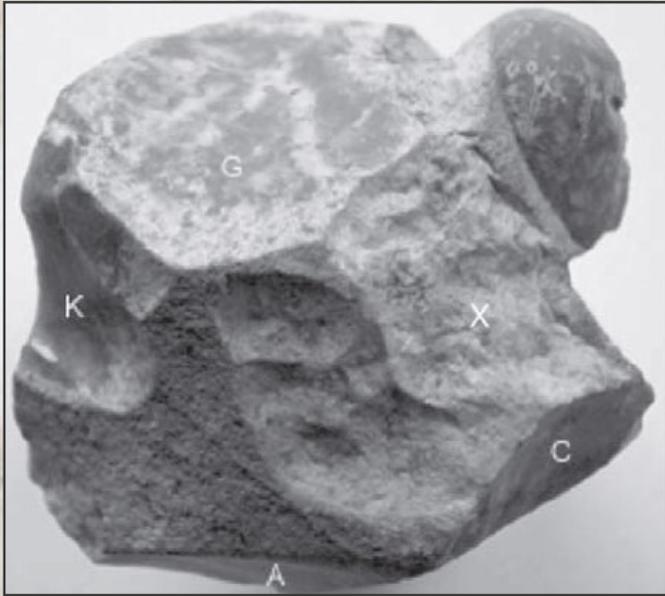
500  $\mu\text{m}$

(Cliché INRAP)

0

5cm

# Fossile d'oursin (*Cyclaster*) préservé sur un nucléus paléolithique (Moustérien - 32 à 75000 ans BP) du site de Tercis



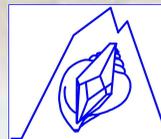
Profil gauche, vue de face et profil droit de l'oursin accolé au nucléus de Tercis (clichés Abrial)

*Utilisation de l'oursin comme « poignée » → pratique !?*

*... ou ...*

*Préservation (mise en valeur ?) de l'oursin par le tailleur de silex moustérien → esthétique !?*

(Odin et al. - 2006)



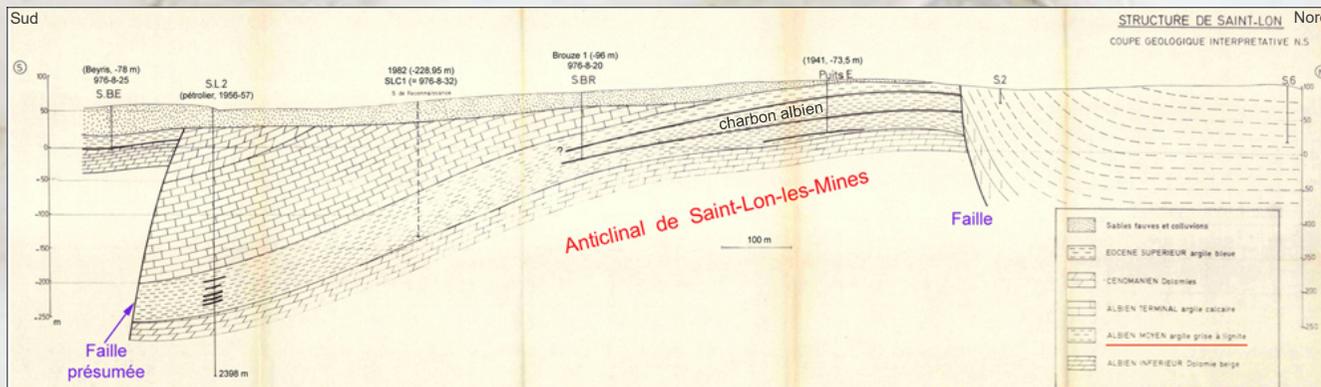
# L'ambre

Résine fossile des conifères contenant parfois des fossiles  
(en particulier des insectes bien conservés)

→ Origine purement organique (végétale) et non minérale



## Ambre de Saint-Lon (Landes)



Pendeloque en ambre de Saint-Lon  
trouvée à Isturitz  
Cette parure préhistorique date  
de -40 000 ans (Aurignacien)  
Elle est considérée comme la plus  
ancienne du monde dans cette matière  
(Cahuzac – 2014)

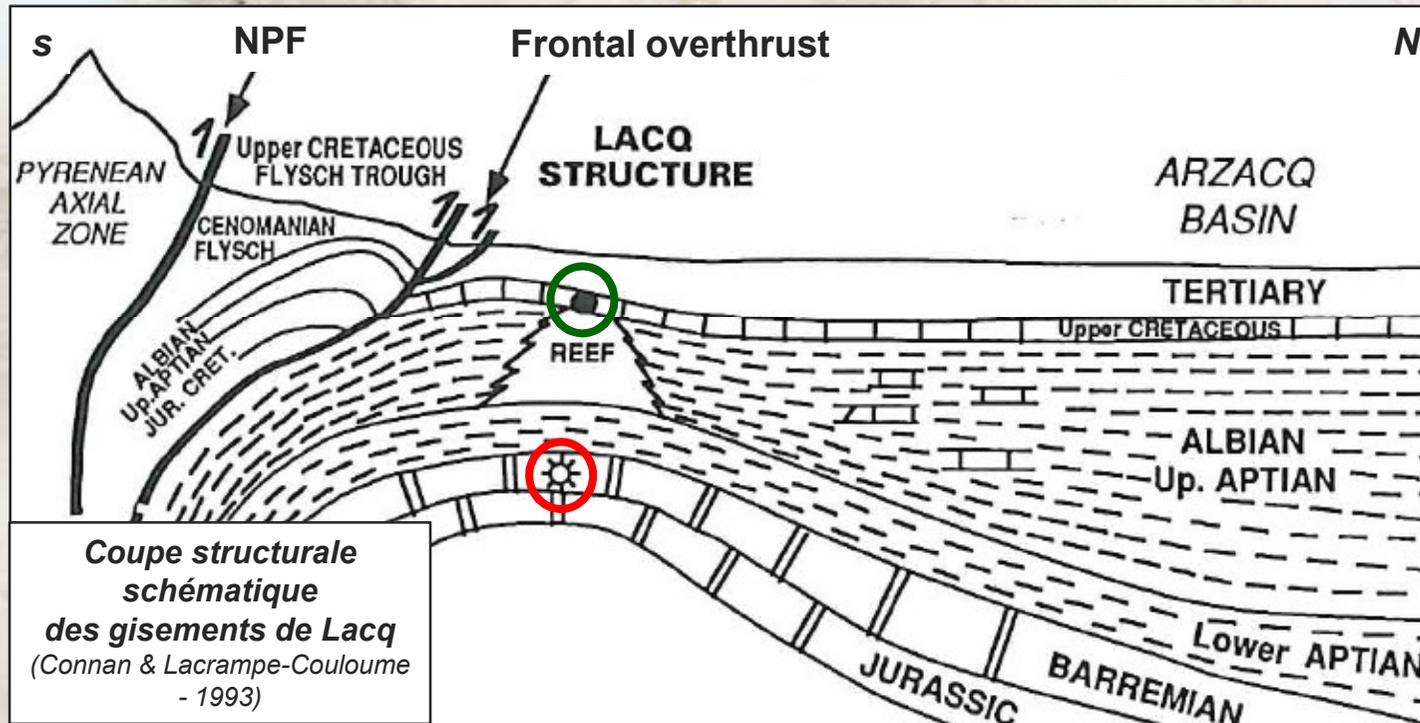


# Les hydrocarbures (« combustibles fossiles ») 1/3

Les hydrocarbures liquides et gazeux se forment en profondeur par action de la température sur des matières organiques fossiles (restes de végétaux et bactéries) déposées dans des sédiments

Les hydrocarbures formés migrent vers le haut. S'ils rencontrent un piège lors de leur migration, ils s'accumulent dans les pores de la roche réservoir.

Si rien ne les arrête, ils suintent à la surface (Bituminières de Bastennes).



**Lacq supérieur**  
(huile lourde)

Découverte en Nov 1949

Env. 20 Mt en place

RM : Barrémo-Jurassique

**Lacq inférieur (gaz)**

Découverte en Déc 1951

Gisement géant (accumulation initiale de 260 Gm<sup>3</sup>)

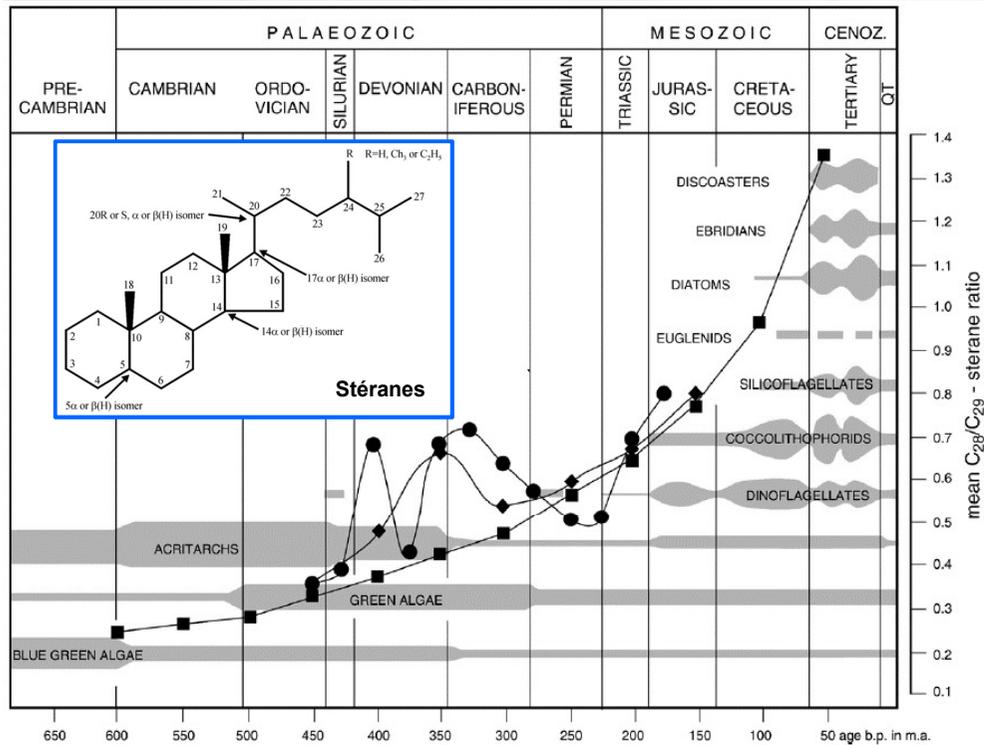
Gaz composé de 69% CH<sub>4</sub> 15% H<sub>2</sub>S et 10% CO<sub>2</sub>

RM : Jurassique Sup  
et TSR pour H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub>

# Les hydrocarbures (« combustibles fossiles ») 2/3

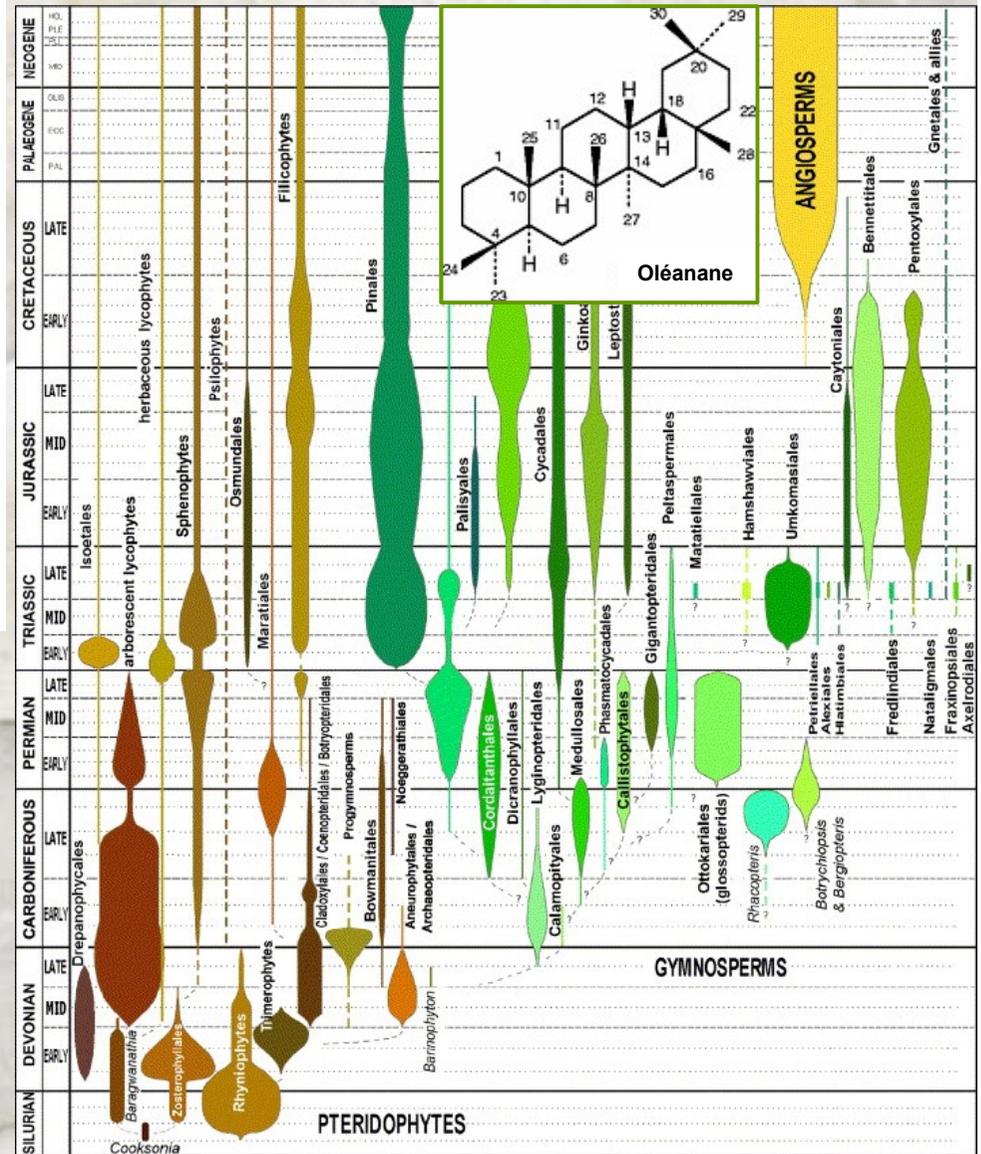
→ utilisation des biomarqueurs comme fossiles stratigraphiques

→ détermination de l'âge de la roche mère d'un pétrole



Rapport C28 / C29-stérane de 500 échantillons de roches moyennés par pas de 50 Ma (losanges), par pas de 25 Ma (cercles pleins) comparés à 400 échantillons d'huile (carrés) analysés par Grantham & Wakefield (1988)

Diversification des mégaplantes (Gondwana et Laurasia) modifié à partir de Anderson (2001)

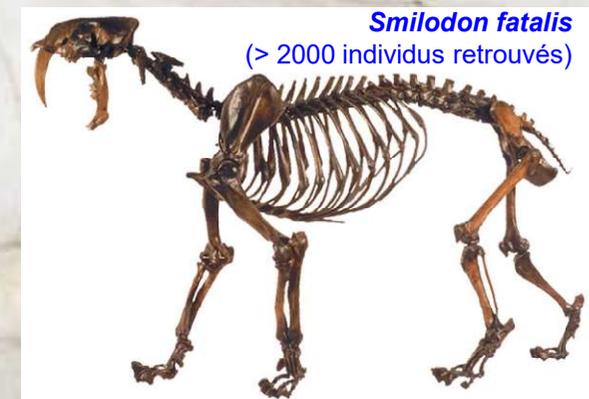
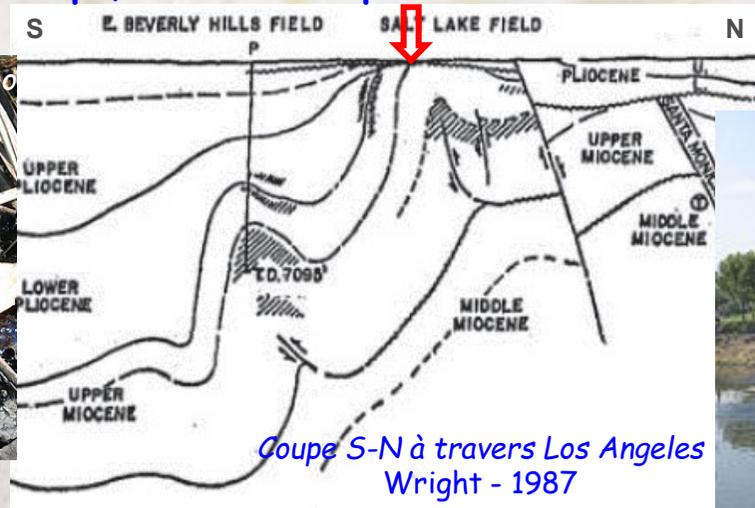


# Les hydrocarbures (3/3) - Rancho La Brea (LA)

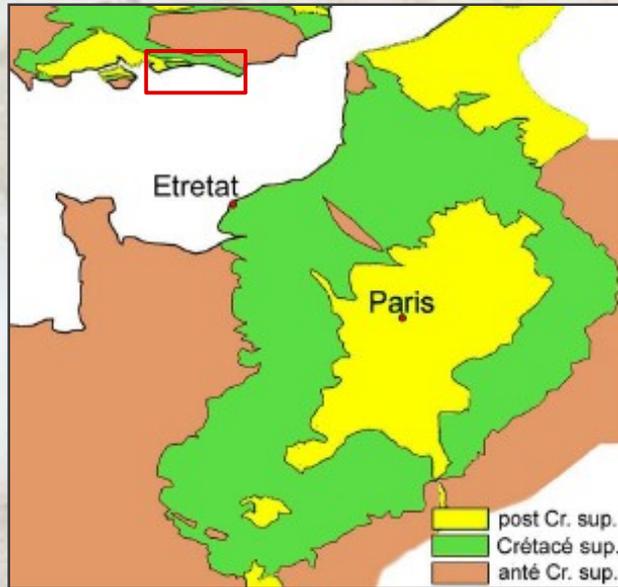
Présence de centaines de milliers d'animaux du Pléistocène supérieur entre -40000 et -10000 ans  
(Wisconsinien - 4<sup>ème</sup> et dernière glaciation du Quaternaire nord-américain équivalent du Würm européen)

→ piégés dans des fosses à bitume (« tar pits ») en surface

→ au cours du temps, le bitume a permis de conserver leurs ossements



# La craie

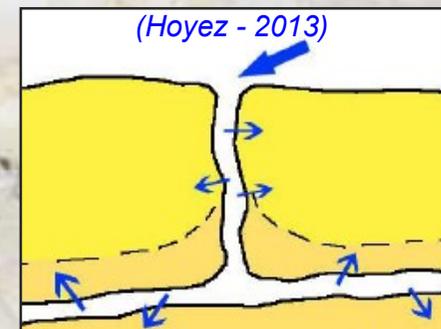


La craie ordinaire est une roche sédimentaire marine calcaire de couleur blanche faiblement cimentée (→ poreuse, friable)  
Elle est composée essentiellement de nanofossiles calcaires : les coccolithes (pièces calcaires de 2 à 10  $\mu\text{m}$  de végétaux unicellulaires, les *Coccolithophoridés*)

*Watznaueria barnesiae*  
(espèce du Jurassique moyen au Crétacé sup)  
Barre verticale = 1  $\mu\text{m}$   
Source : Young et al. Nannotax3 website  
([ina.tmsoc.org/Nannotax3](http://ina.tmsoc.org/Nannotax3))



Silex *Thalassinoïdes* en coupe verticale  
Schéma de la silicification des terriers



Elle peut contenir une certaine proportion de débris bioclastiques (Inocérames, Echinodermes) ainsi que rognons de silex

# La diatomite

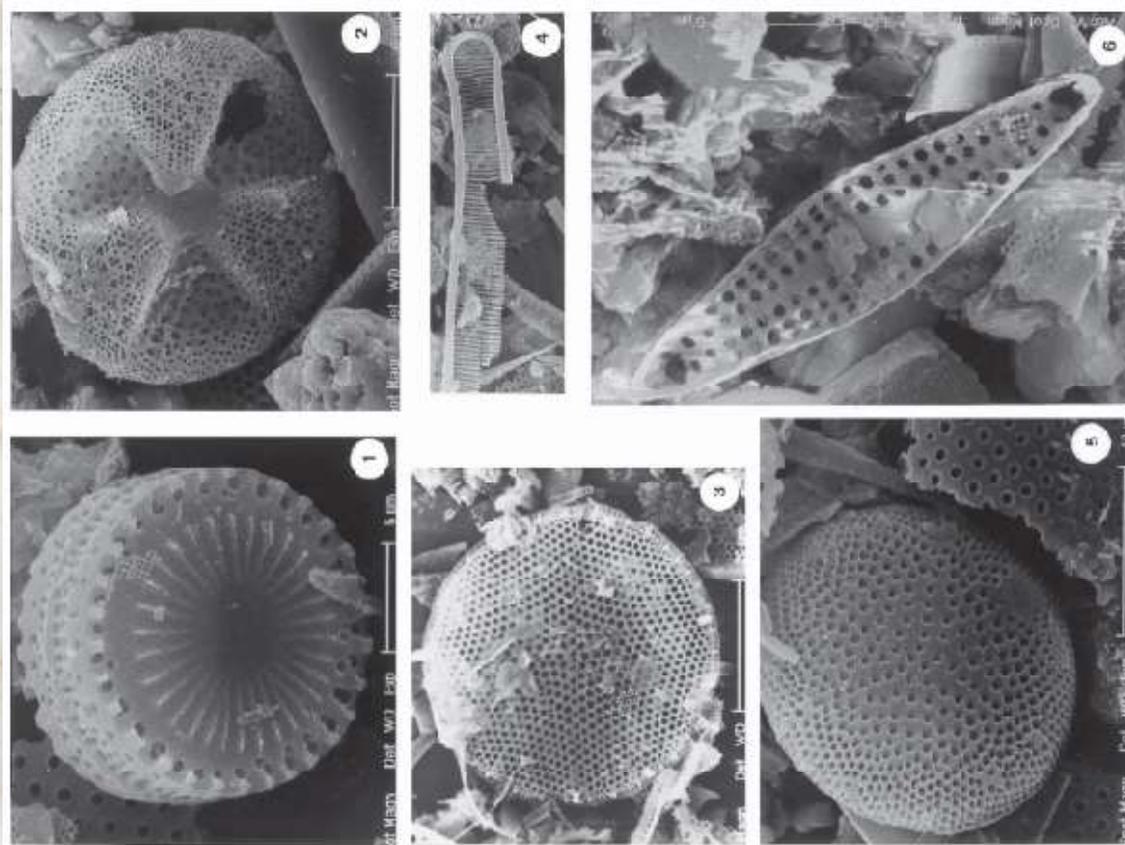
Roche sédimentaire formée par l'accumulation de restes de Diatomées fossilisées

- les Diatomées sont des algues unicellulaires vivant aussi bien en eaux salées qu'en eaux douces elles constituent le groupe de micro-algues le + important dans les mers tempérées
  - Leur taille est comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 0,5 mm
  - Elles apparaissent au Jurassique  $\rightarrow$  jusqu'à l'Actuel

Fixent la silice présente dans leur milieu de vie et fabriquent une coque siliceuse (frustule) formée de 2 valves  
Le frustule peut prendre une grande variété de formes, et sa paroi est très ornementée.

La présence de silice, sous forme d'opale, permet aux frustules de résister à la décomposition

- $\rightarrow$  accumulation en grandes quantités de frustules dans les sédiments
- $\rightarrow$  la roche qui en résulte (diatomite) est très poreuse et très légère



**Diatomées du Messinien environ 5 à 7 Ma**

(Rif Nord-Oriental, Maroc, Photo Saint Martin et al. - 2003)

## Utilisations :

- filtration de liquides divers, notamment alimentaires (bière, vin, glucose, ...)
- absorbant : Nobel utilisa la diatomite pour stabiliser la nitroglycérine afin de fabriquer de la dynamite mais aussi récupération de fuites de liquides industriels, litière pour chats
  - charge minérale pour les engrais, les peintures
- abrasif (nature siliceuse et grain très fin)

## YVES COPPENS

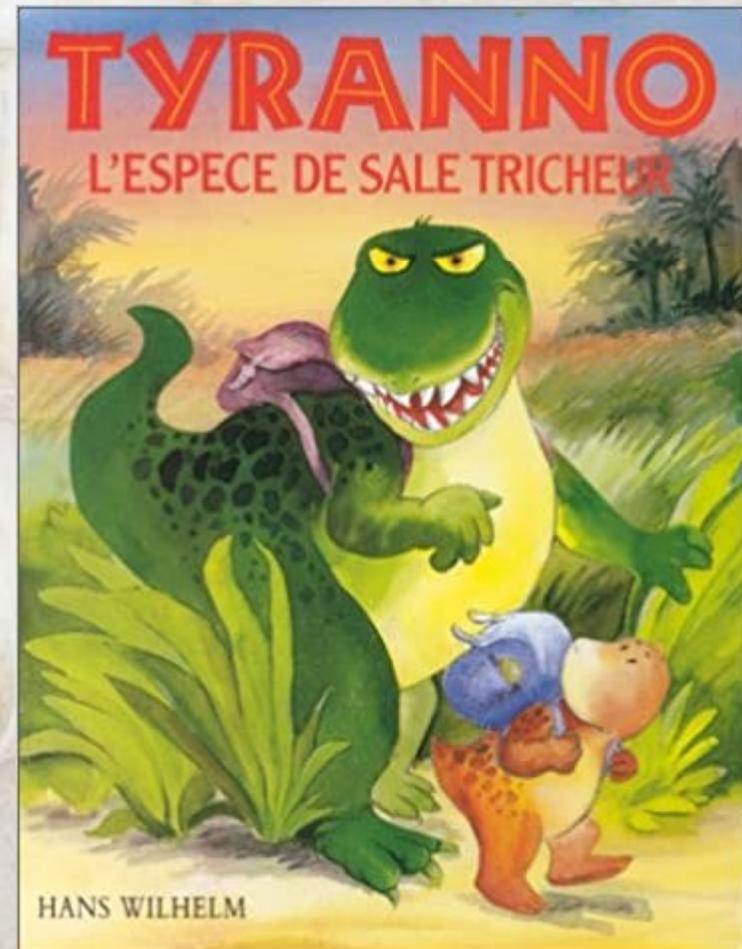


LE SAVANT, LE FOSSILE  
ET LE PRINCE  
DU LABO AUX PALAIS

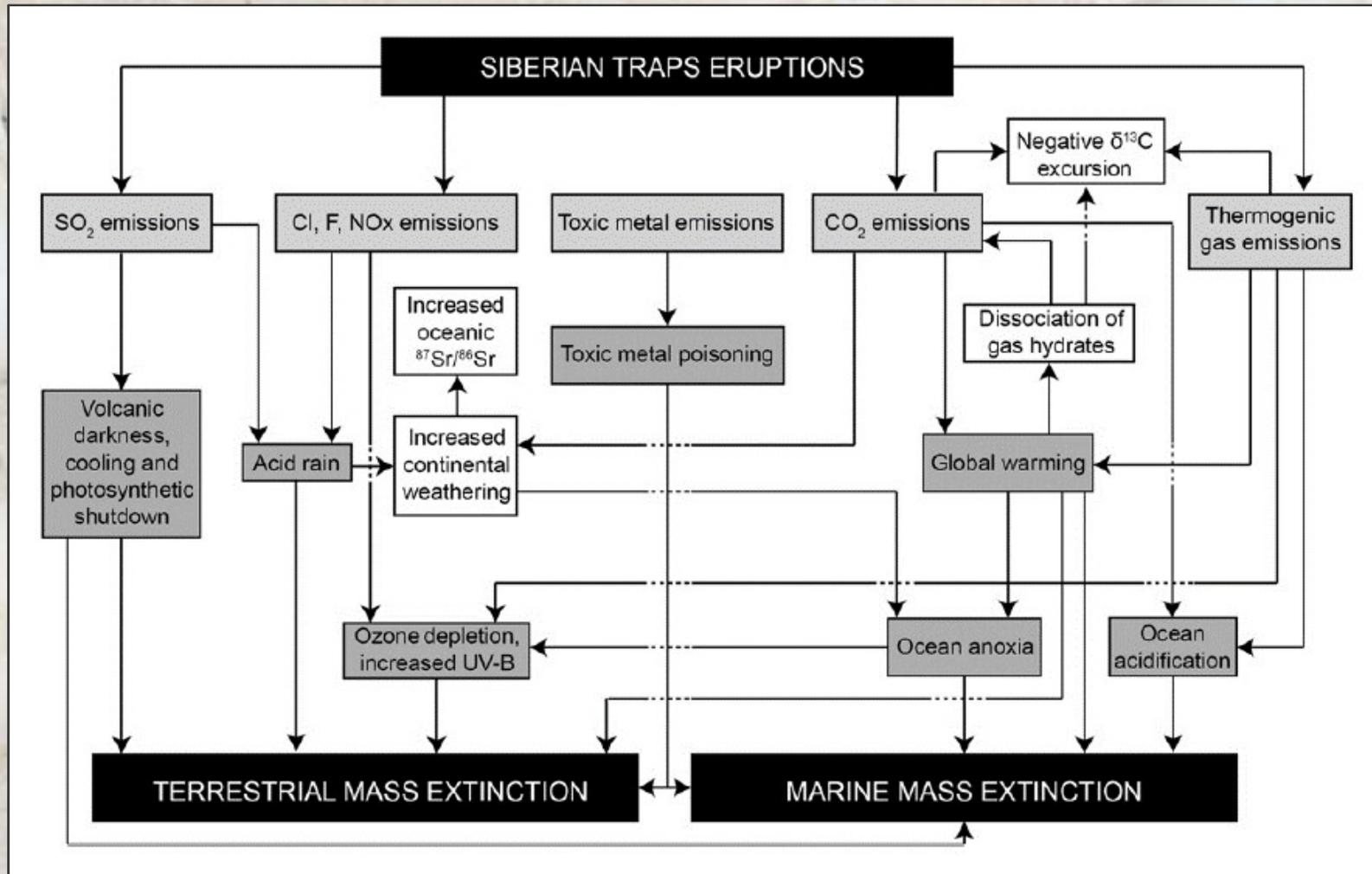


**“MES RENCONTRES  
AVEC LES PRÉSIDENTS,  
LES ROIS, LES REINES”**

« Le fossile devient prétexte à des échanges privilégiés  
avec ceux qui font l'histoire d'aujourd'hui ... »



# Modélisation Possibles relations de cause à effet à la limite Permien-Trias



Produit direct du volcanisme  
 Mécanisme actif  
 Effets induits

Bond & Grasby (2017)

**Quel lien avec les fossiles ?  
 Ils enregistrent !**

# La suite ...

## La Paléontologie participe à des approches pluridisciplinaires

→ naissance de disciplines nouvelles comme la paléoécologie, la paléoclimatologie en intégrant des données issues d'autres domaines de connaissance (biologie, chimie, statistiques ...)

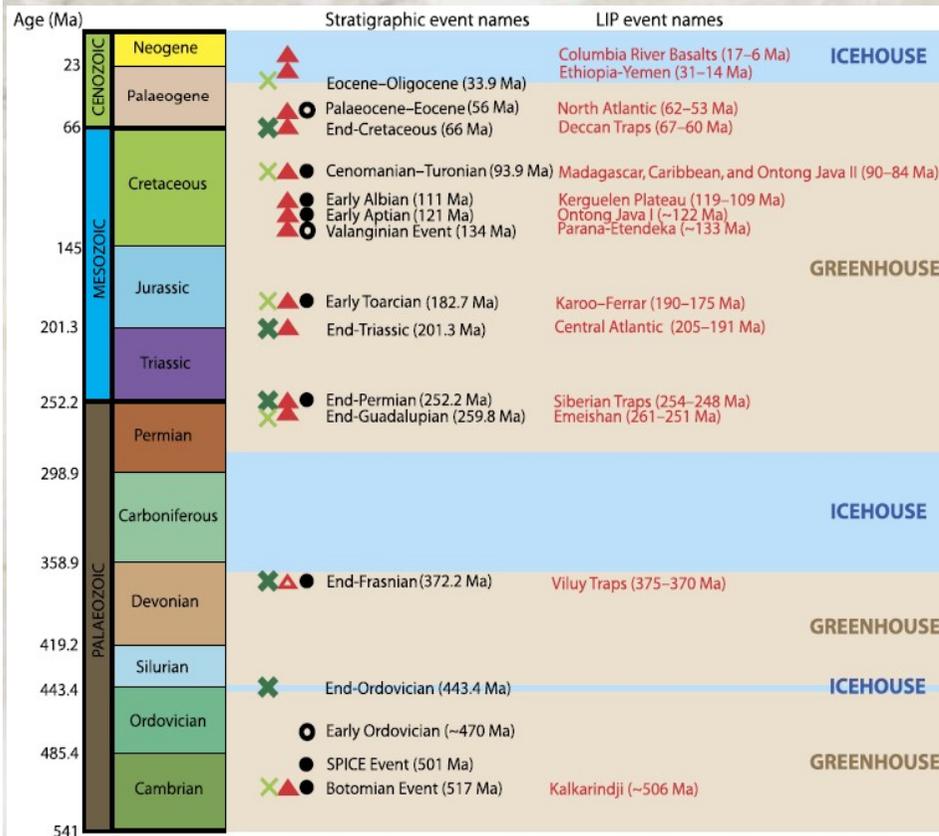
Elle a d'abord fonctionné sur le principe de l'actualisme (les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé)

→ utilisation des données du Présent pour comprendre le Passé

Par comparaison avec les périodes d'extinctions massives d'espèces, avec des événements comme la « Grande Oxygénation » (2,4-2,0 Ga) ... elle amène des éléments de compréhension des changements climatiques et de leurs effets

« L'augmentation du nombre de données de terrain montre que les anciennes crises de la Terre sont une vraie mine d'information ! » D. Bond & S. Grasby (2017)

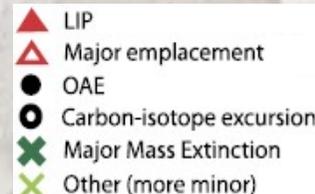
→ utilisation des données du Passé pour modéliser le Présent ... et le Futur !



### Exemples possibles:

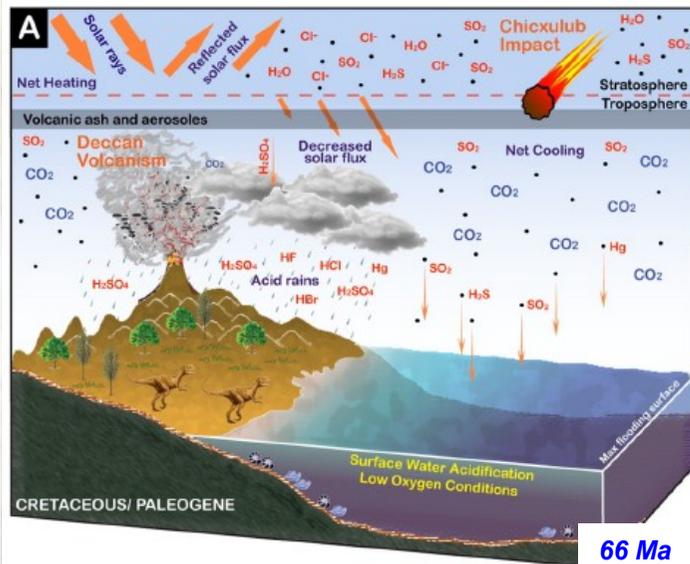
- étude de la teneur de mercure en milieu marin applicable à l'Actuel ? Augmentation de bio-productivité → piégeage + important de Hg ?
- réchauffement engendré par des émissions de CO<sub>2</sub> (volcanique ou anthropique) → relargage de méthane & CO<sub>2</sub> stocké dans des hydrates de gaz → accélération du réchauffement global ?

Le réchauffement de grandes surfaces de sols gelés risque de libérer des quantités très importantes de méthane et de CO<sub>2</sub> (= GES) qui à leur tour accéléreront le changement climatique. Cas du cratère de Yamal

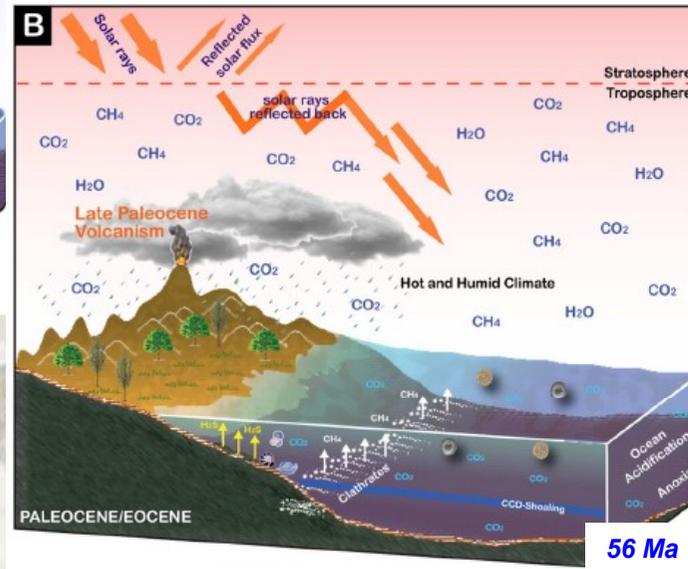


Percival et al. (2015)

# La suite ... plusieurs scénarios



A- L'extinction K-T est souvent attribuée à la météorite de Chicxulub mais le volcanisme du Deccan semble avoir joué un rôle majeur (cendres, aérosols, gaz à effet de serre)



B- Pendant le Maximum Thermique Paléocène-Eocène, le climat se réchauffe rapidement de ~ 5 °C principalement par déstabilisation d'hydrate de méthane issu des sédiments marins

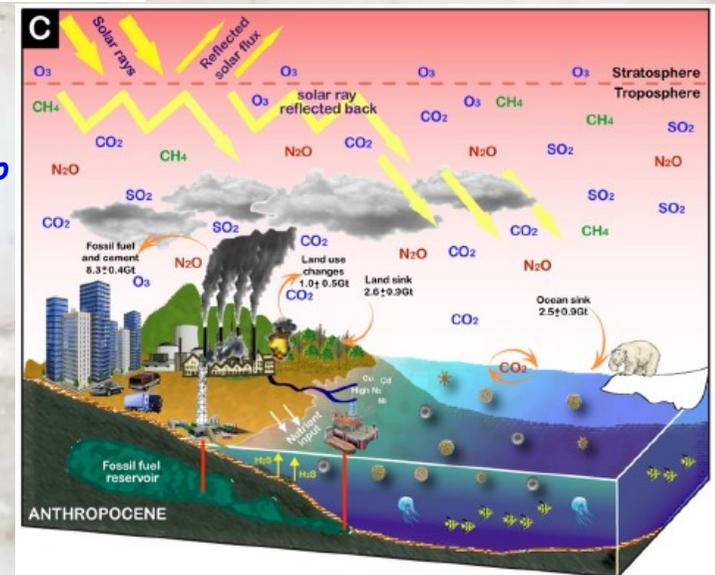
→ Phase de réchauffement global initiée par l'activité de la Province Magmatique Nord Atlantique

→ Intérêt des fossiles comme témoins ... et analogues

C- L'augmentation actuelle du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique liée à l'activité humaine et le réchauffement climatique sont beaucoup + rapides que lors des événements K/T ou MTPE

→ Possibilité d'un événement analogue au MTPE (scénario "favorable") voire d'une 6<sup>ème</sup> extinction de masse ("pire" scénario)

Keller et al. (2018)

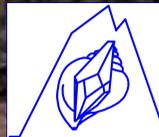




Sans compter la fiction !  
(Jurassic Park ...)

Universal Pictures

*Merci de  
votre attention !*



T. rex

[www.nhm.ac.uk/visit/galleries-and-museum-map/dinosaurs.html](http://www.nhm.ac.uk/visit/galleries-and-museum-map/dinosaurs.html)