

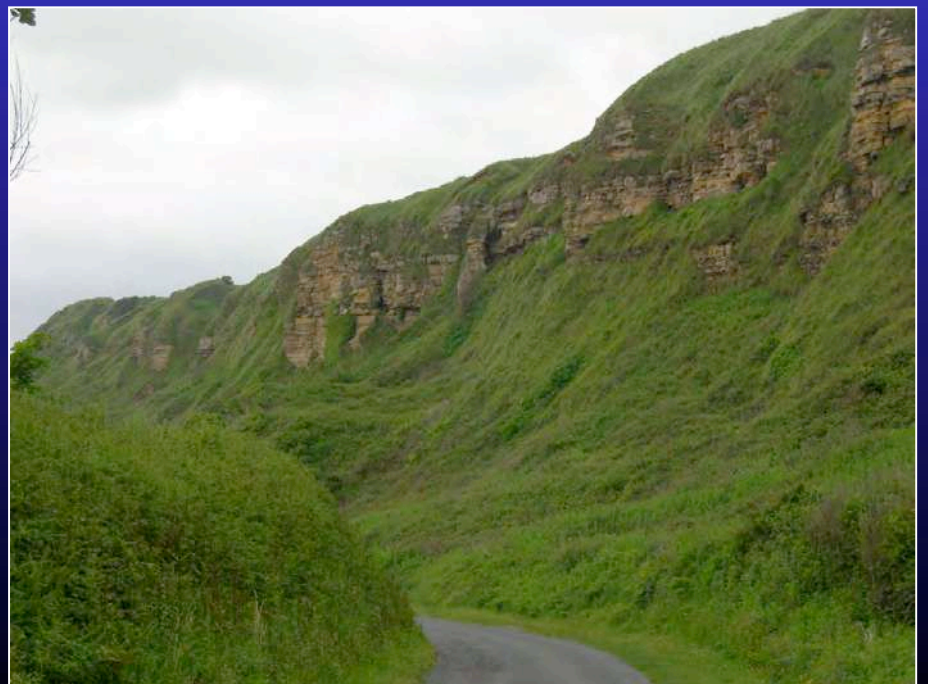
L'ENREGISTREMENT DU TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise
en défaut....

Prof. Alain Préat
Géologie-ULB

apreat@ulb.ac.be

DOUR, le novembre 2014





plan de l'exposé

I. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

impossibilité de l'enseigner...

I.GEOMETRIE =>2.TEMPS REL/ABS=>3. CINETIQUE

Historiquement càd pendant plus de 150 ans

I.TEMPS REL/ABS=>2.GEOMETRIE =>3. CINETIQUE

2. GEOMETRIE

>1960

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

<1800

Ia. TEMPS RELATIF ET Ib. ABSOLU

>1900

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

>1980-1990

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle



Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!



1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

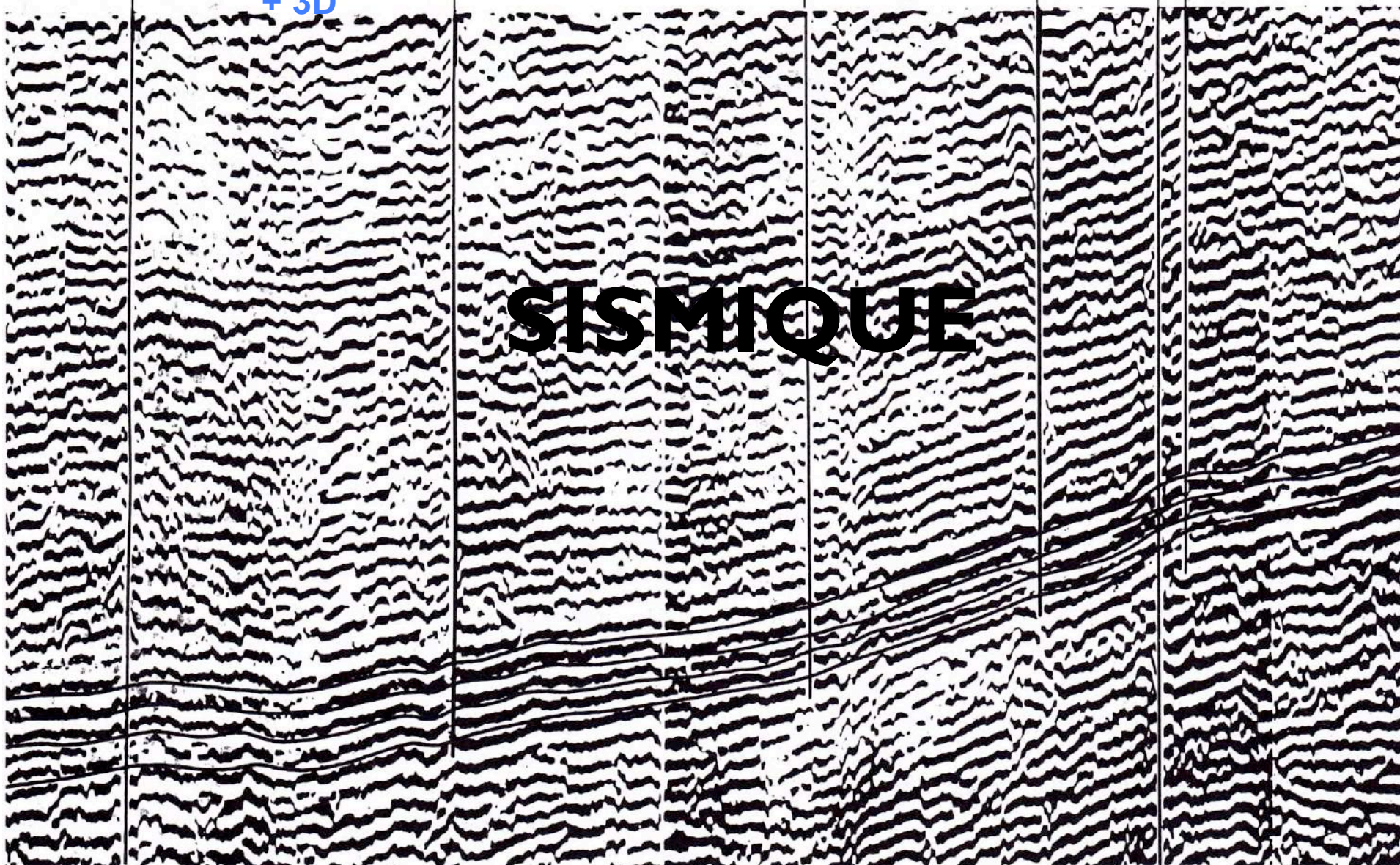
3. VITESSE

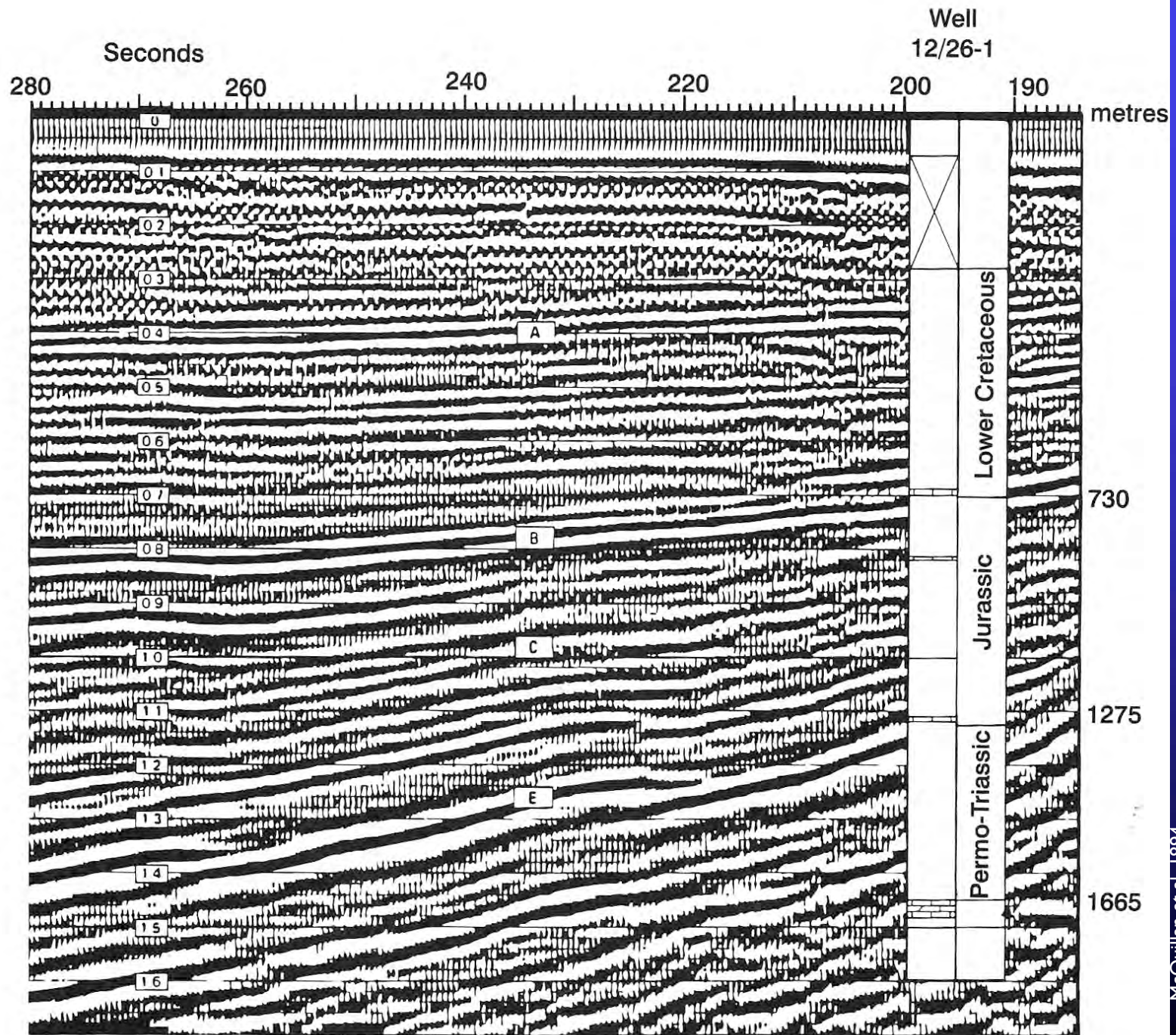
La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

10'-100'km
X 100'm-km'
'3D'

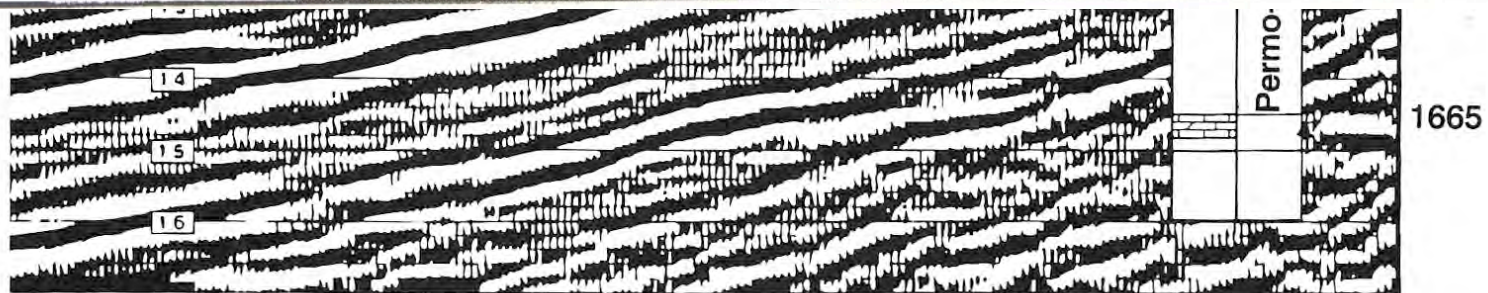
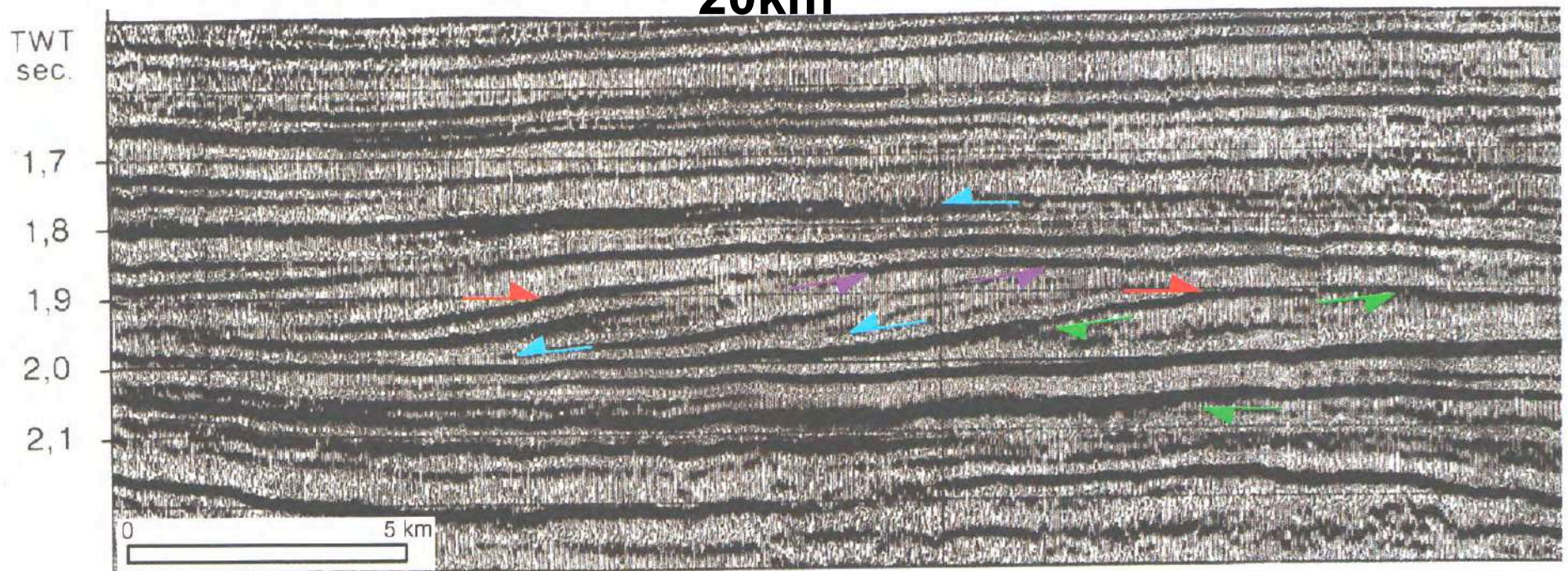
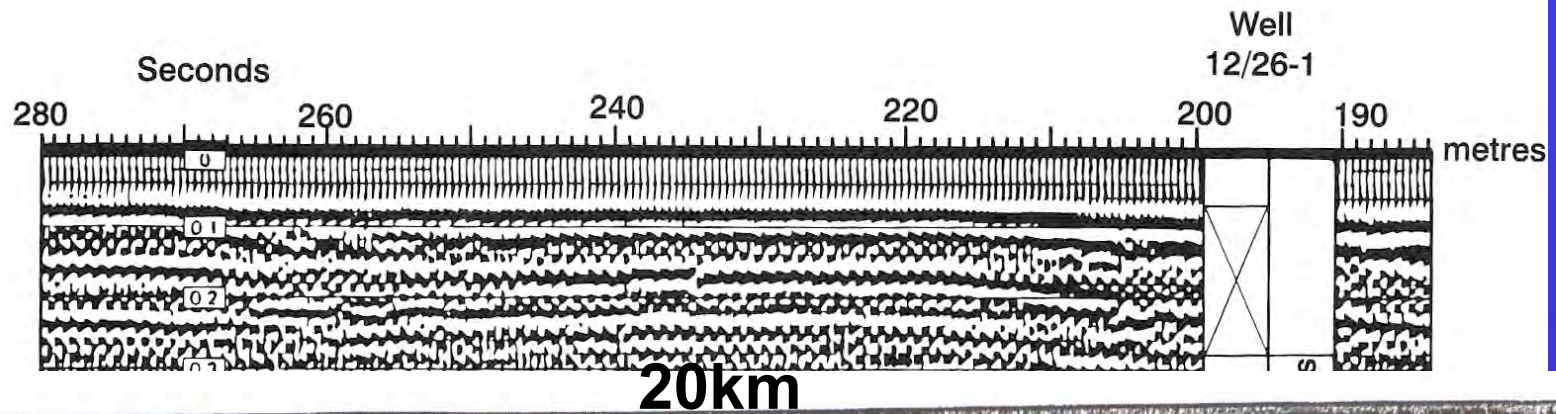
Vail et al 1977

SISMIQUE

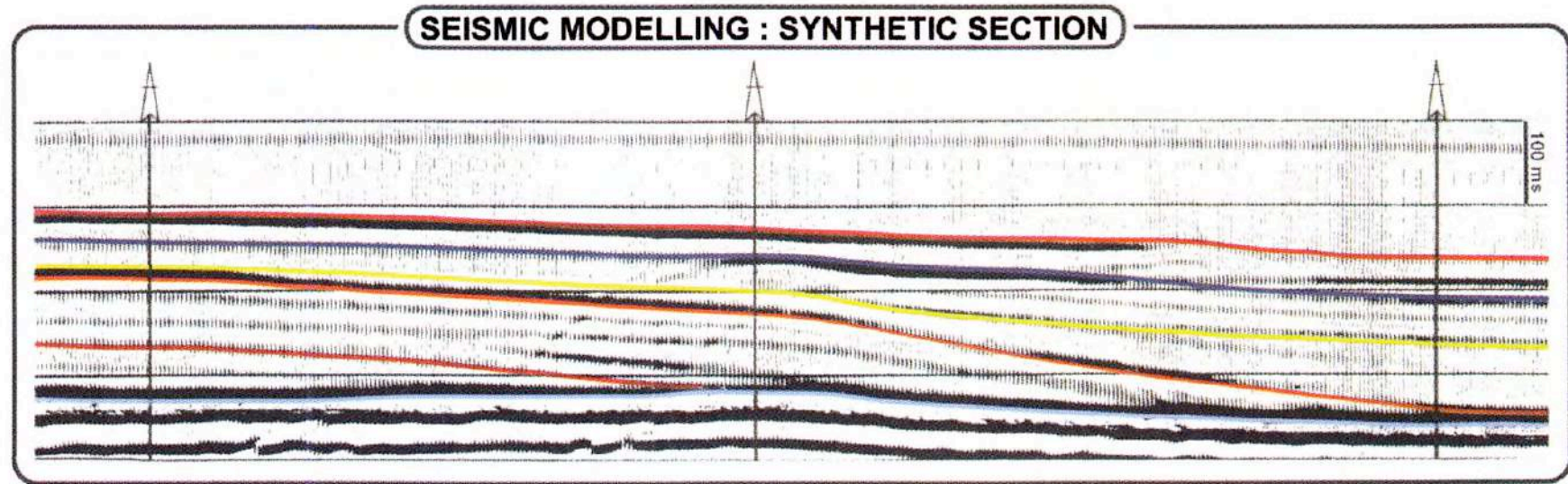
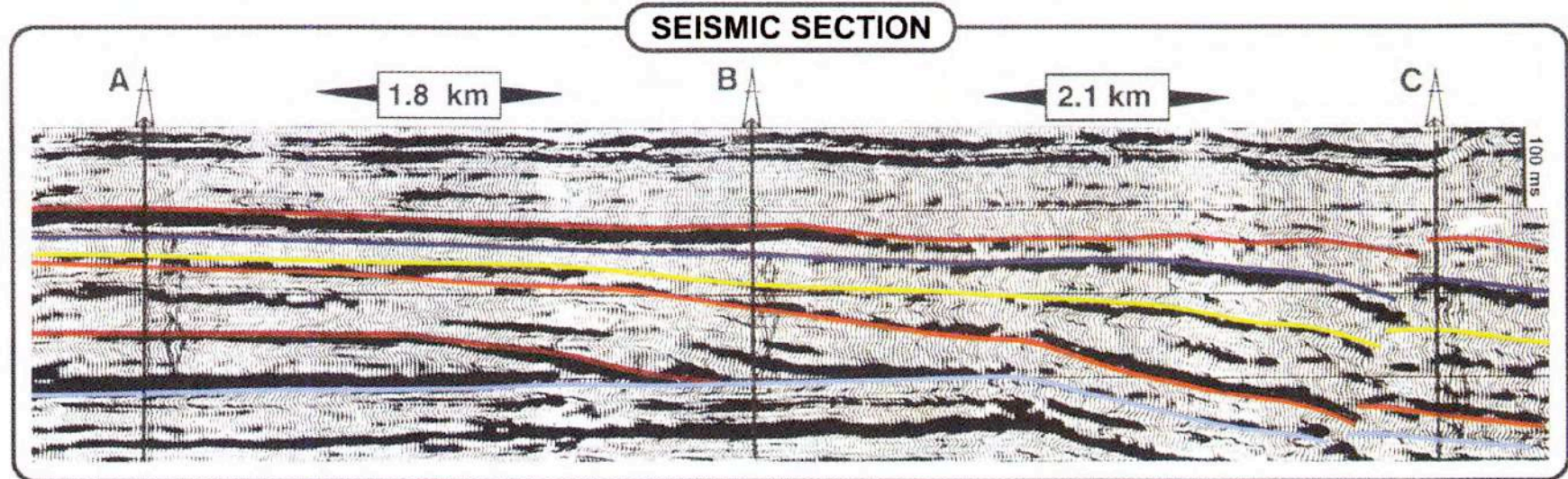




McQuillan et al. 1894



5km



77°

76°

75°

74°

73°

72°W

41°N

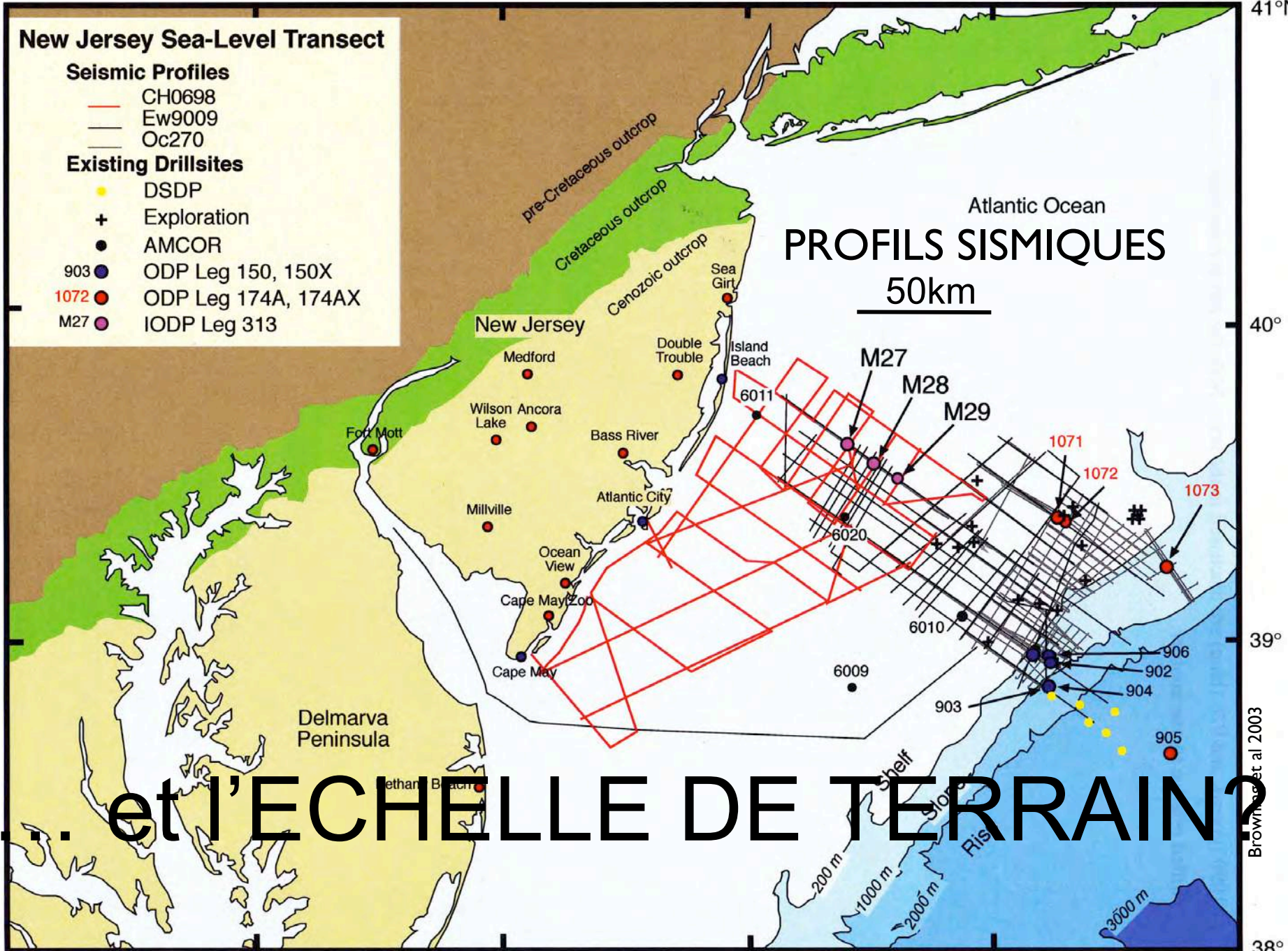
New Jersey Sea-Level Transect

Seismic Profiles

- CH0698
- Ew9009
- Oc270

Existing Drillsites

- DSDP
- + Exploration
- AMCOR
- 903 ● ODP Leg 150, 150X
- 1072 ● ODP Leg 174A, 174AX
- M27 ● IODP Leg 313



PROFILS SISMIQUES

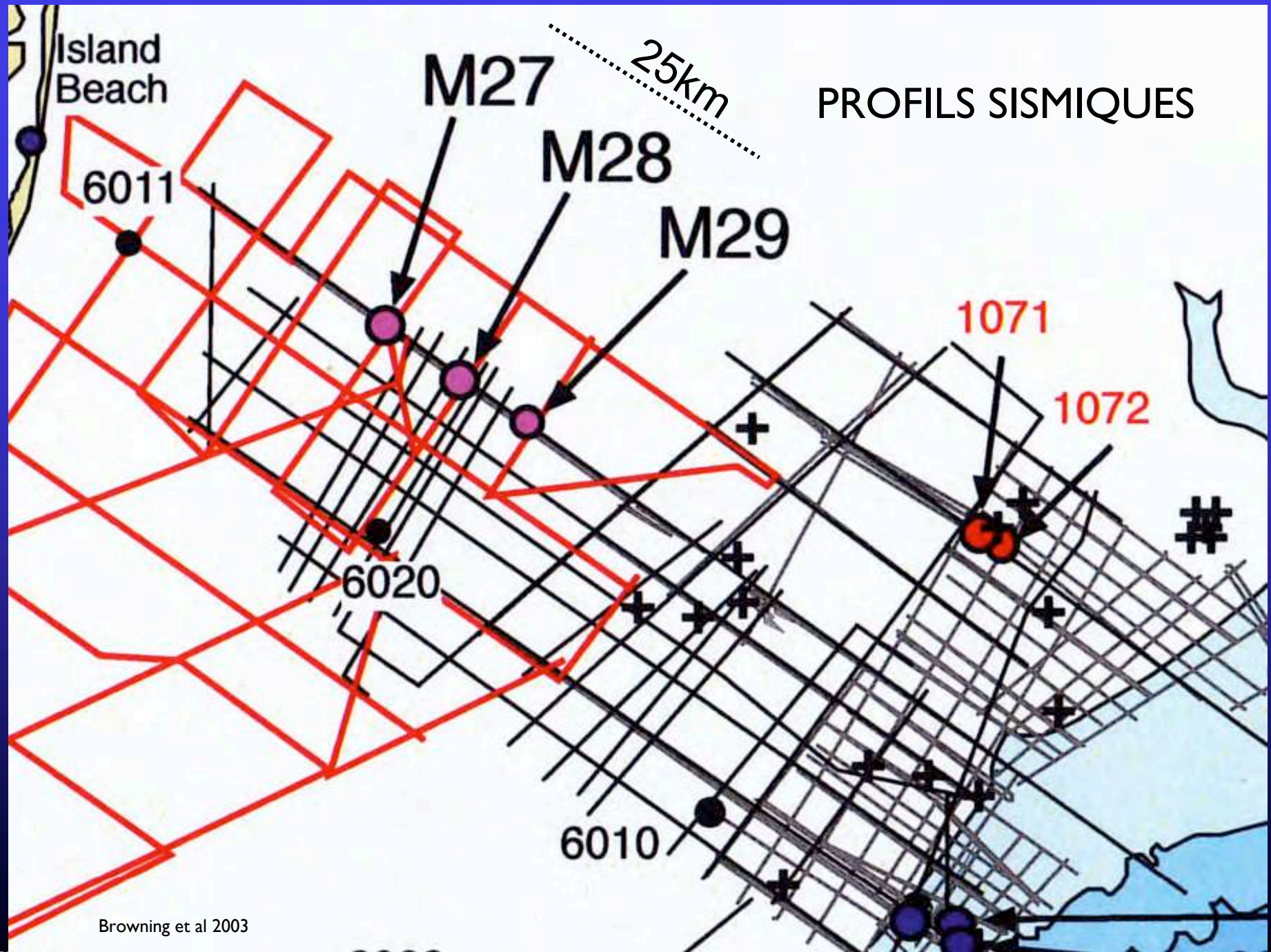
50km

et l'ECHELLE DE TERRAIN?

Brown et al 2003

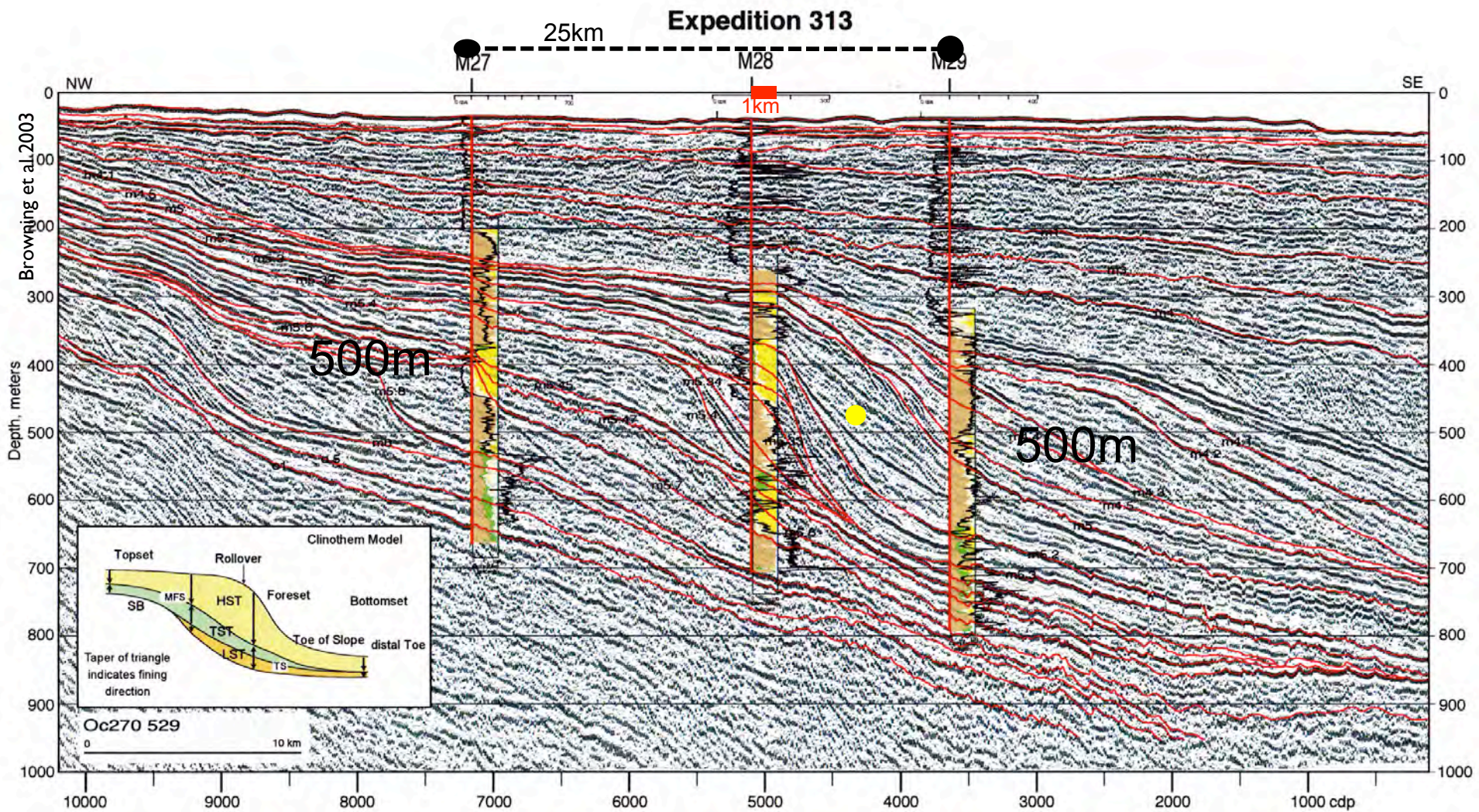
38°

PROFILS SISMIQUES



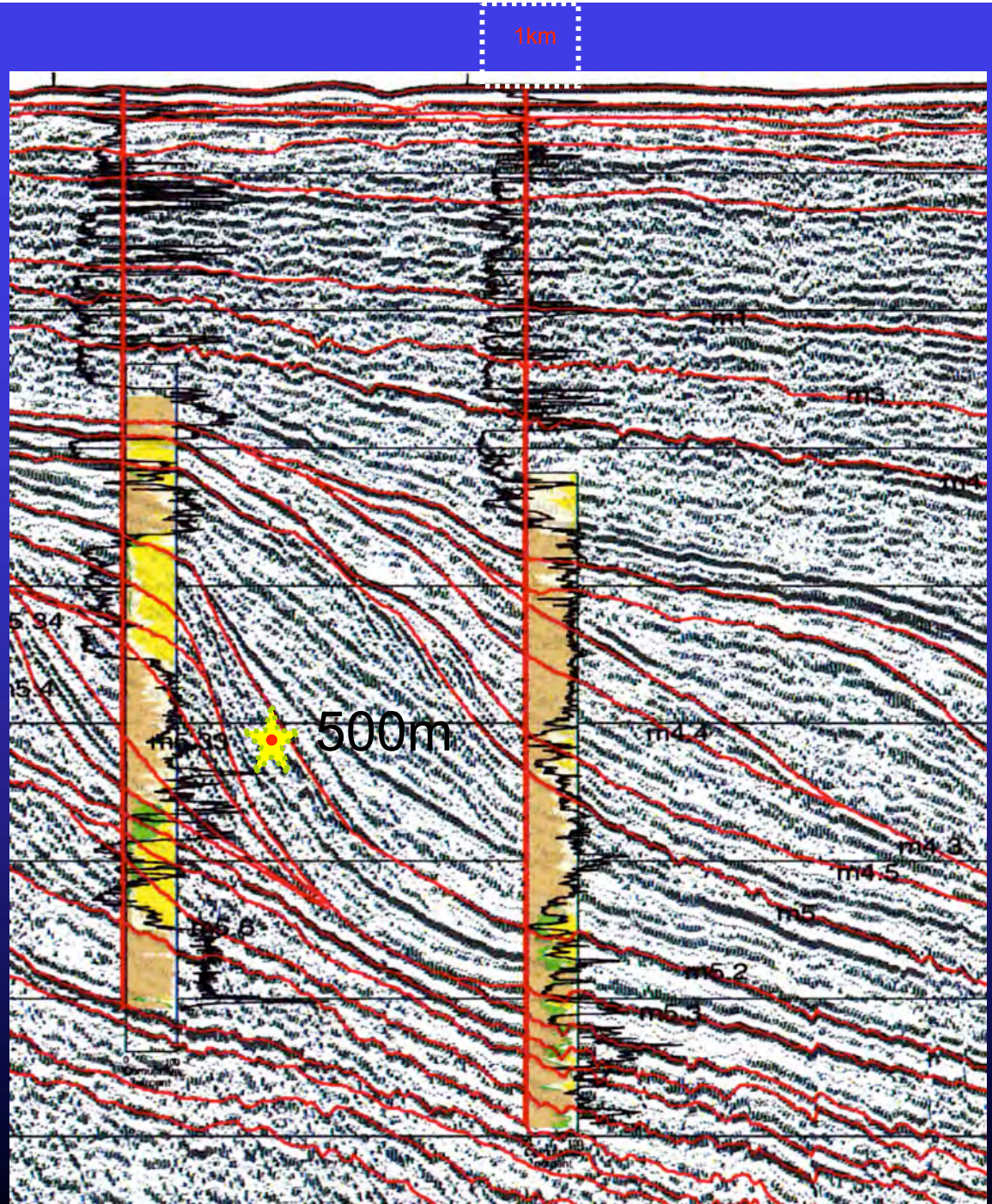
Browning et al 2003

PROFILS SISMIQUES



Eocene-Miocene [...25-11...Ma] à 0.5Ma près

Taux de séd : < 0.1mm/an (à 1mm/an ou 1km/Ma => 14km?) DISCONTINU

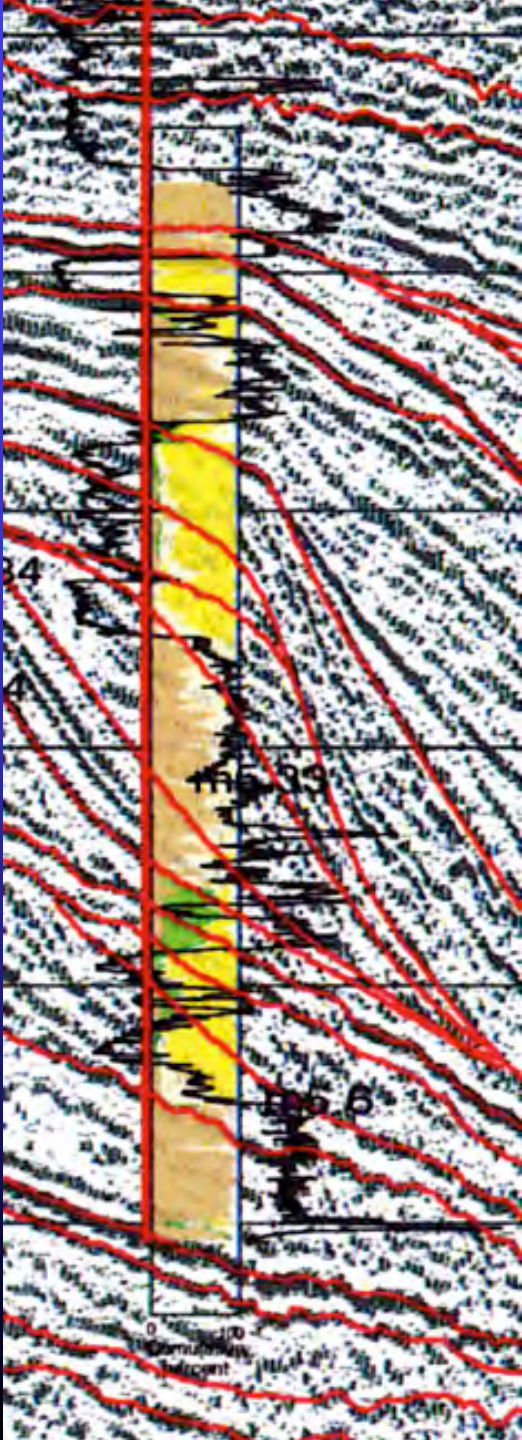


1km

position 'moderne'

- . pas de plissements
- . pas de charriages
- . pas d'érosion
-

500m



Browning et al. 2003

I. GEOMETRIE => 2. TEMPS REL/ABS => 3. CINETIQUE

Historiquement càd pendant plus de 150 ans

I. TEMPS REL/ABS => 2. GEOMETRIE => 3. CINETIQUE

2. GEOMETRIE

>1960

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

<1800

Ia. TEMPS RELATIF ET Ib. ABSOLU

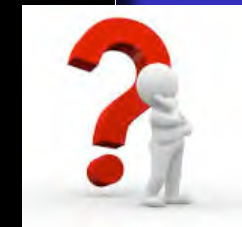
>1900

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

>1980-1990

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle



LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....

$T_{x'}$



T_x



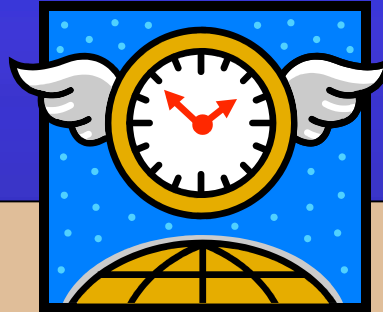
0,5
à
5%

série géologique 'normale' et 'continue'

Préat 2004

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



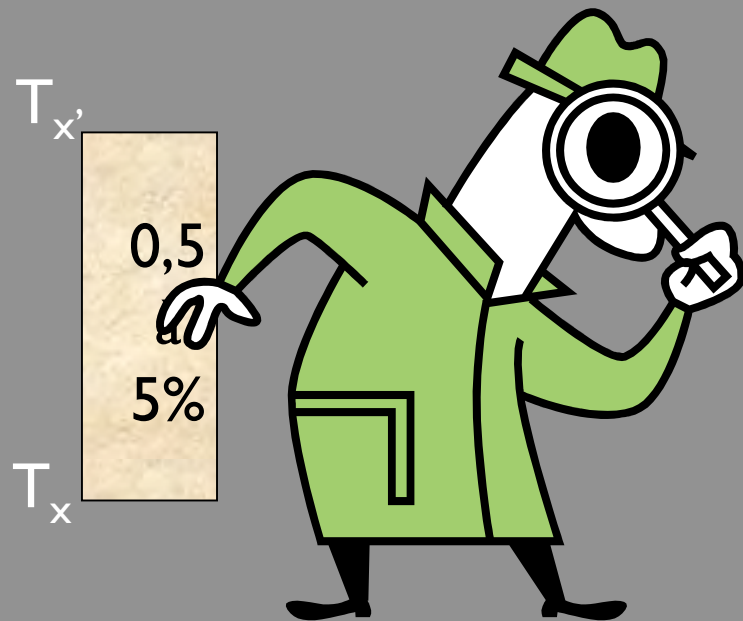
T_x'

0,5
à
5%

Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'



- En est-on sûr? **Oui**
- Est-ce la règle? **Oui**
- Conséquences? **Très nombreuses**
- Pourra t'on en sortir? **Non**
- Depuis quand le sait-on? **>1950**



Les autres disciplines ont également eu leur(s) biais et ont encore leur(s) limite(s) : physique, biologie ...

Physique

- **l'éther** ou hypothétique support matériel des vibrations d'une onde électromagnétique (comme la LUMIERE) n'existe pas (expériences de Michelson-Morley, années 1880' avec prix Nobel de physique en 1907 pour Michelson).
- **principe d'indétermination d'Heisenberg (1927)** impossibilité de déterminer A LA FOIS la position et la vitesse d'une particule (cf mécanique quantique). Toujours vrai.

Biologie

- **génération spontanée** il faut attendre Pasteur (1862) pour clore un débat de 2500 ans initié par Aristote (*'les poissons... mollusques... insectes... naissent spontanément de la vase, de la rosée ou de la neige'*). Plus tard : ... *les mouches de la viande*

Géologie

- **'ponts transcontinentaux'** et autres explications fantaisistes avant l'établissement de la tectonique des plaques (1968).



Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!



1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

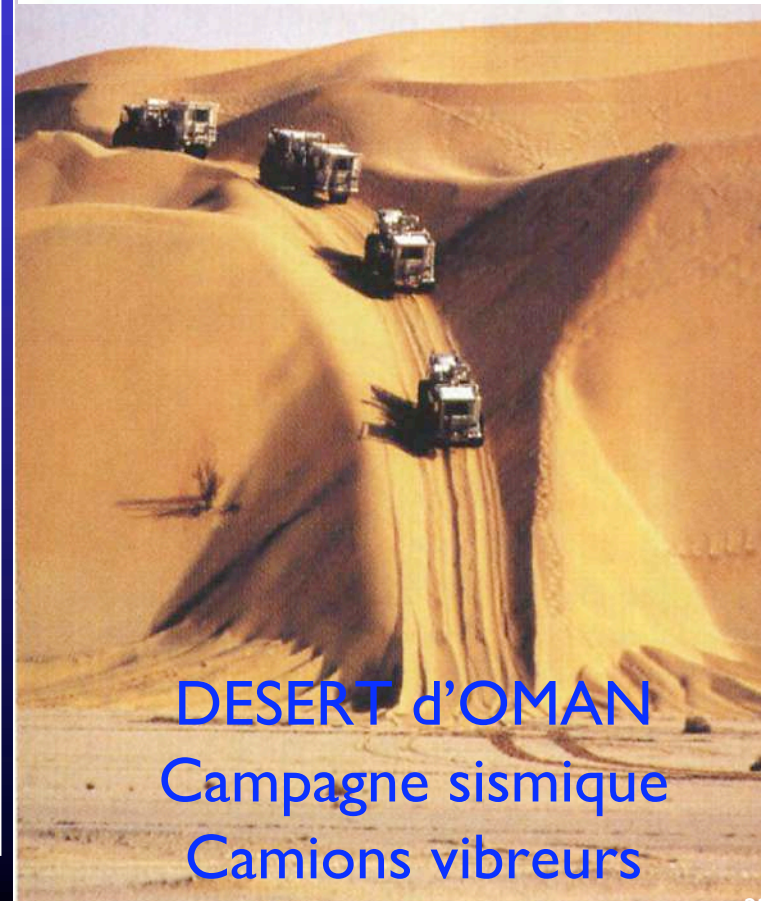
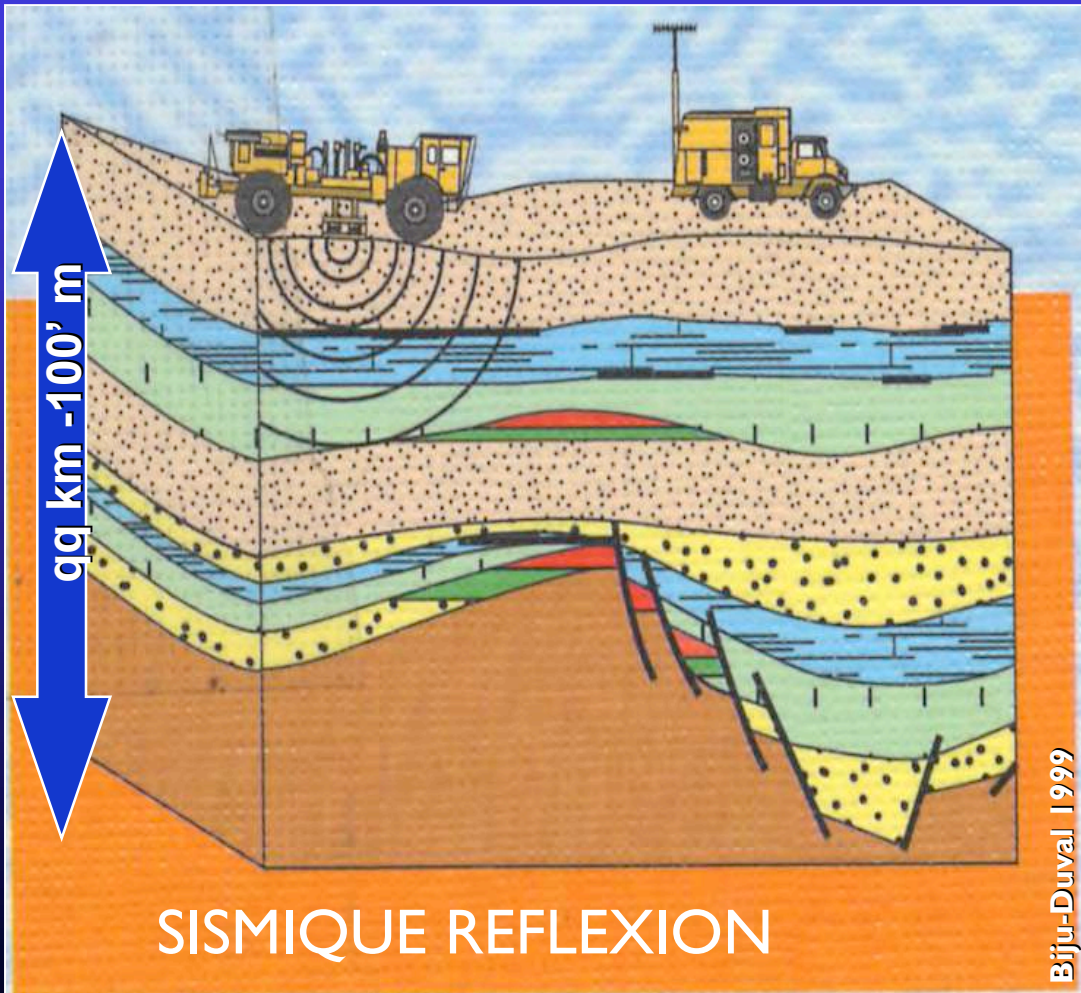
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

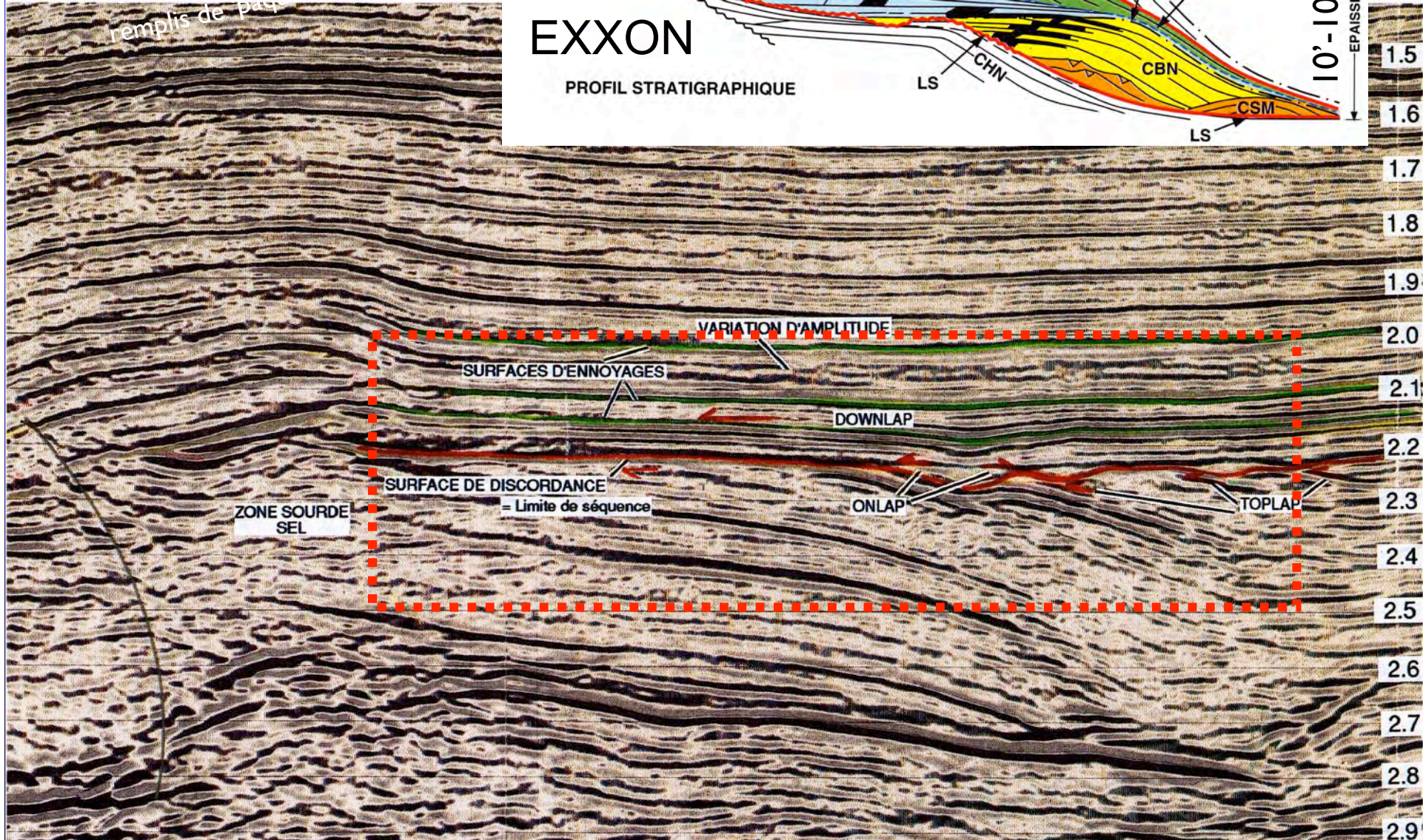
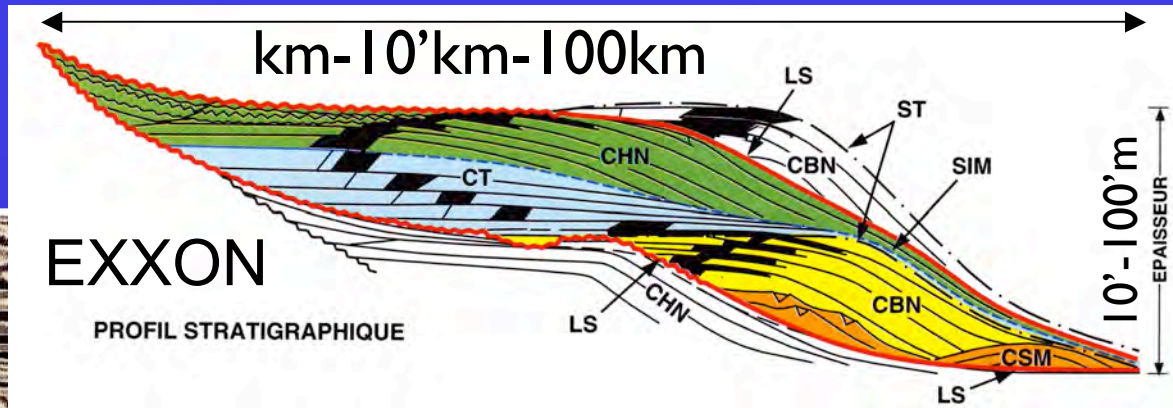
3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LES BASSINS SEDIMENTAIRES



les corps sédimentaires
sont des **sigmoides**
remplis de 'paquets' = cortèges

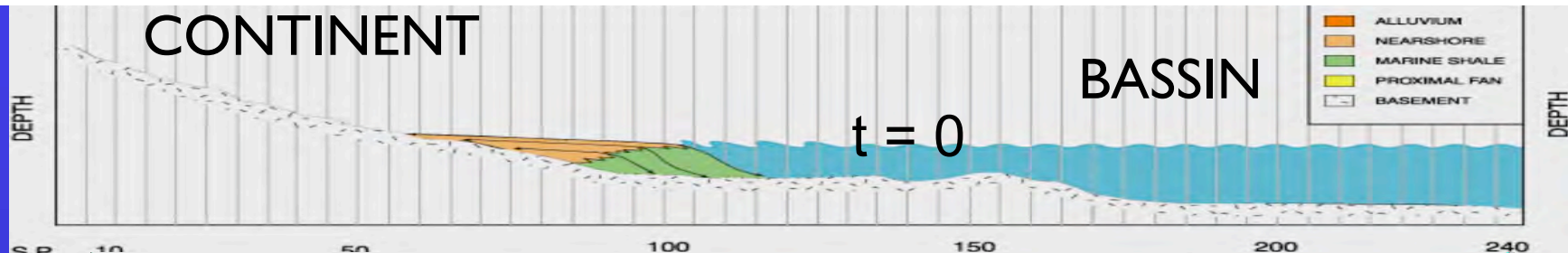


100'km x qq km

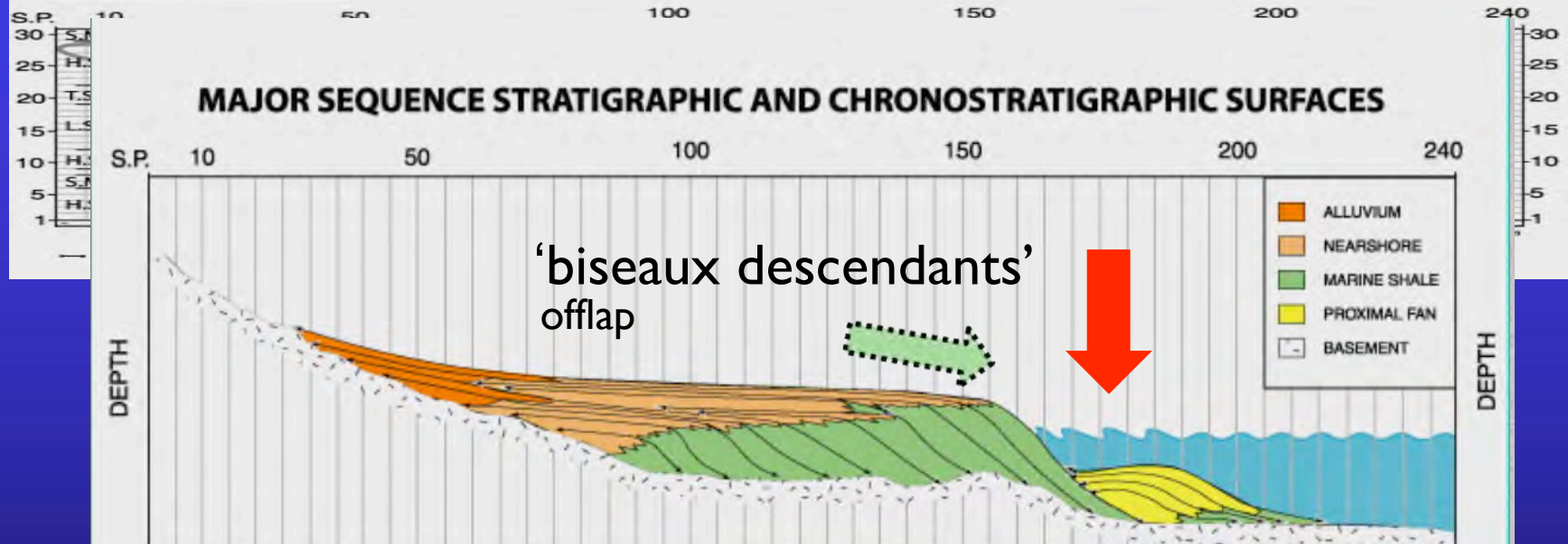
CONTINENT

BASSIN

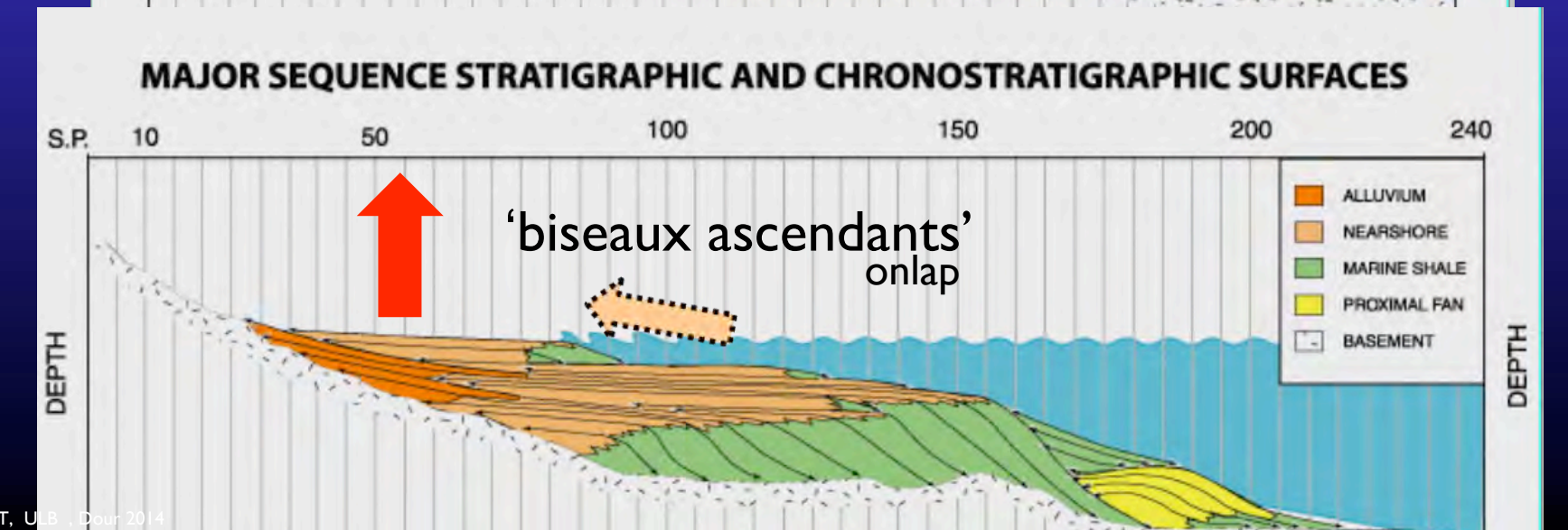
$t = 0$



MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES

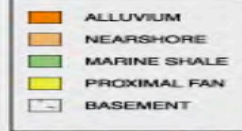


MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES

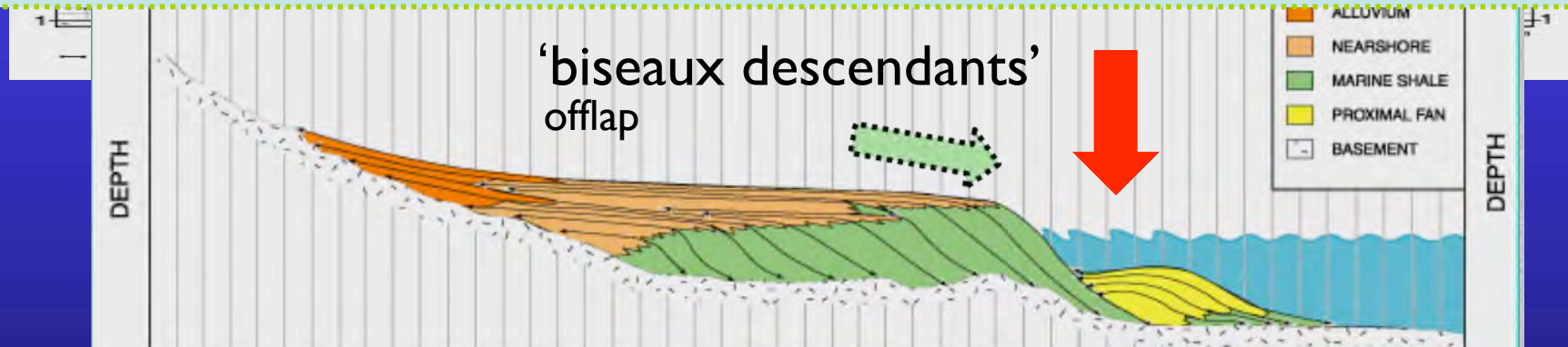


CONTINENT

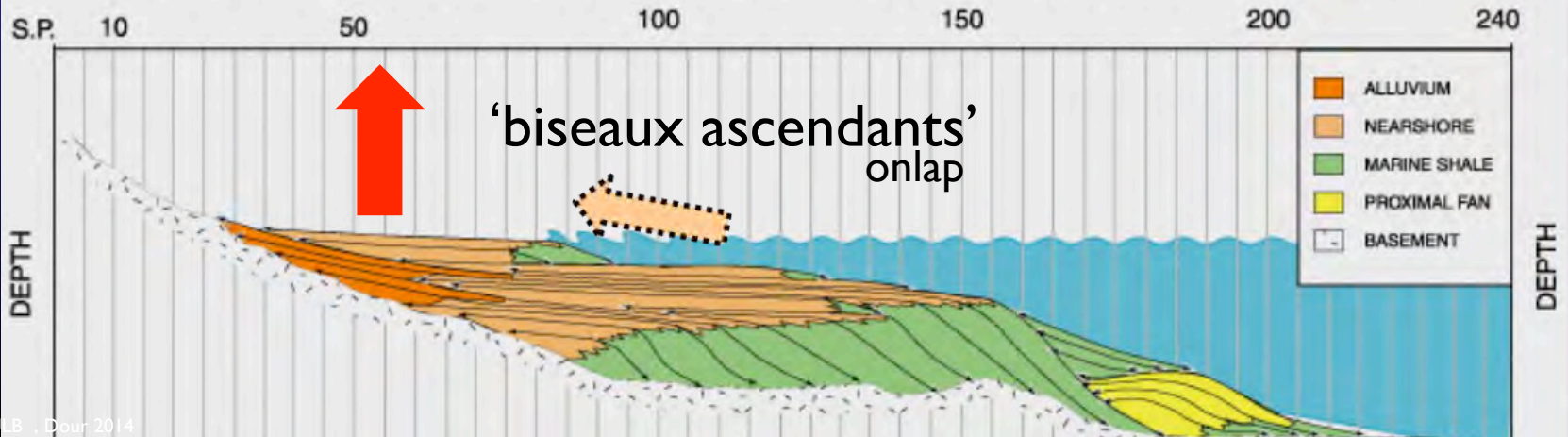
BASSIN



ISOCHRONES = OBLIQUES

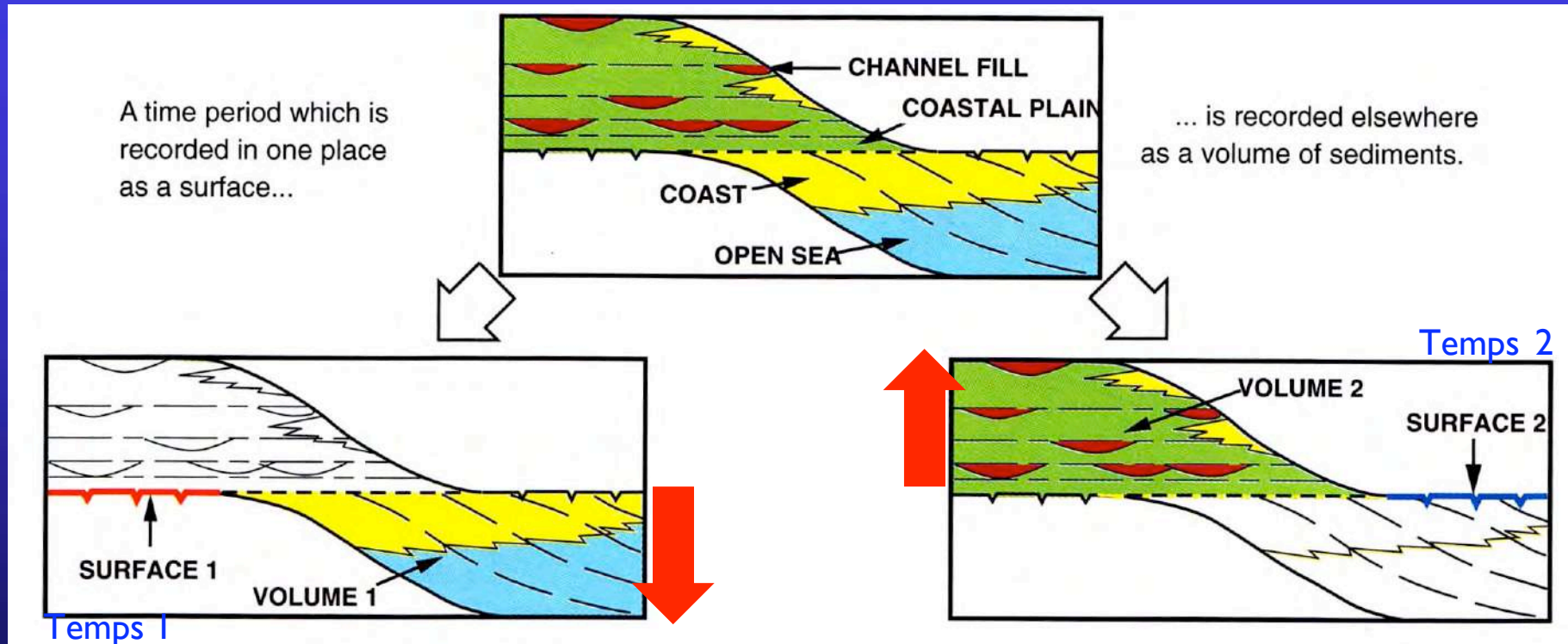


MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES



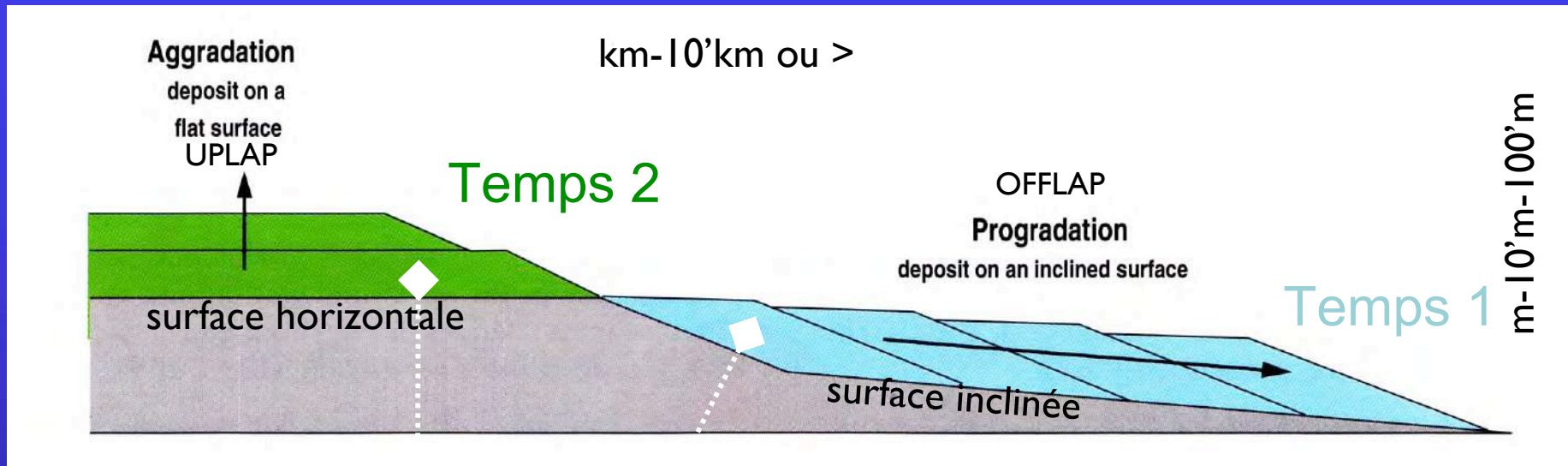
FRACTIONNEMENT SPATIAL DES SEDIMENTS

Surface \gg Volume



Homewood et al. 2000

LE 'TEMPS' S'ENREGISTRE SOIT SOUS FORME DE **SEDIMENT** (ROCHE), SOIT SOUS FORME DE **SURFACE** (DISCONTINUTE DANS LA ROCHE)



UNITE GENETIQUE ou STRATIGRAPHIQUE

délimitée par deux surfaces isochrones
successives d'origine semblables

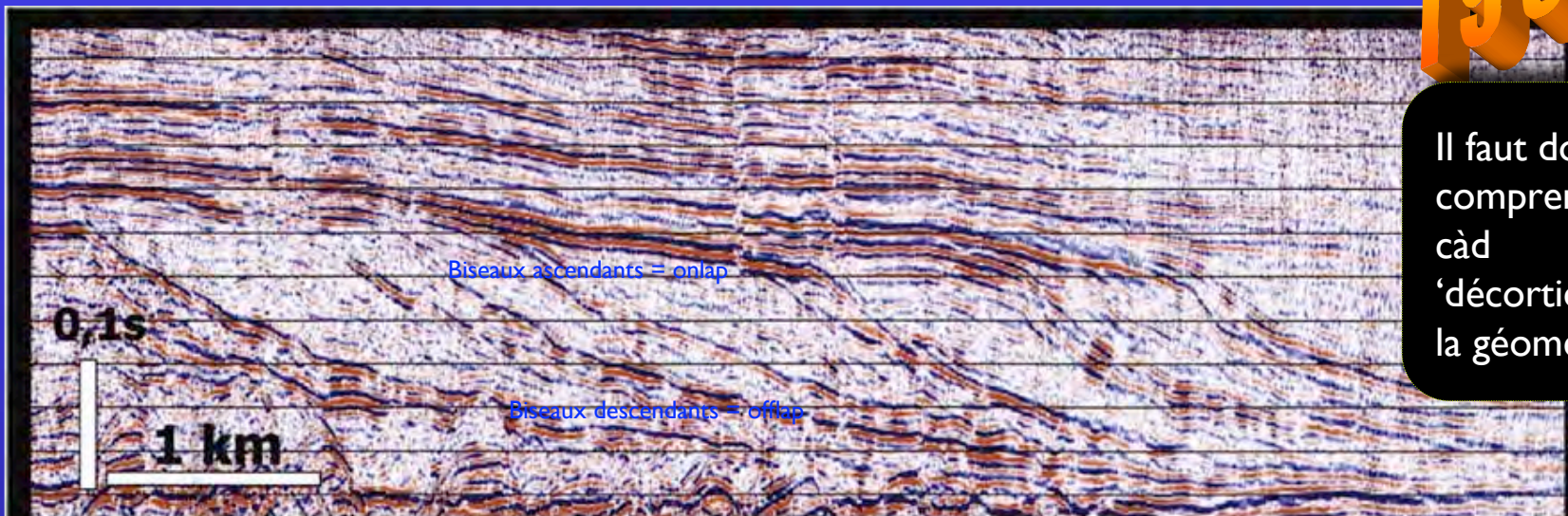
Epaisseur : métrique à décamétrique

Durée : 10 000 à 100 000 ans

Observation : sismique, diagraphie, rarement terrain

1990'

Il faut donc comprendre càd 'décortiquer' la géométrie

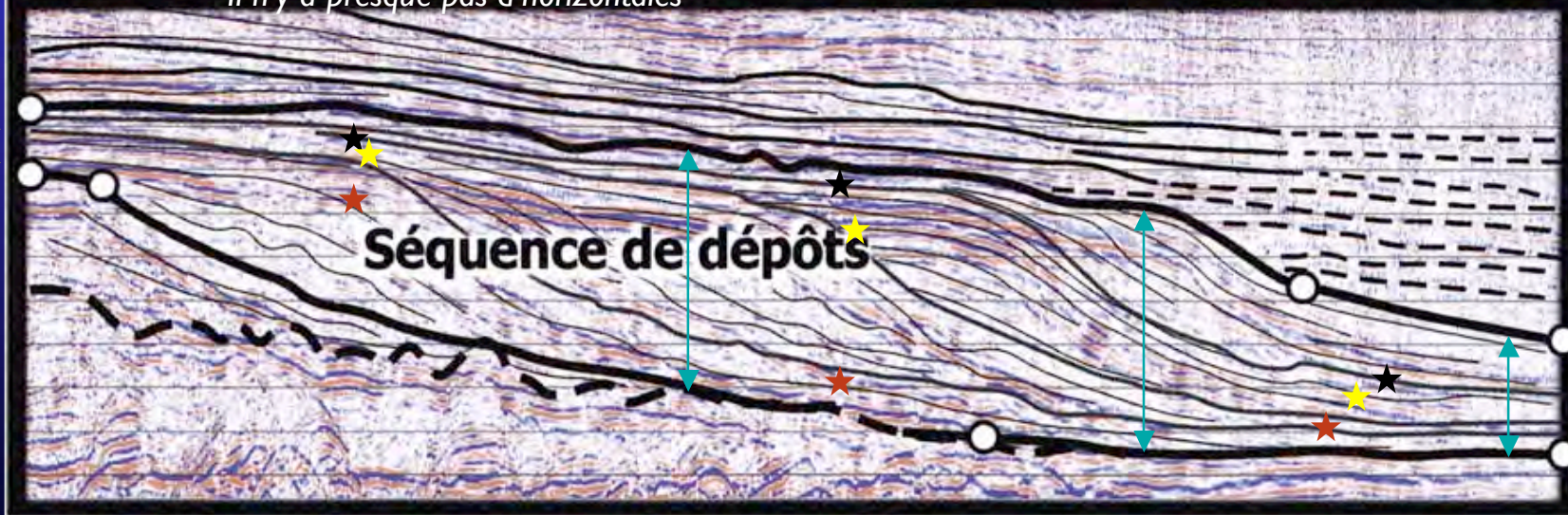


Les lignes temps (isochrones) sont obliques

Il n'y a presque pas d'horizontales

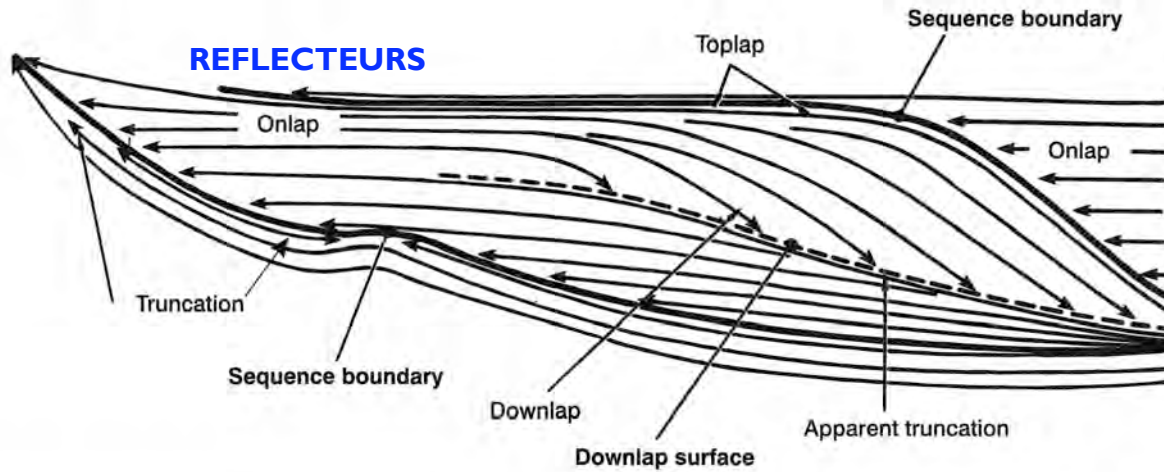
★★★

0.5 à 3 Ma



Merzeraud 2009

← Δ Epaisseur(s) 7km Sections ≠ →

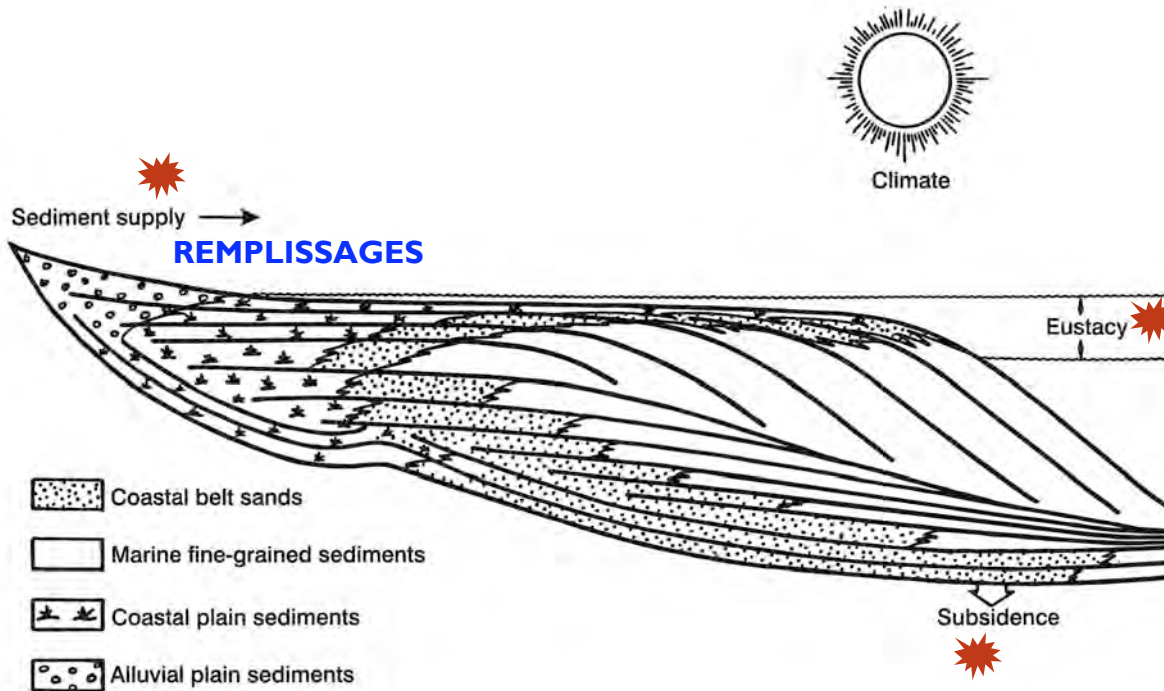


10'-100'm

PF

pas profond

le plus souvent incomplet...



Bassin

profond

$$\Delta NMr = \Delta NMa$$

Subsidence Apports

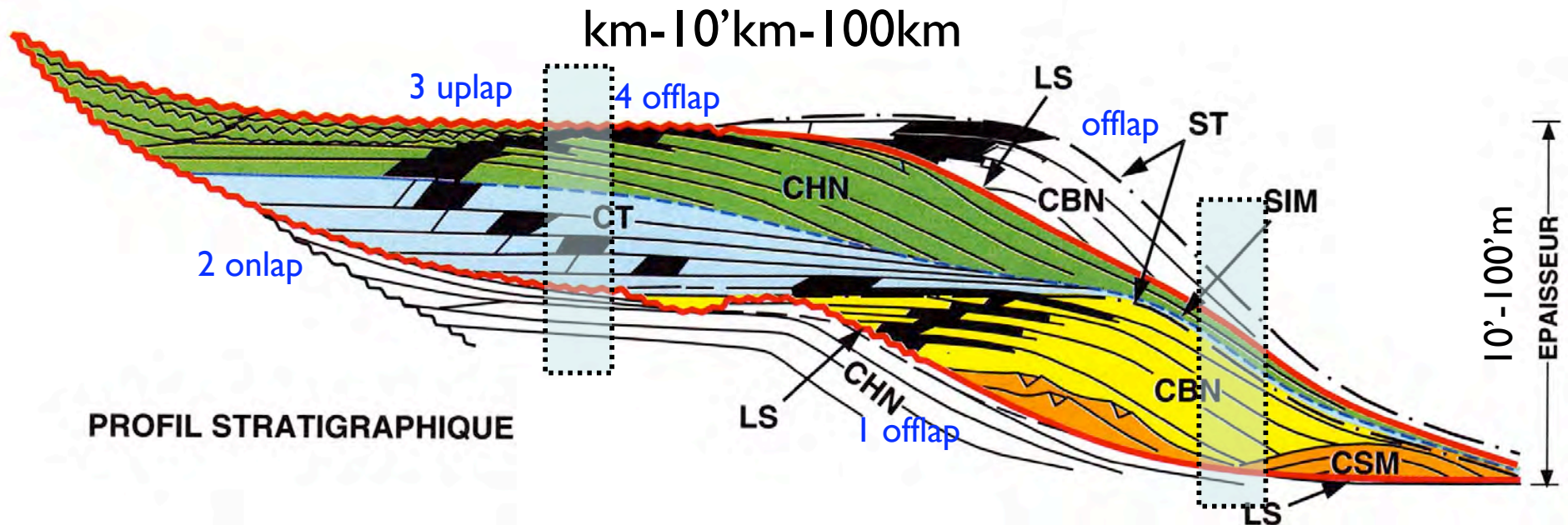
Vail | 1987

ΔGEOMETRIE

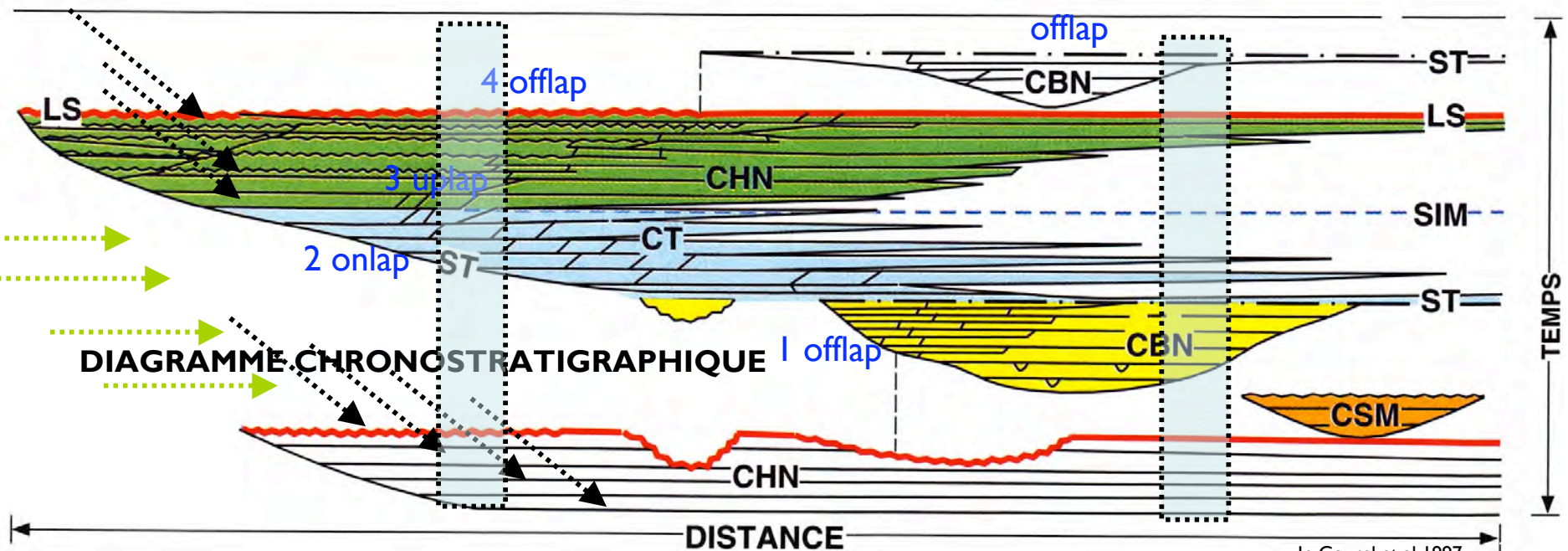
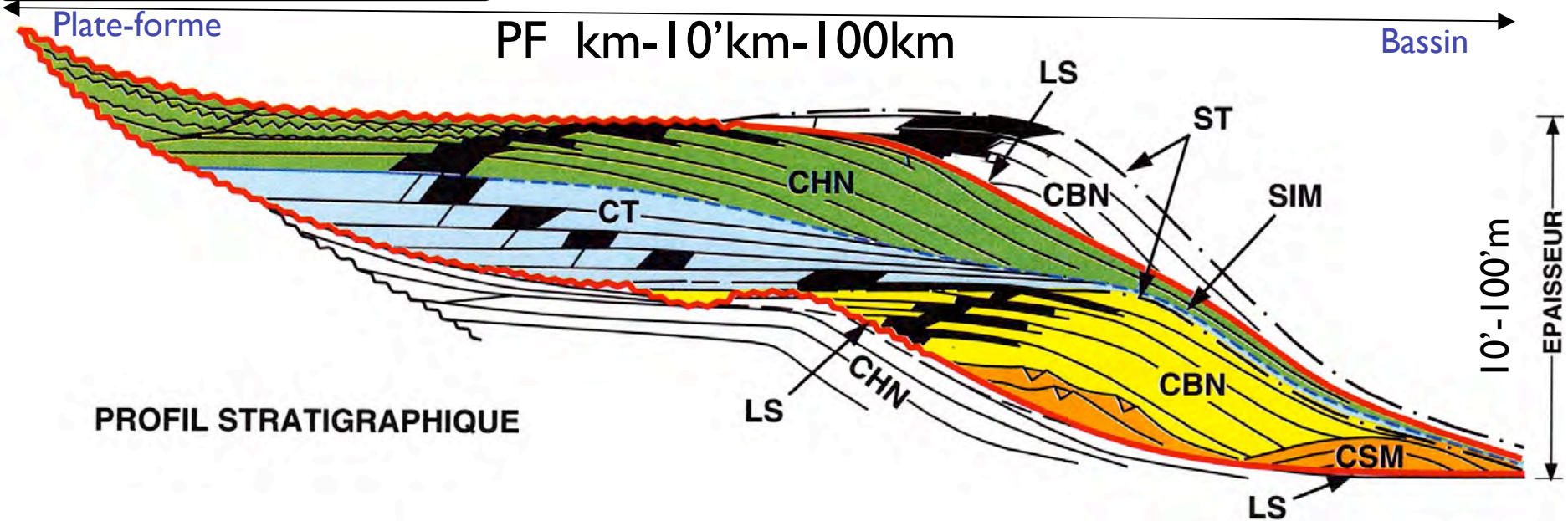
Formation
d'une séquence
0,5-3Ma
Pcm-Actuel...

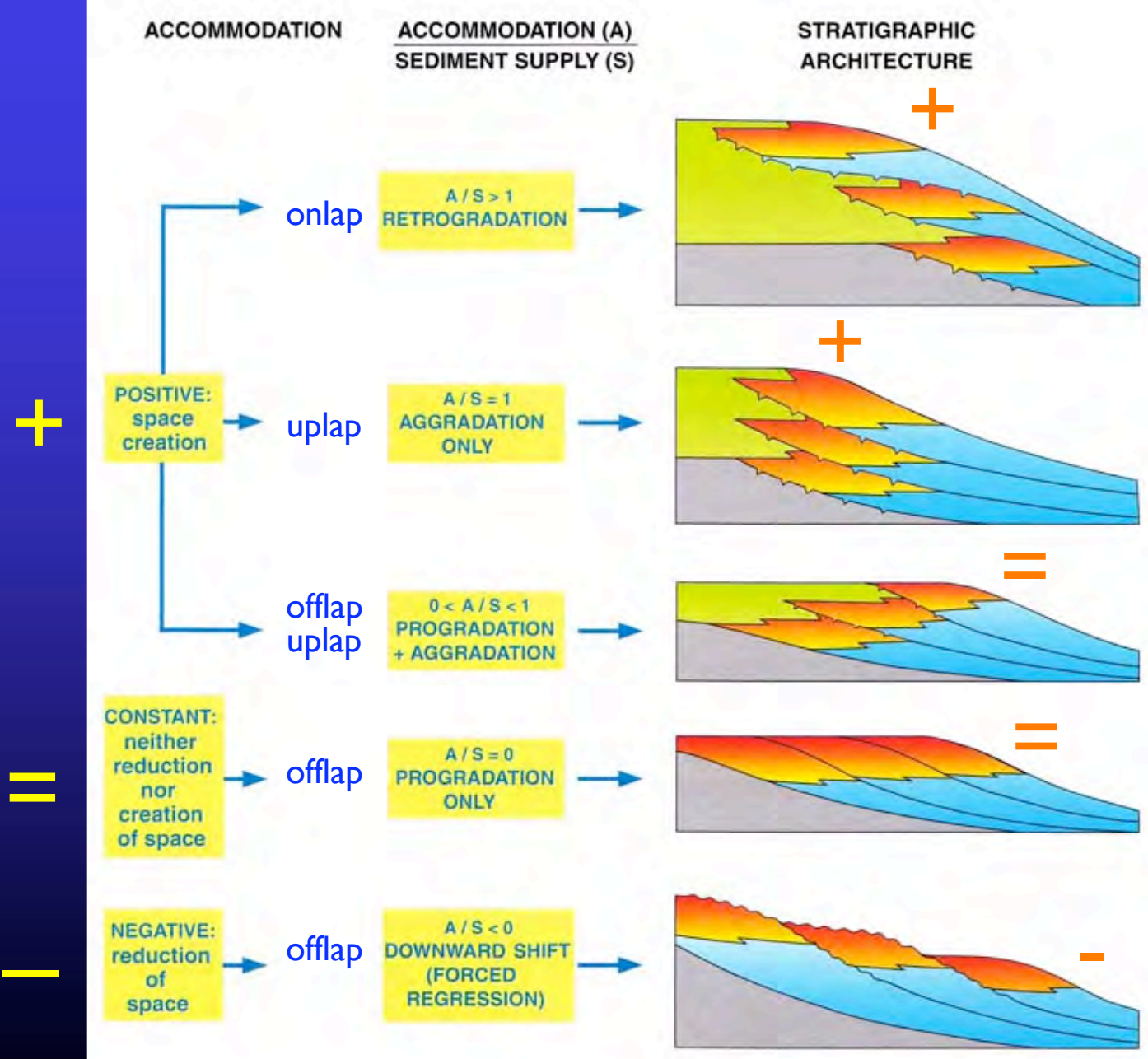
GEOMETRIE

Réflecteurs
sismiques
(Sismostratigraphie)
Exxon



Empilements d' UNITES GENETIQUES





10' - 100' m

$$\Delta NMr = \Delta NMa$$

Subsidence Apports

↓
△GEOMETRIE

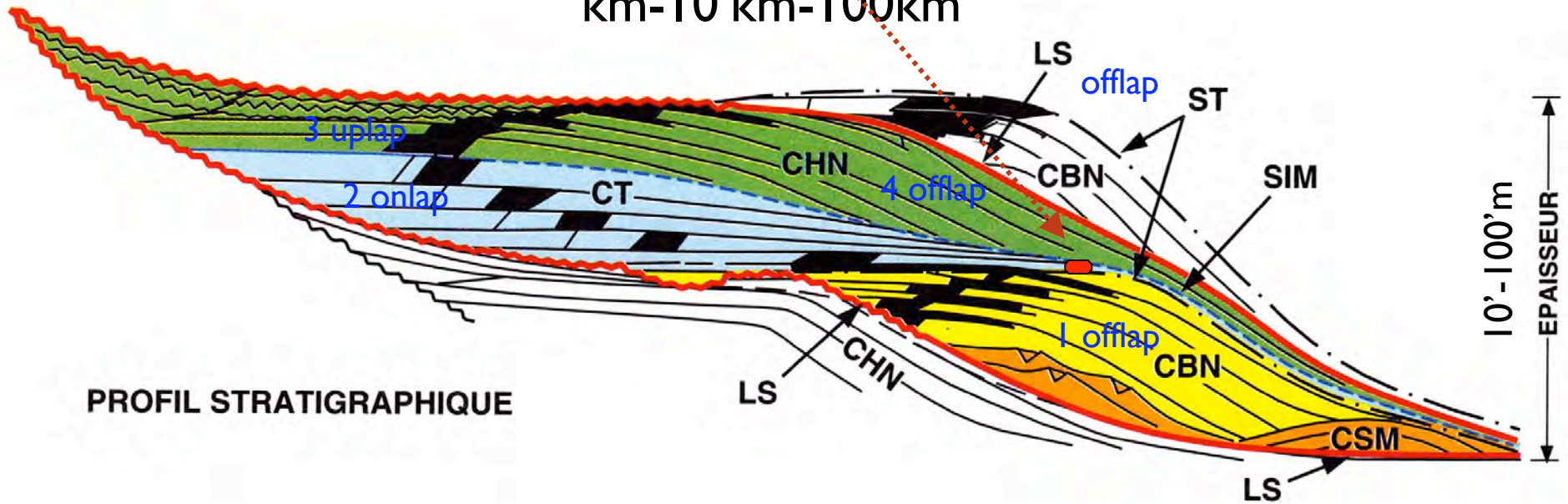
Homewood et al 2000



1990'

Affleurement suivant à?

km- 10'km- 100km





Comment
le voit-on?

presque jamais sur le terrain!

I. GEOMETRIE

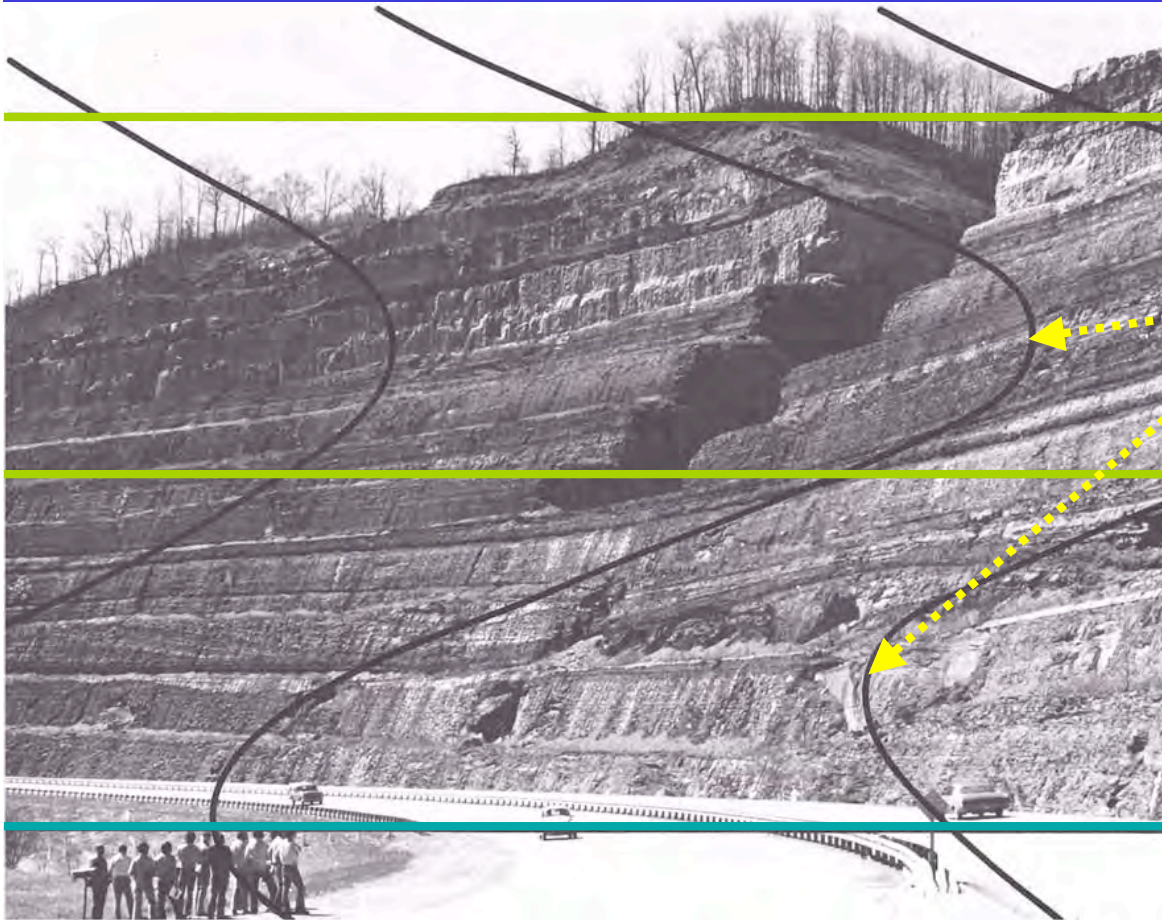
Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

Première (triste) conclusion...

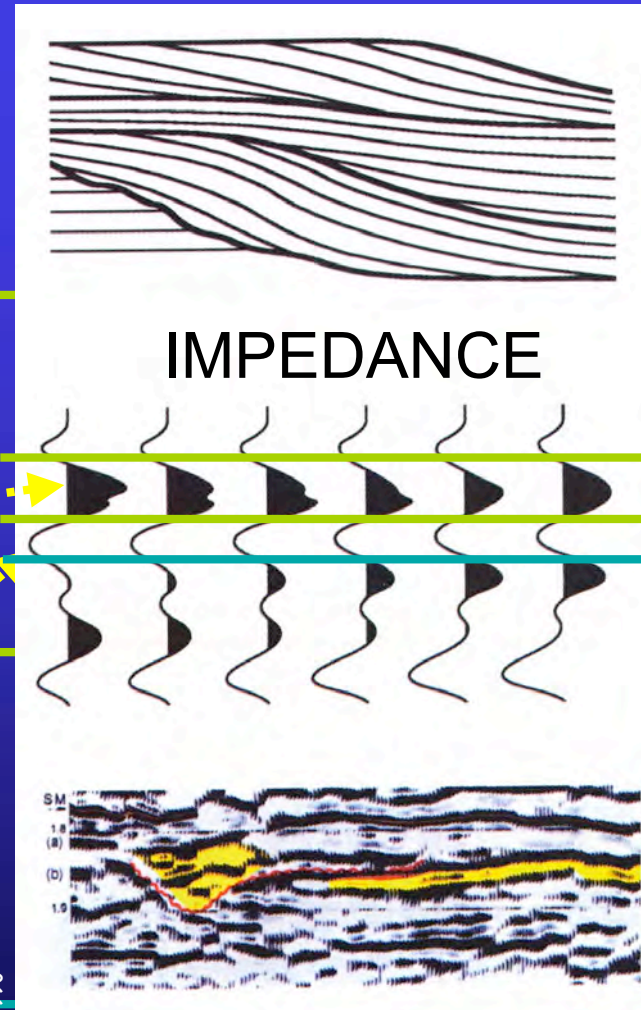
ON NE VOIT DONC PAS GRAND CHOSE (géométrie) SUR LE TERRAIN...



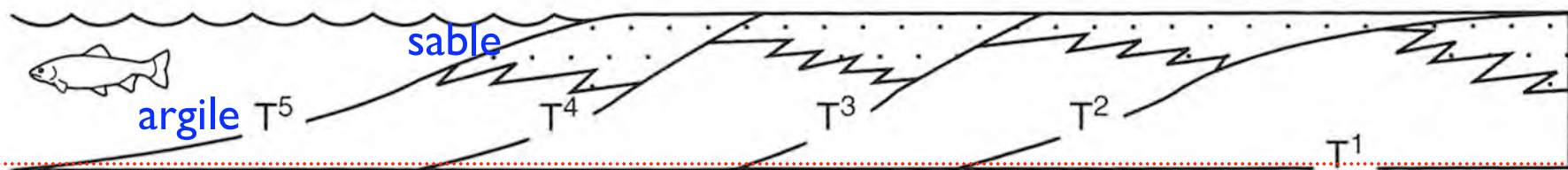
Les lignes temps (isochrones) paraissent horizontales à l'affleurement



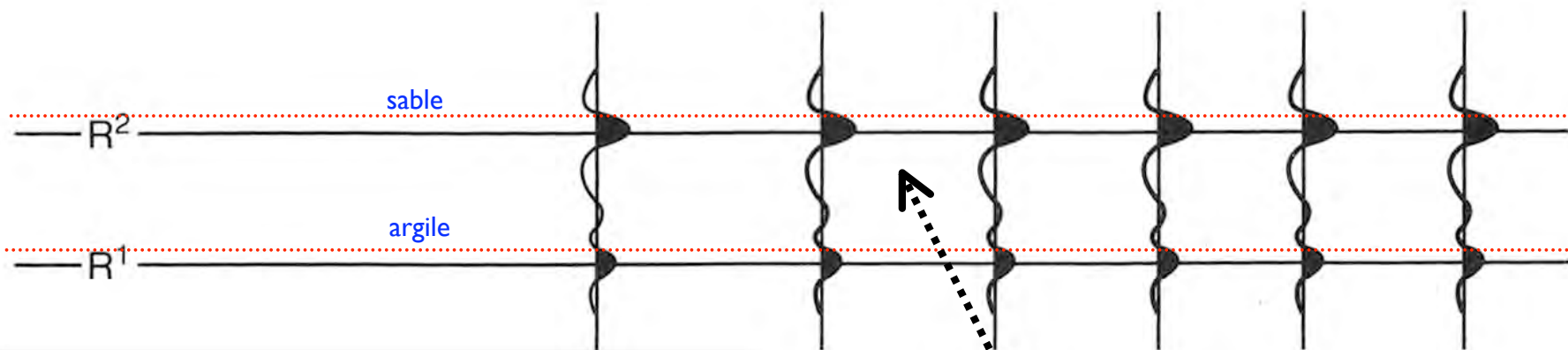
Miall 1990



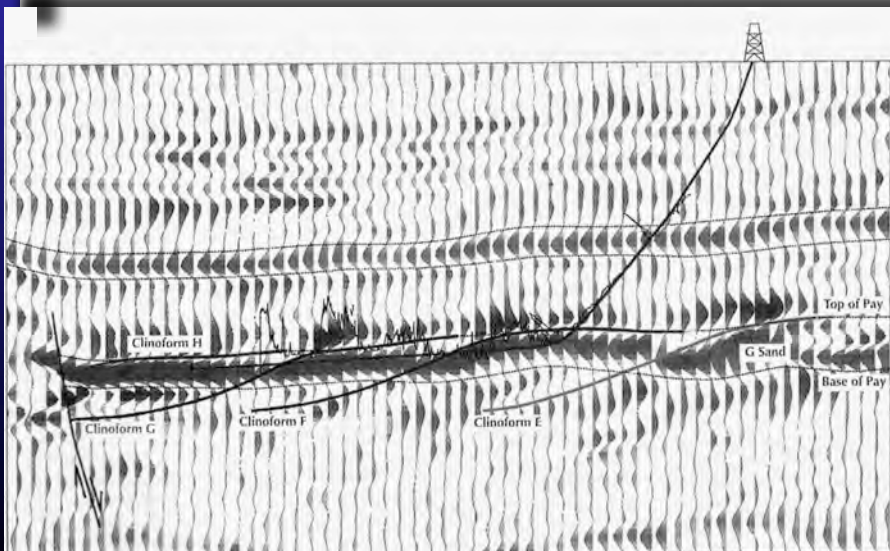
Homewood et al 2000



ON NE VOIT PAS LES VRAIES ISOCHRONES MAIS LES FACIES

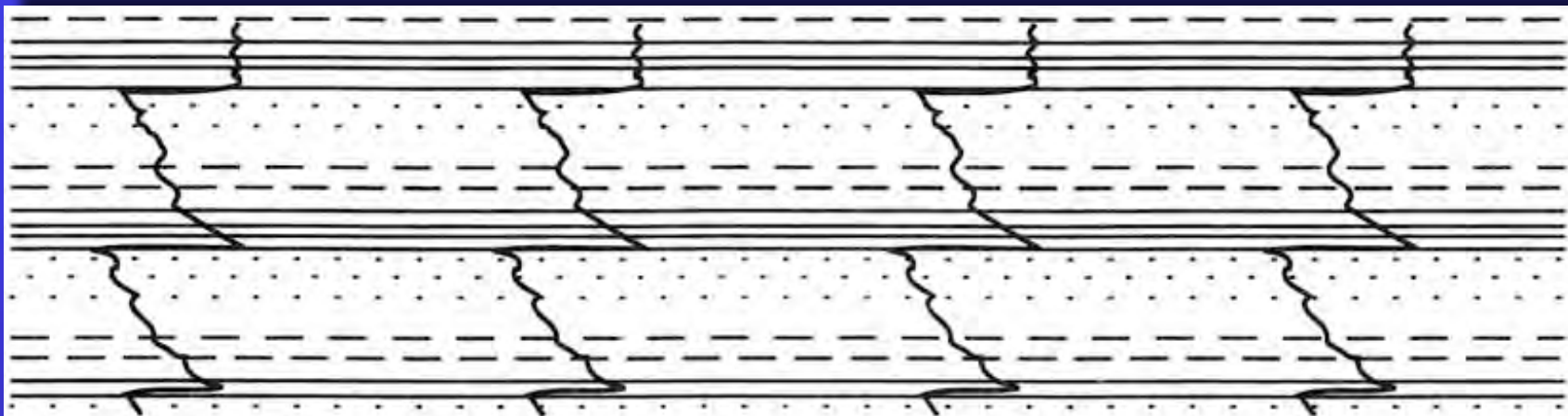


Scelley | 1996

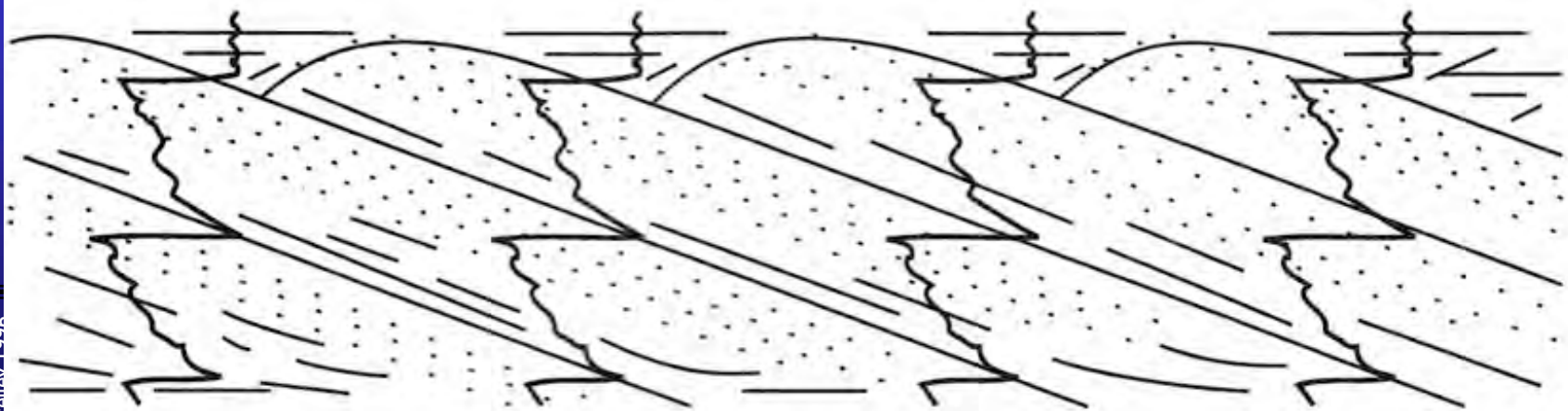


KISS

'Keep It Simple and Stupid'

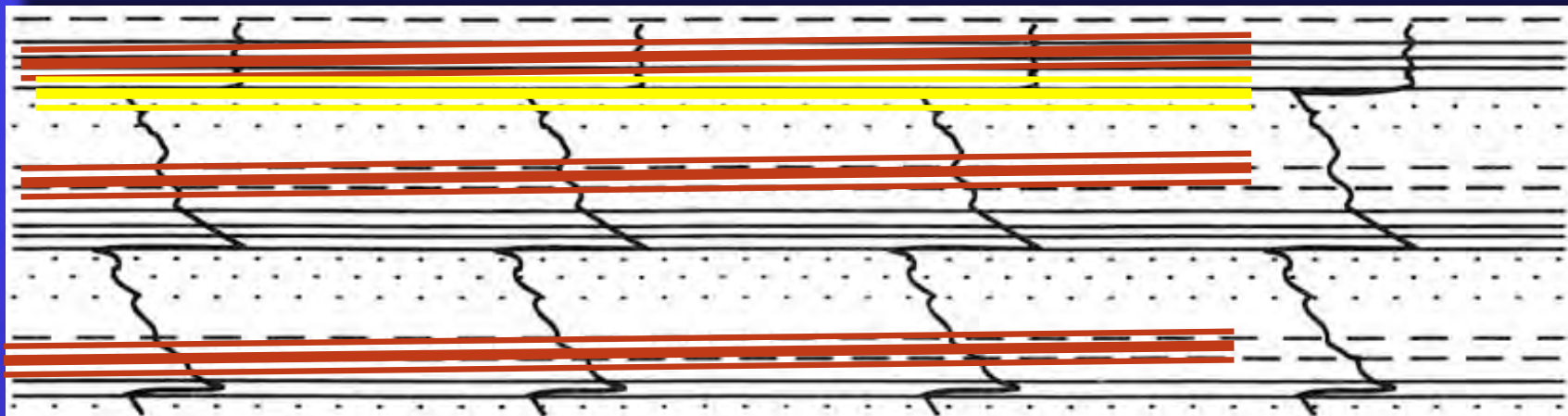


This? (Correlated using the KISS principle)

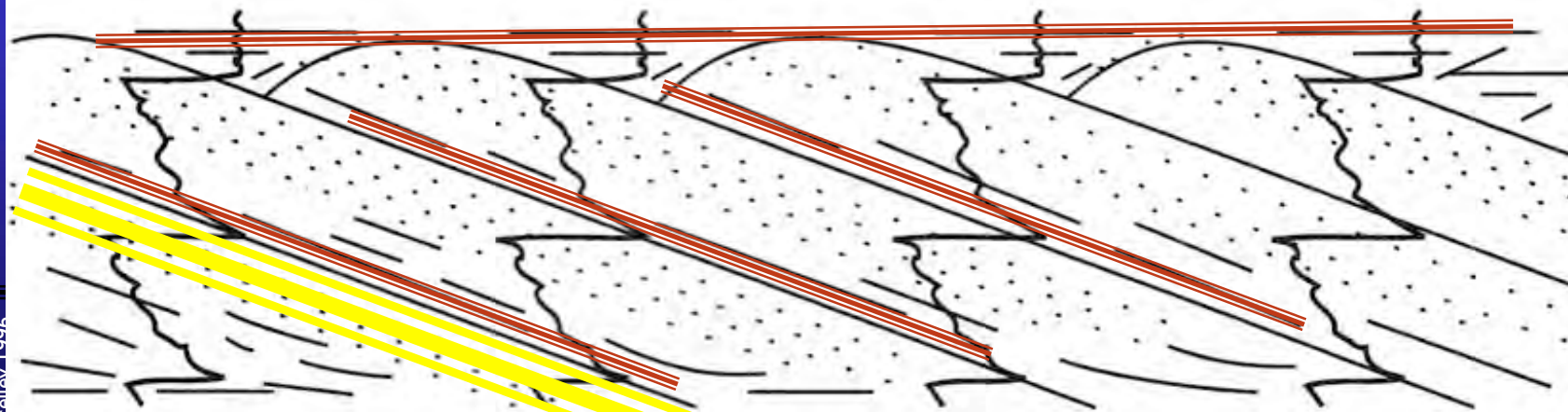


Or this? (Correlated using a model of prograding sand bars)

Scallan, 1996



This? (Correlated using the KISS principle)

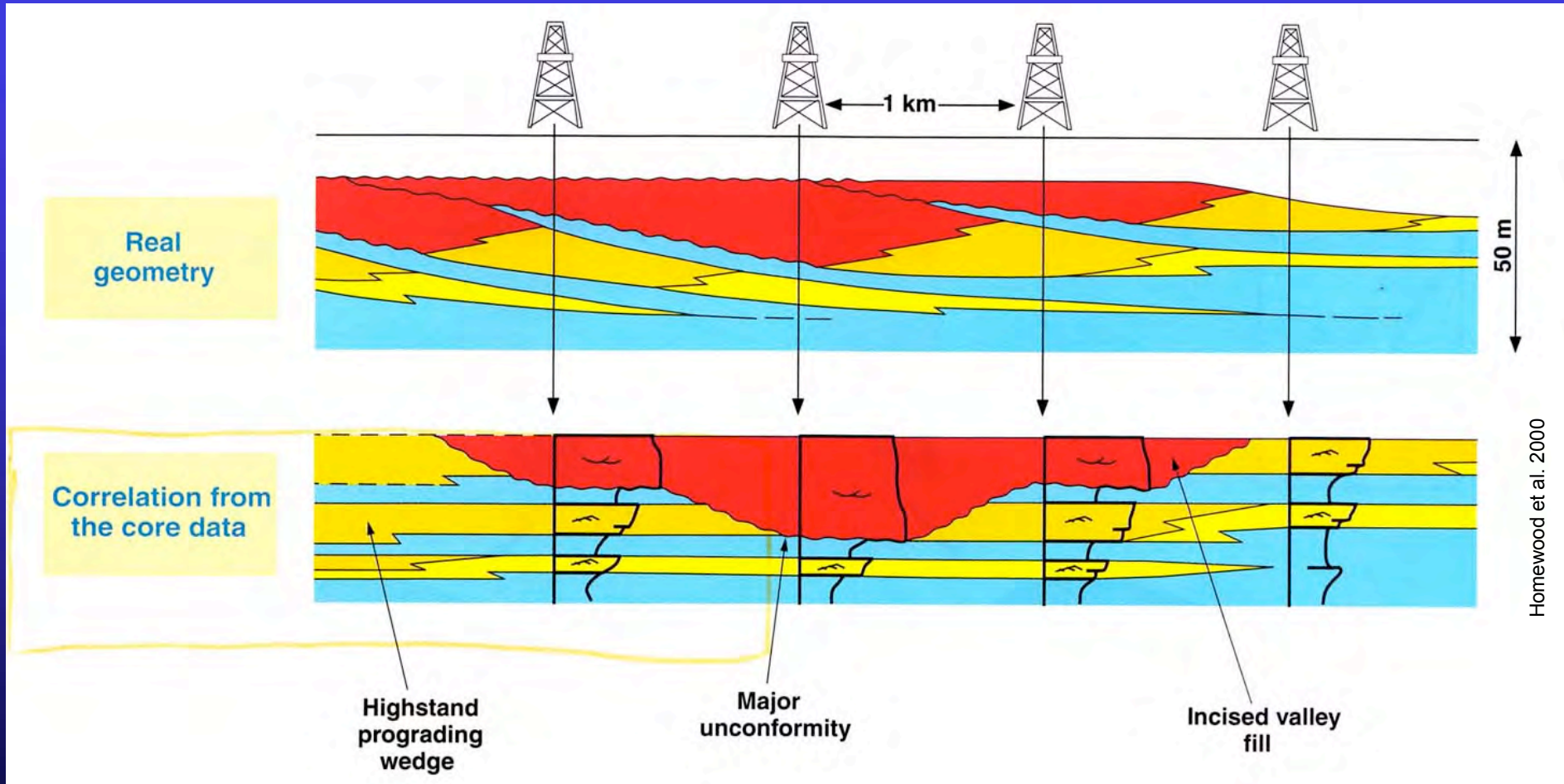


Or this? (Correlated using a model of prograding sand bars)

Scallan, 1996

KISS

‘Keep It Simple and Stupid’



1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchetées')



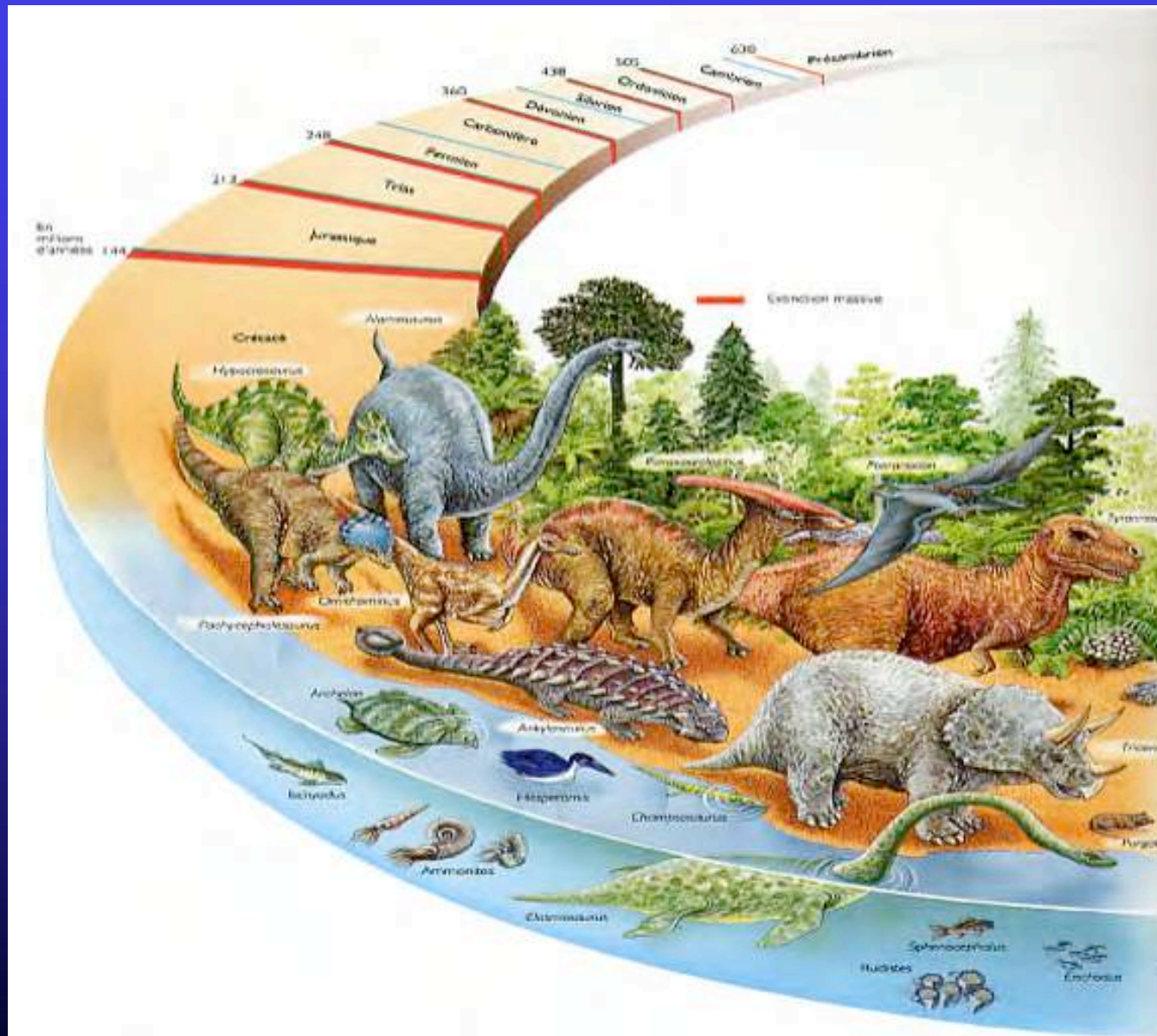
2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LE TEMPS EN GEOLOGIE



4,6 Ga



3,9

12%

0,541 Ga

BIOSTRATIGRAPHIE



Paléozoïque

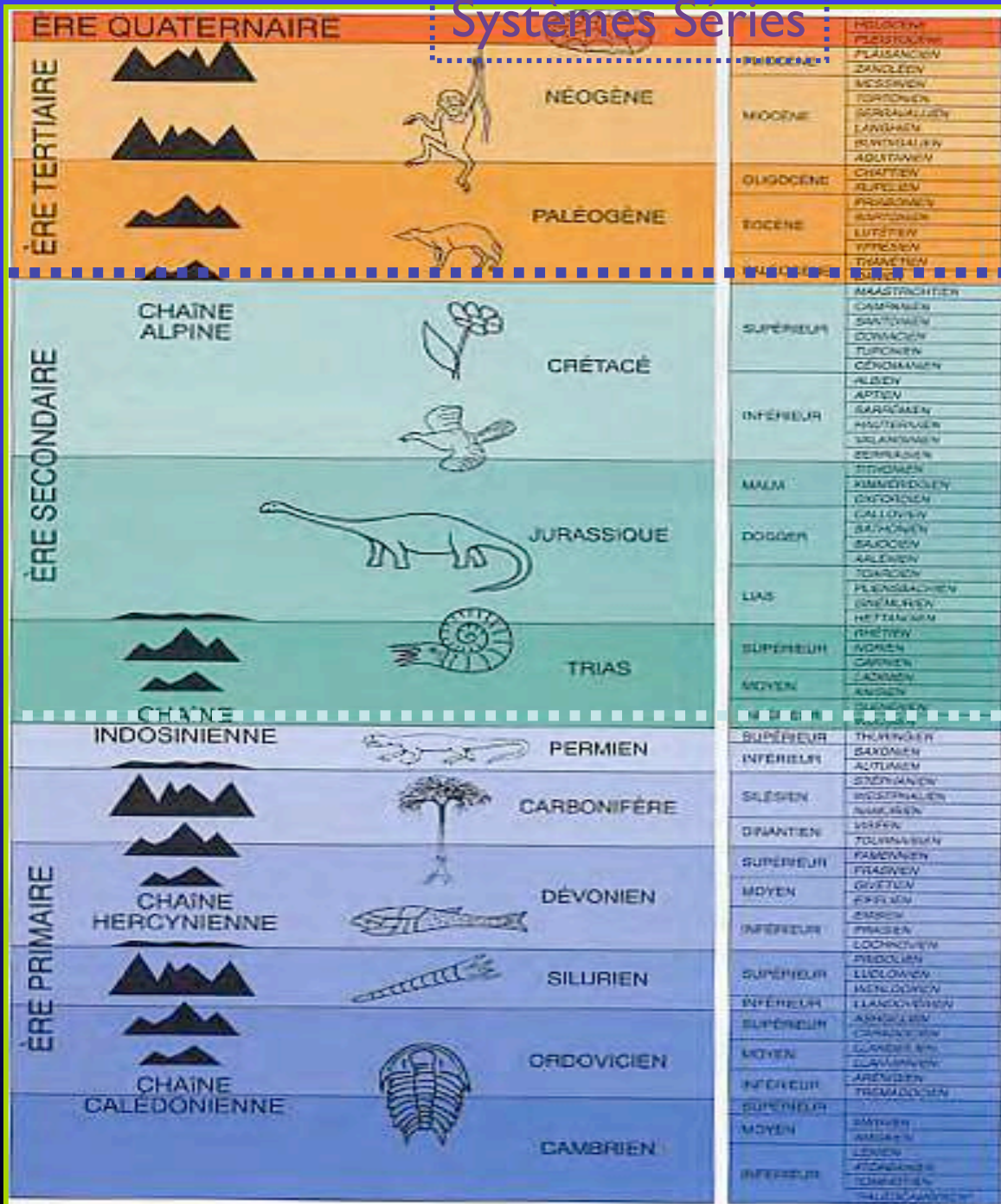
Mésozoïque



ERES



**1760 Giovanni ARDUINO
(vénitien)**



ETAGES



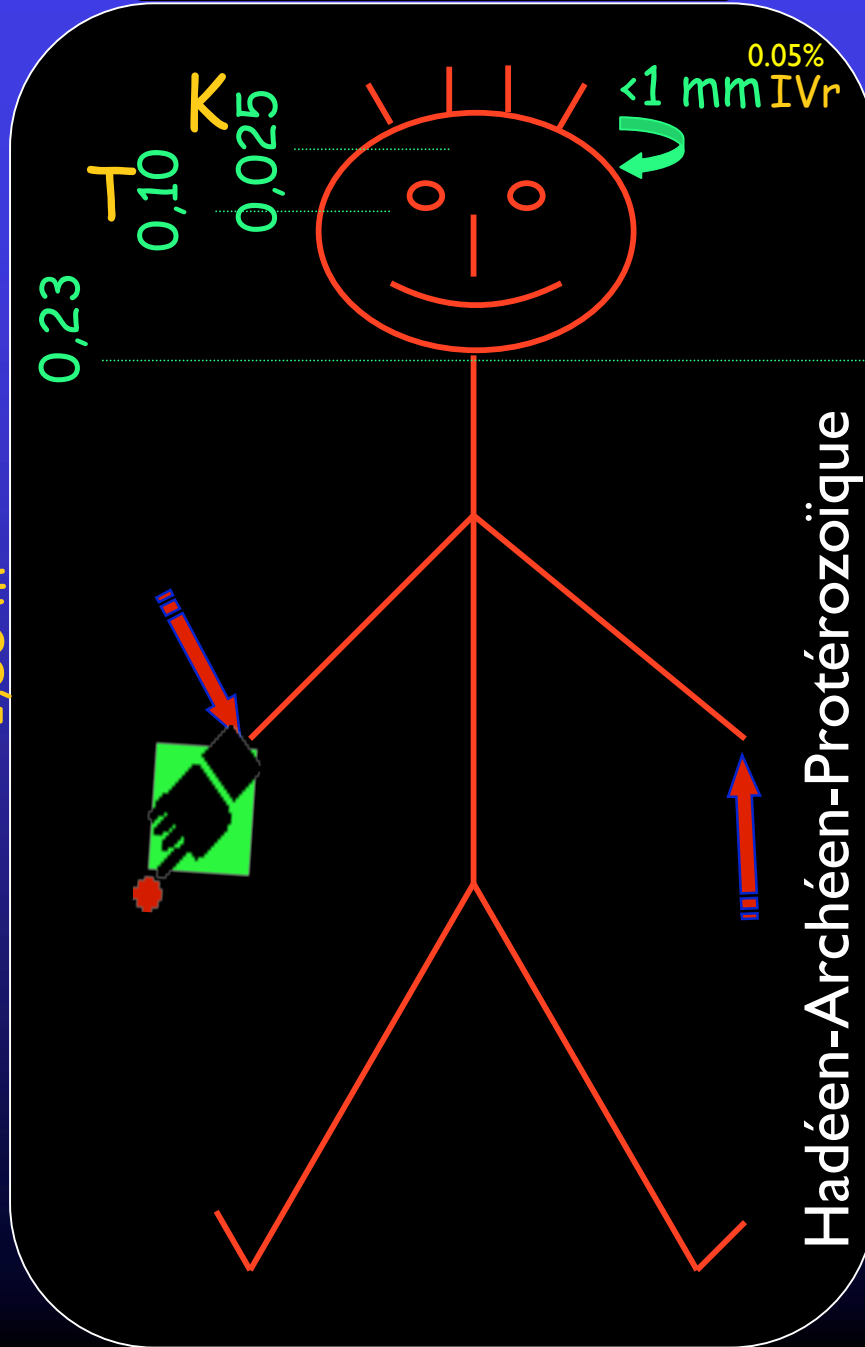
**H
I
E
R
A
R
C
H
I
E**

541 Ma

Numerical dating gives absolute age for Earth of about 4.56 billion years



1,85 m



Phanérozoïque
~1/9

0,541 Ga

Précambrien
~8/9

4,56 Ga

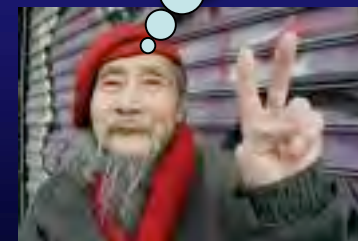
Le temps géologique - très, très, très long!



Cinéma: 32 images/sec

Si une image = 100 ans

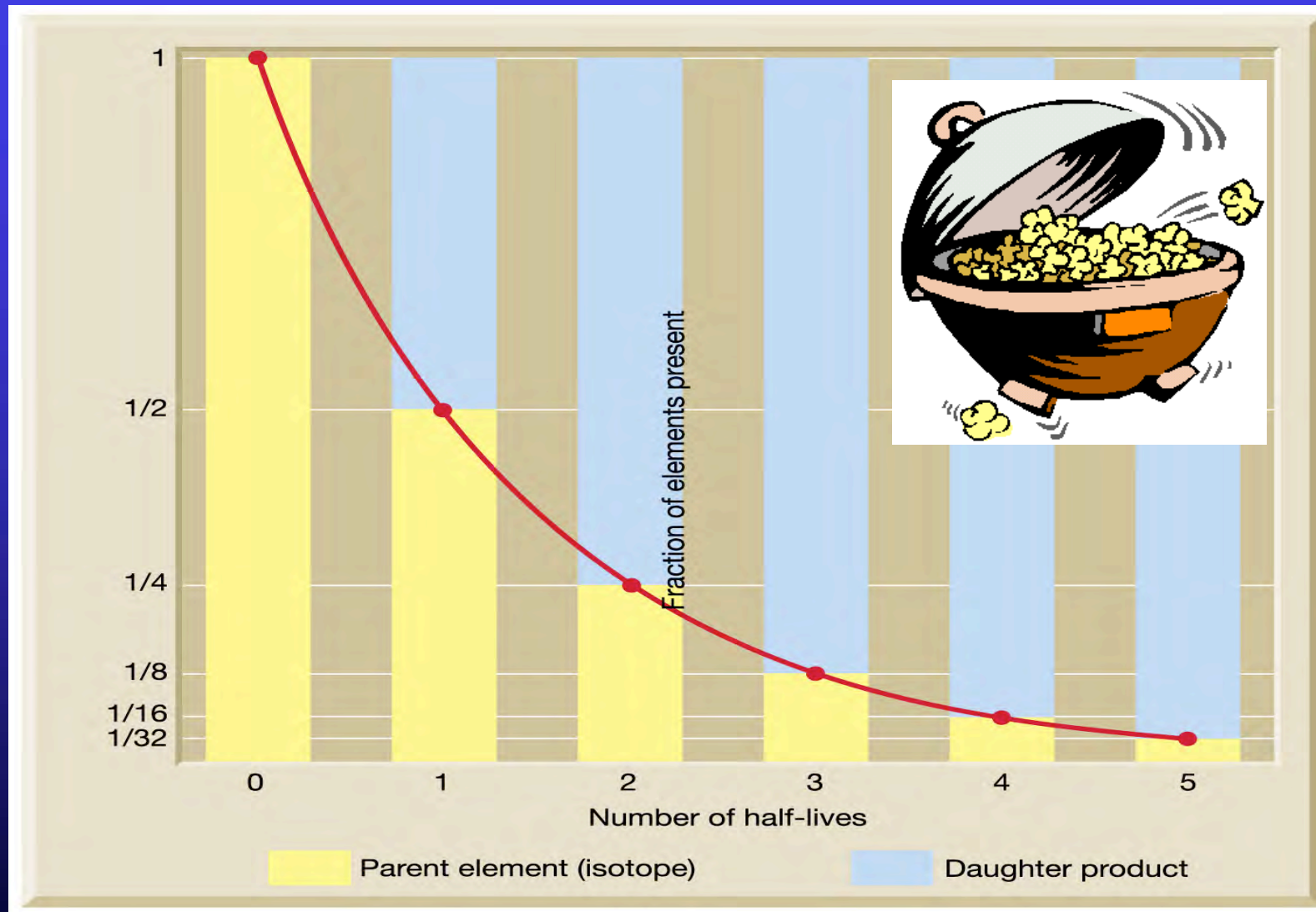
- Ere Chrétienne (BC) - 3/4 sec
- Age Glaciaire: -7 sec
- Extinction Dinosaures (K/T): -6h
- Métazoaires (Pcm/Cm) : - 2j
- Début histoire Terre: -16j



A long human lifetime (100 years) represents only about 0.000000002% of geologic time

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

Radioactivité naturelle => datation (temps) + traçage transferts de matière (cinétique)



Ex: $^{99m}\text{Tc} \implies 6,01\text{h} = ^{99}\text{Tc}$ (=radiotraceur, m = métastable), après 24h il reste 6%...

On peut donner un âge à des échantillons jusqu'à une dizaine de périodes càd ne contenant plus que $1/2^{10}$, soit un millième de leur teneur initiale

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE

$^{138}\text{La} \implies ^{138}\text{Ce}$ ($2,67 \cdot 10^{11}$ années)

$^{87}\text{Rb} \implies ^{87}\text{Sr}$ ($5 \cdot 10^{10}$ années)

$^{232}\text{Th} \implies ^{208}\text{Pb}$ ($13,9 \cdot 10^9$ années)

$^{40}\text{K} \implies ^{40}\text{Ar}$ ($11,9 \cdot 10^9$ années)

$^{238}\text{U} \implies ^{206}\text{Pb}$ ($4,6 \cdot 10^9$ années)

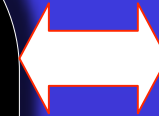
$^{235}\text{U} \implies ^{207}\text{Pb}$ ($7 \cdot 10^8$ années)

$^{234}\text{Th} \implies ^{230}\text{Th}$ (250.000 années)

$^{230}\text{Th} \implies ^{226}\text{Ra}$ (75.200 années)

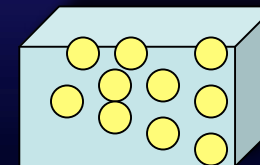
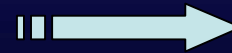
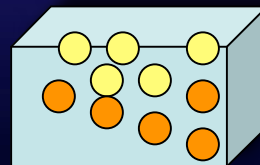
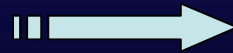
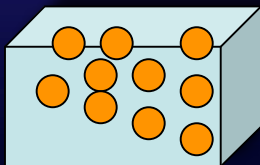
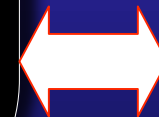
$^{14}\text{C} \implies ^{14}\text{N}$ (5568 années)

$^3\text{T} \implies ^2\text{H}$ (12,26 années)



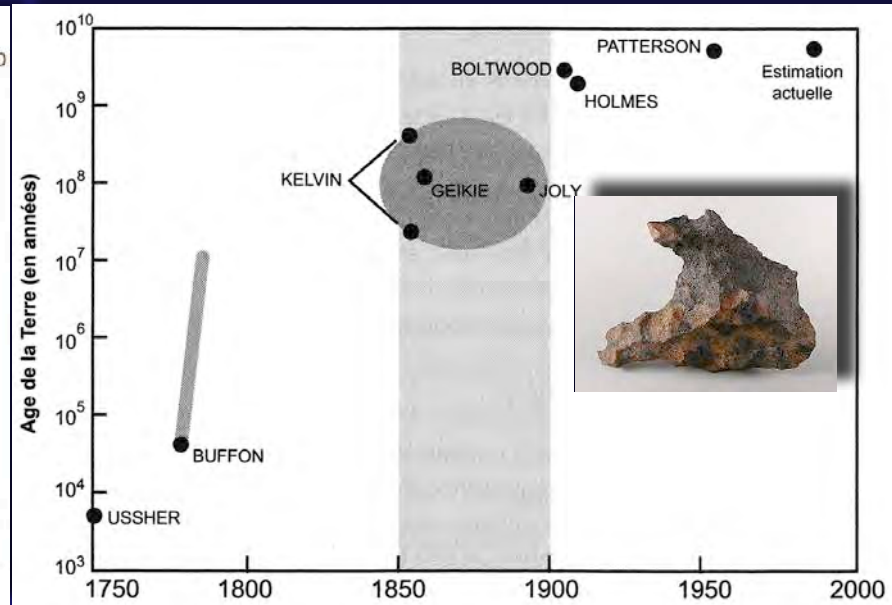
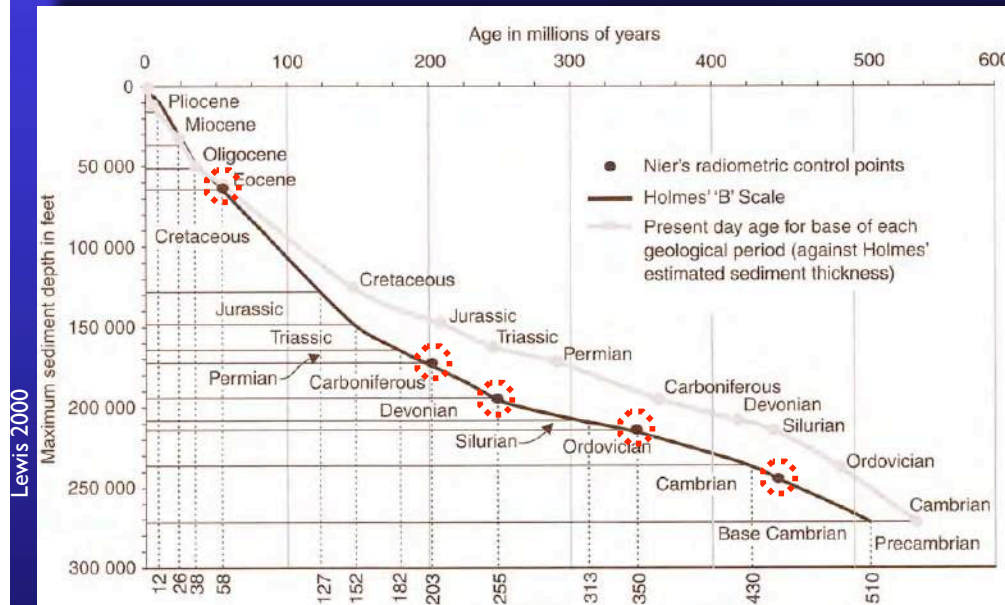
P
R
E
C
I
S
I
O
N

C
H
R
O
N
O
L
O
G
I
E
A
B
S
O
L
U
E



Le système doit être fermé...tout le temps (= nouveau problème)

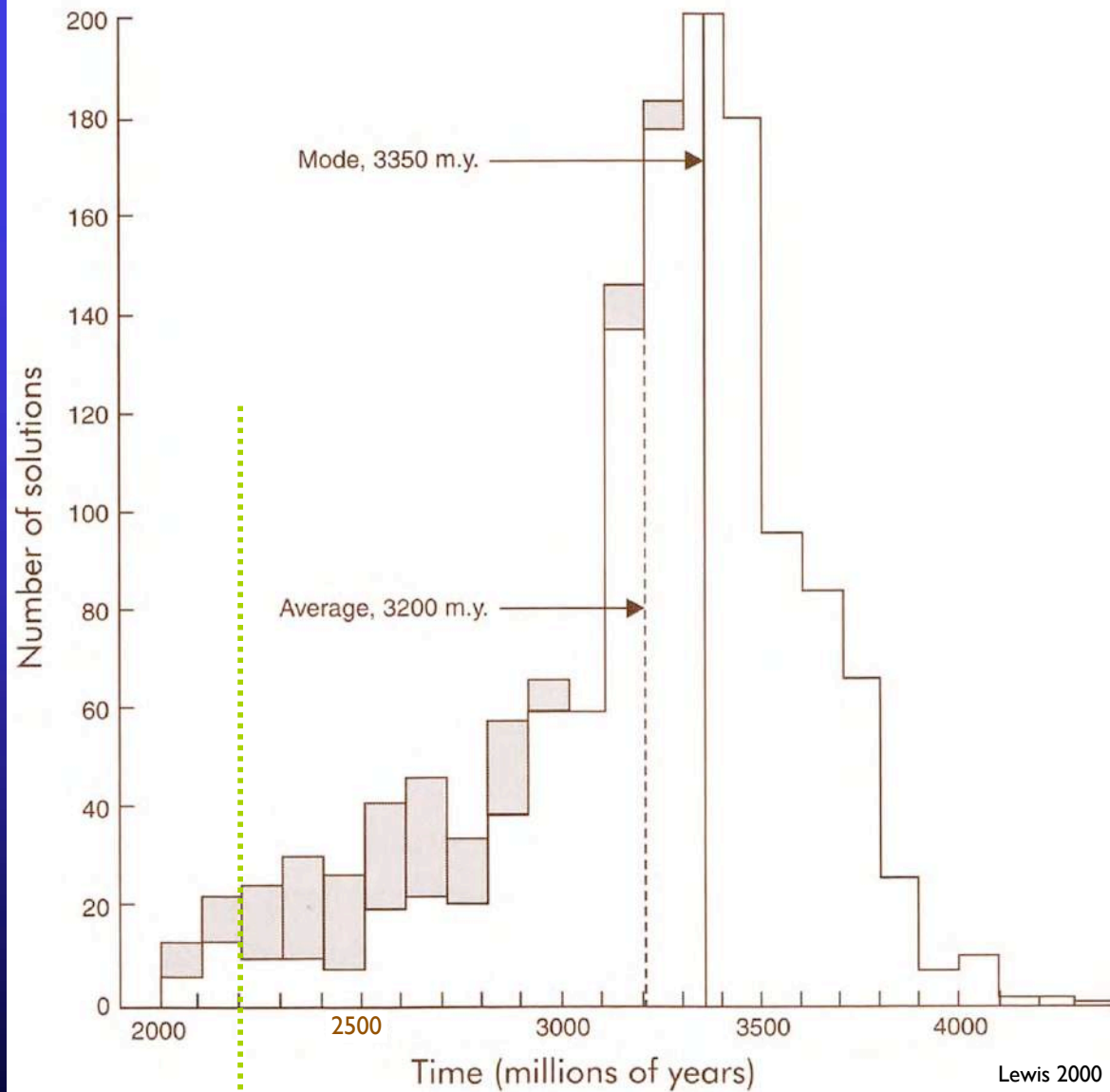
±1600 Archevêque Ussher (Irl) : Bible, création débuta en 4004 BC, le 22 octobre à 9h du matin
 1721 Henri Gautier (Igr Ponts et Chaussées): ablation relief... => 35 000 ans. En reprenant **SES** calculs => qq Ma! ==> Gautier aurait volontairement publié de 'faux âges'.... (Bible)
 1779 Jean Etienne Guettard : les vallées de la région d'Etampes ont >10000 ans càd >6000 ans (Bible) => il renonce...
 1850 Lord Kelvin : refroidissement Terre =>24 à 400 Ma, finalement 100 Ma
 1859 Darwin (creusement d'une vallée SE U.K.) => 300 Ma depuis la fin du Secondaire
 1897 John Joly (Dublin) salinisation océan => 80 à 89 Ma (en réalité = 13 Ma car dynamique...)



1947 - A. HOLMES
 PREMIERE ECHELLE
 DES TEMPS GEOLOGIQUES
 (temps absolu vs épaisseurs max)

1953 - C. PATTERSON
 Météorite de Canyon Diablo
 AGE DE LA TERRE : 4,56 Ga ± 70Ma

CHRONOLOGIE ABSOLUE ou ISOTOPIQUE



2200

Méthode Pb/Pb
= 2 chronomètres internes

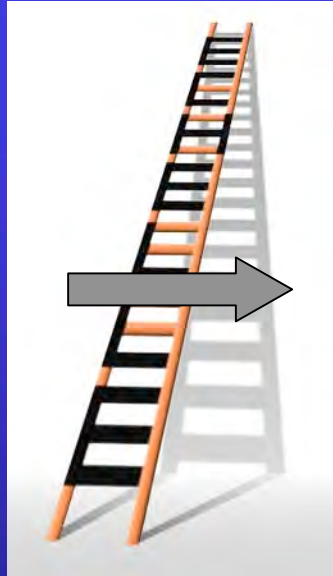
A. Nier
années 30'-40'
25 échantillons
pegmatite du Manitoba

2200 Ma
fut rejeté car
plus vieux que
l'Univers
2000 Ma

....

UNITES ET CORRELATIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES

ABSOLU

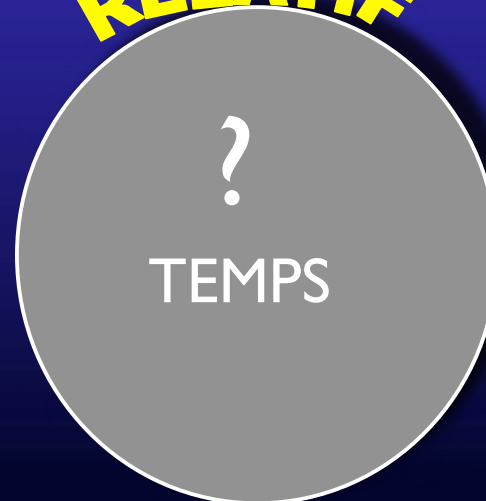


Pas de référence matérielle pour le Précambrien [8/9è tps géol]

Un STRATOTYPE



RELATIF



Un LIMITOTYPE

STRATOTYPE et/ou LIMITOTYPE GSSP Global Stratotype Section and Point

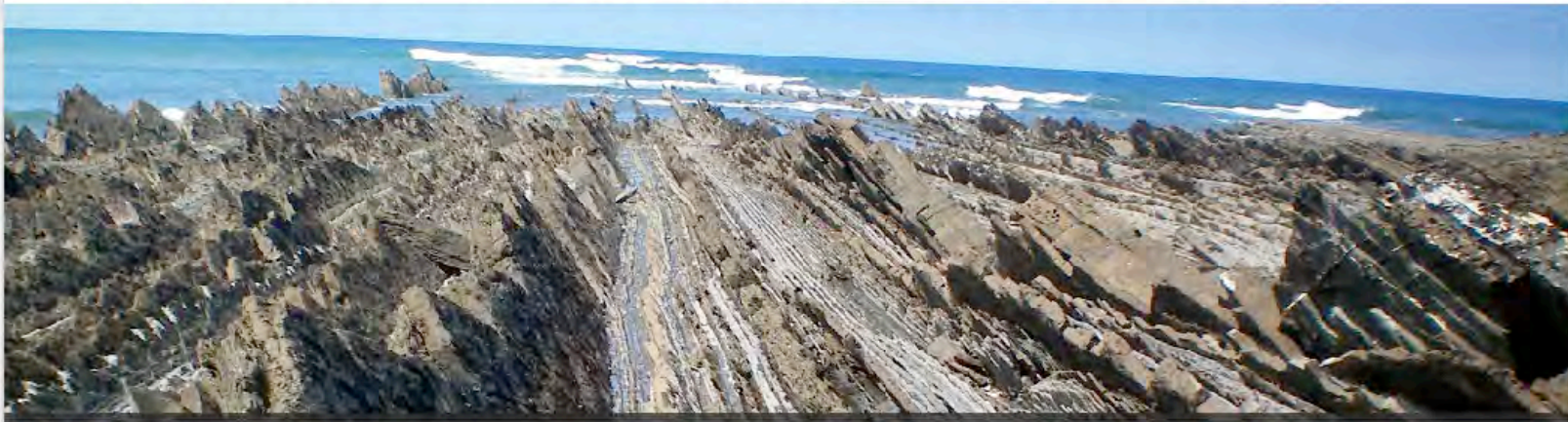
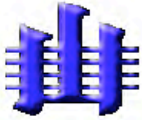
Jebel Mech Irdane (Erfoud, Anti-Atlas, Maroc)

[Conodontes, Goniatites, Trilobites ...]

391,8Ma ± 2,7Ma 2008

387,7Ma ± 0,8Ma 2014





- [Home](#)
- [ICS Executive](#)
- [Subcommissions](#)
- [Chart/Time Scale](#)
- [GSSPs](#)
- [Archives](#)
- [Stratigraphic Guide](#)
- [Statutes & Guidelines](#)
- [ICS Prizes](#)
- [Discussions](#)
- [Publications](#)
- [Links](#)

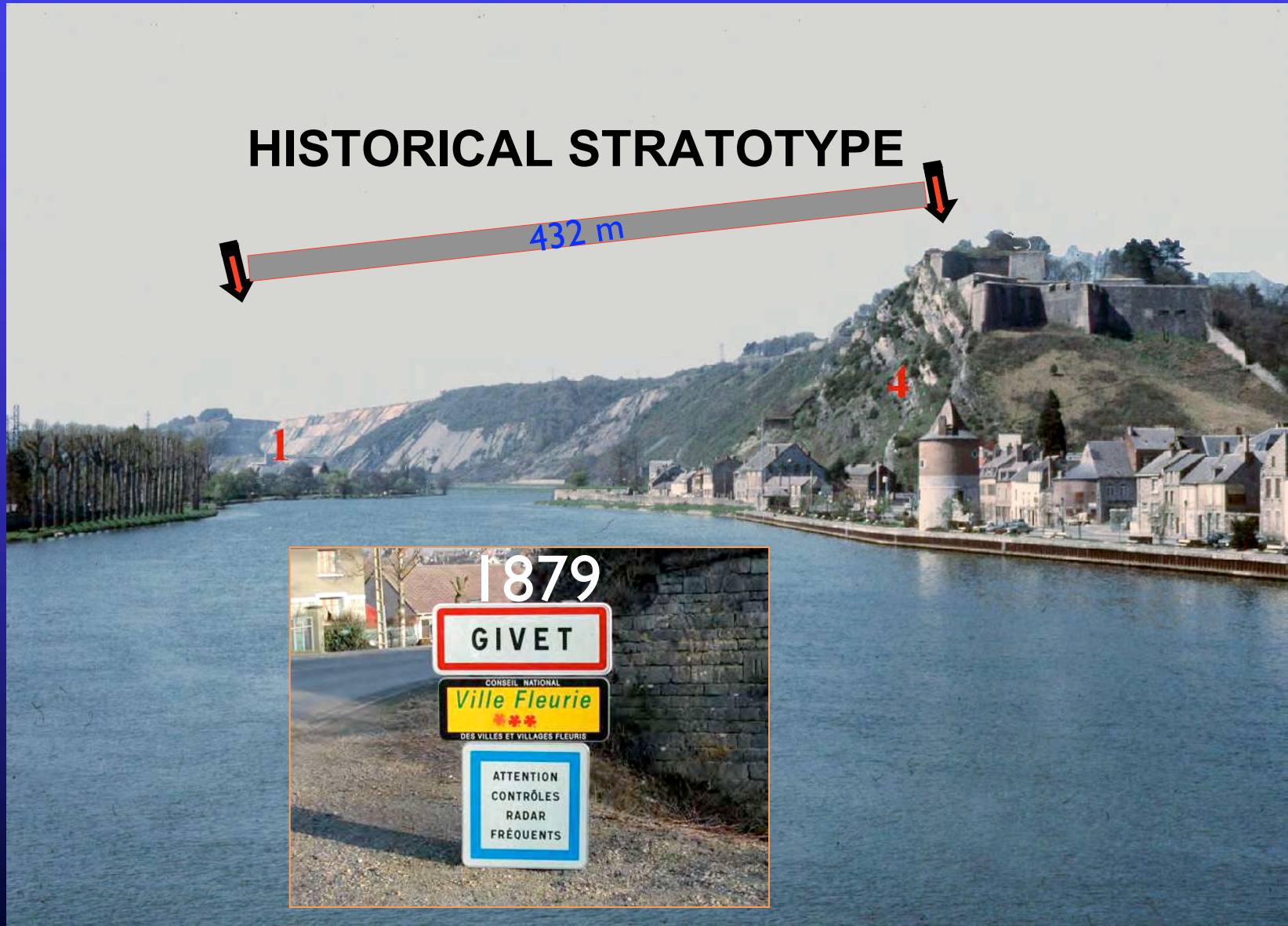
The International Commission on Stratigraphy is the largest and oldest constituent scientific body in the International Union of Geological Sciences (IUGS). Its primary objective is to precisely define global units (systems, series, and stages) of the International Chronostratigraphic Chart that, in turn, are the basis for the units (periods, epochs, and age) of the International Geologic Time Scale; thus setting global standards for the fundamental scale for expressing the history of the Earth.

News & Meetings

- ▶ XVIII International Congress on Carboniferous and Permian (Kazan, Russia, August 7-15, 2015) [2014-07-19]
- ▶ Shell donates Euros 10,000 to ICS [2014-03-10]
- ▶ NSF awards ICS a grant of \$75,000 to support its activities [2014-03-10]
- ▶ IGCP 591 Field Workshop 2014 jointly with ISSS, ISOS and ISCS to be held in Kunming, China, 12-21 August, 2014 [2014-02-14]
- ▶ STRATI 2015 - 2nd International Congress on Stratigraphy to be held in Graz, Austria, 19-23 July 2015 [2014-02-12]
- ▶ January 2013 version of ICS International Chronostratigraphic Chart and explanatory article published in September 2013 issue of Episodes [2013-10-10]



HISTORICAL STRATOTYPE



STRATOTYPE HISTORIQUE

Gosselet 1879

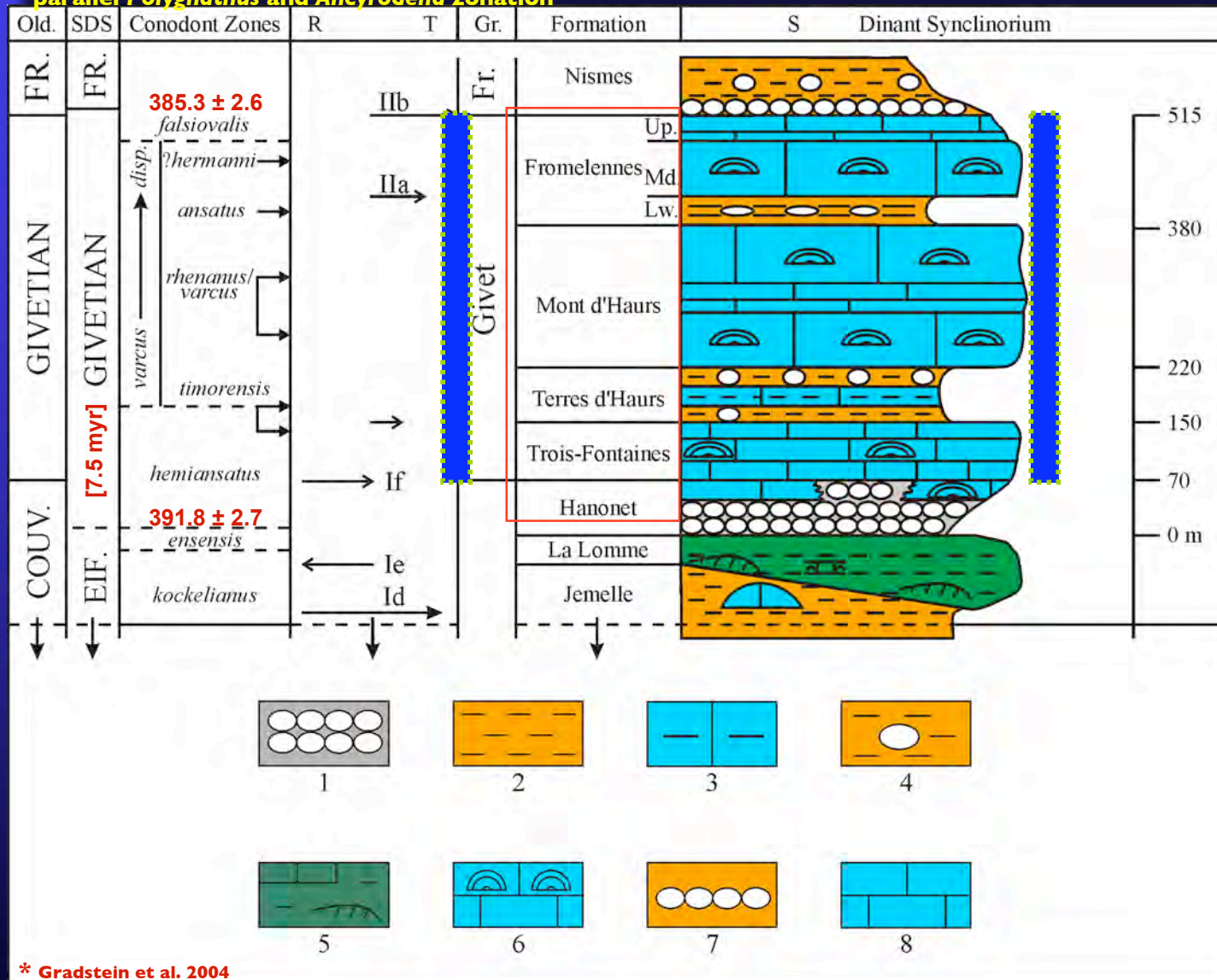
Finalement les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques ...



Std Zonation
AND

1879 - 2001

parallel *Polygnathus* and *Ancyrodella* zonation



Late Middle

Early

Bultynck & Dejonghe 2001

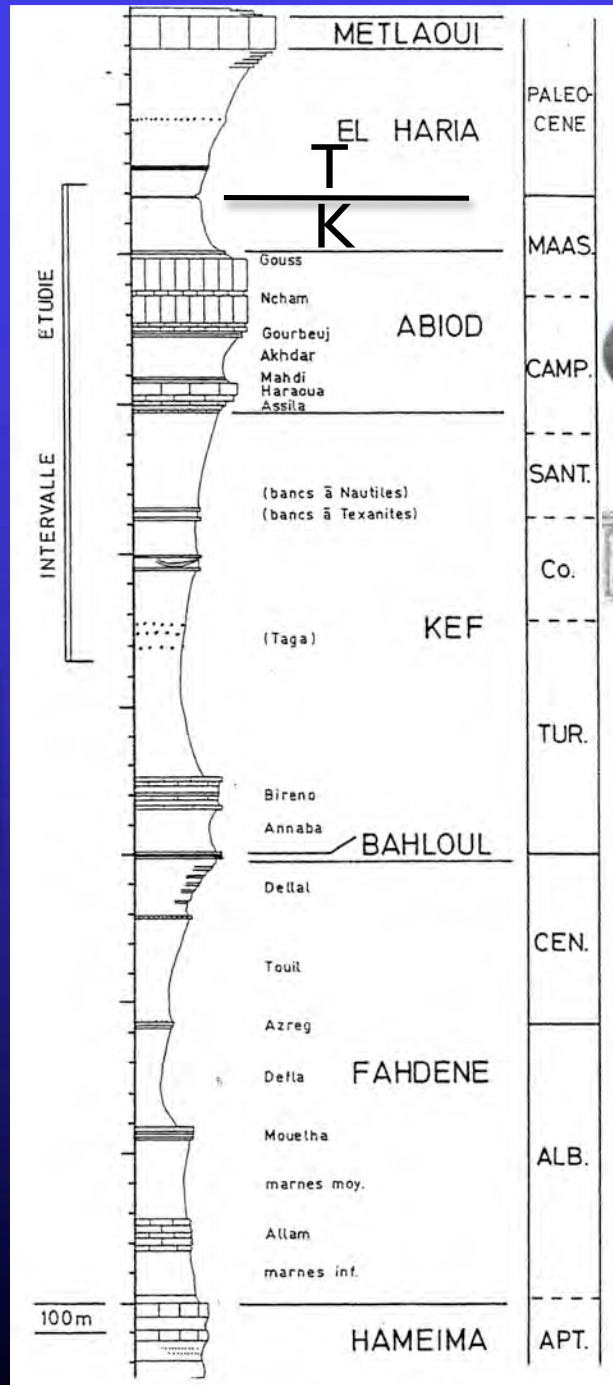
* Gradstein et al. 2004

VERY IMPORTANT
CONCLUSION



Fm subdivisions
Lithology > < Stratigraphy

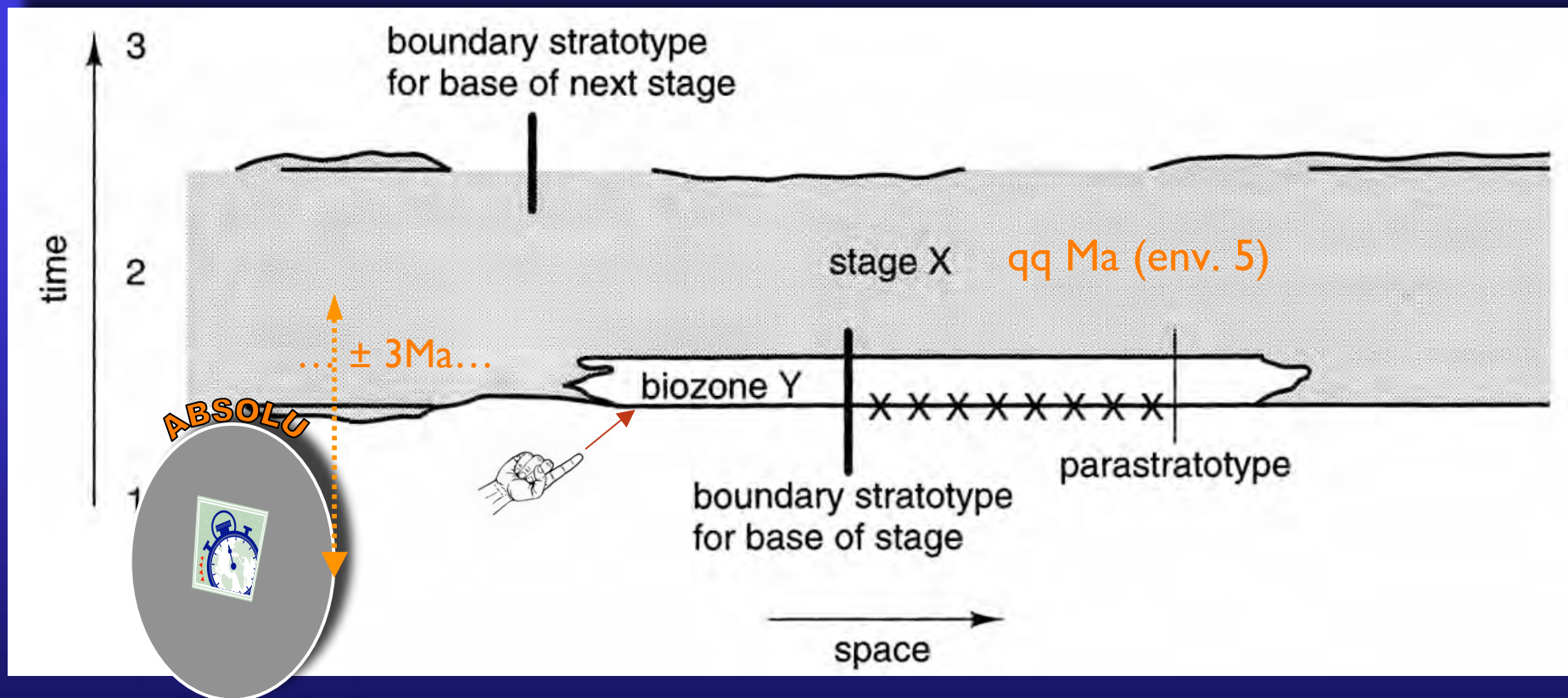
Here
1300m
Distal platform
Ammonites, Foraminifers,
Nannofossils ...



$$\frac{T}{K}$$

FROM
COMPOSITE
SECTIONS
± 50 myr

LIMITOTYPE : la base de l'étage X est défini par la base d'une biozone Y



Le parastratotype est hors du bassin et également défini par la base de la biozone Y
(il existe un peu moins de 100 étages géologiques hors PCm)

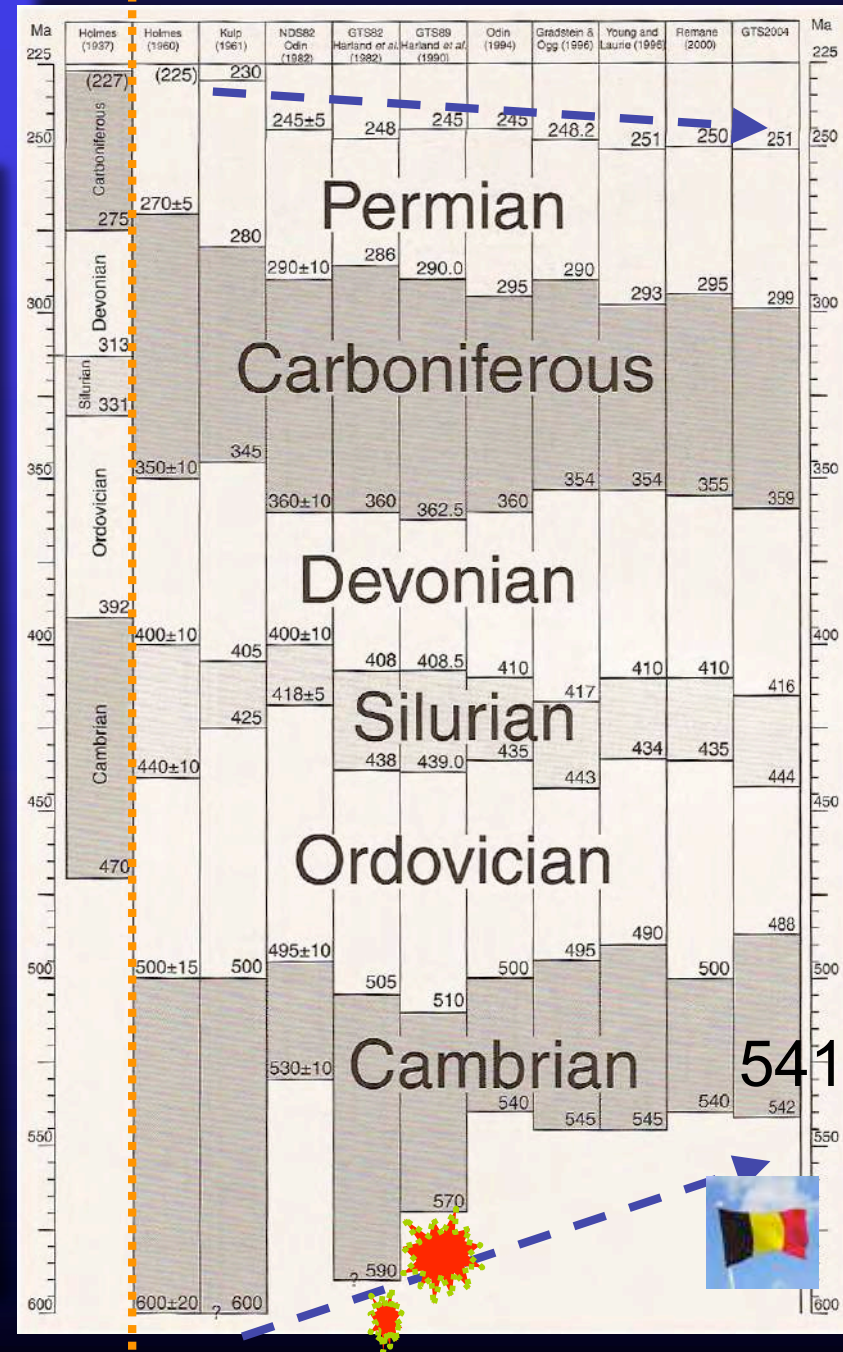
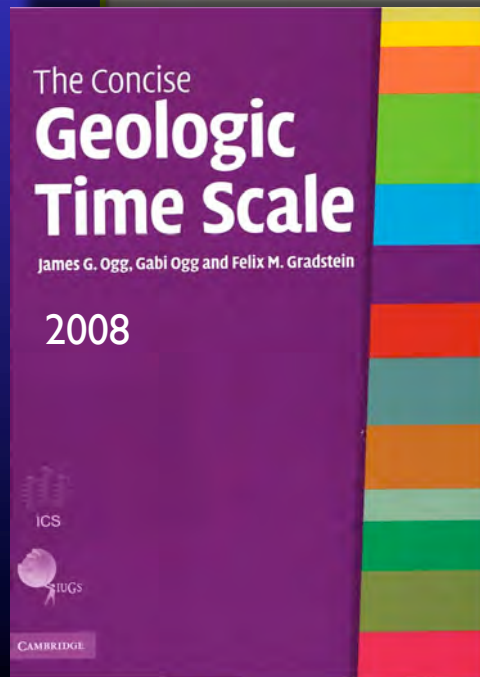
Finalement les lithologies sont presque toujours indépendantes des limites chronostratigraphiques... et la biostratigraphie de la radiochronologie...

www.stratigraphy.org

A Geologic Time Scale

2004

Felix Gradstein, James Ogg and Alan Smith



GTS août 2004 (2008)

INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART



Phanerozoic							Phanerozoic							Phanerozoic							Precambrian				
Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP	GSSA					
Phanerozoic	Quaternary*	Holocene		0.0118		Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian	145.5 ± 4.0		Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian	359.2 ± 2.5		Proterozoic	Ediacaran	542					
				150.8 ± 4.0					Neo-proterozoic	Cryogenian	630														
		Pleistocene	Upper	0.126				Oxfordian		374.5 ± 2.6				Mesoproterozoic	Tonian	850									
			Middle	0.781					Givetian	385.3 ± 2.6					Stenian	1000									
			Lower	1.806						Callovian	391.8 ± 2.7				Ectasian	1200									
		Pliocene	Gelasian	2.588				Bathonian	397.5 ± 2.7					Calymmian	1400										
			Piacenzian	3.600					Emsian	407.0 ± 2.8					Statherian	1600									
			Zanclean	5.332				Pragian		411.2 ± 2.8				Crosnian		1800									
			Miocene	Messinian	7.246					Lochkovian	416.0 ± 2.8					Rhyacian	2050								
				Tortonian	11.808				Pridoli		418.7 ± 2.7				Siderian		2500								
	Serravalian	13.82			Ludlow	421.3 ± 2.6		Neoproterozoic		Lower limit is not defined	2800														
	Langhian	15.97				Ludfordian	422.9 ± 2.5				Mesoproterozoic	Lower limit is not defined	3200												
	Burdigalian	20.43			Wenlock		426.2 ± 2.4		Archean	Lower limit is not defined			3600												
	Aquitanian	23.03				Homerian	428.2 ± 2.3				Neoproterozoic	Lower limit is not defined	3600												
	Oligocene	Chattian		28.4 ± 0.1			Llandovery	436.0 ± 1.9		Archean			Lower limit is not defined	3600											
		Rupelian	33.9 ± 0.1		Aeronian	439.0 ± 1.8			Archean		Lower limit is not defined	3600													
		Priabonian	37.2 ± 0.1			Rhuddanian	443.7 ± 1.5			Archean		Lower limit is not defined	3600												
	Eocene	Bertonian	40.4 ± 0.2		Hirnantian		445.6 ± 1.5		Archean		Lower limit is not defined		3600												
		Lutetian	48.6 ± 0.2			Katian	455.8 ± 1.6			Archean		Lower limit is not defined	3600												
	Paleocene	Ypresian	55.8 ± 0.2		Sandbian		460.9 ± 1.6		Archean		Lower limit is not defined		3600												
		Thanetian	58.7 ± 0.2			Darnwillian	468.1 ± 1.6			Archean		Lower limit is not defined	3600												
		Selandian	61.7 ± 0.2		Stage 3		471.8 ± 1.6		Archean		Lower limit is not defined		3600												
		Danian	65.5 ± 0.3			Floian	478.6 ± 1.7			Archean		Lower limit is not defined	3600												
	Cretaceous	Upper	Maastrichtian	70.6 ± 0.6			Tremadocian	488.3 ± 1.7			Archean		Lower limit is not defined	3600											
			Campanian	83.5 ± 0.7		Stage 10		~ 492.0*		Archean		Lower limit is not defined		3600											
			Santonian	85.8 ± 0.7			Paibian	501.0 ± 2.0			Archean		Lower limit is not defined	3600											
			Coniacian	89.3 ± 1.0		Stage 7		~ 503.0*		Archean		Lower limit is not defined		3600											
			Turonian	93.5 ± 0.8			Stage 5	~ 506.5*			Archean		Lower limit is not defined	3600											
		Senonian	99.6 ± 0.9		Stage 4	~ 510.0*			Archean	Lower limit is not defined		3600													
		Lower	Aptian	112.0 ± 1.0			Stage 3	~ 517.0*				Archean	Lower limit is not defined	3600											
			Barremian	125.0 ± 1.0		Stage 2		~ 521.0*		Archean	Lower limit is not defined			3600											
			Hauterivian	130.0 ± 1.5			Stage 1	~ 534.6*				Archean	Lower limit is not defined	3600											
Valanginian			136.4 ± 2.0		Stage 1	542.0 ± 1.0			Archean	Lower limit is not defined	3600														
Berriasian	145.5 ± 4.0			Stage 1		542.0 ± 1.0		Archean			Lower limit is not defined	3600													
Mesozoic	Triassic	Upper	Rhaetian		199.6 ± 0.6		Paleozoic		Silurian	Pridoli		418.7 ± 2.7		Paleozoic	Ordovician	Upper	Katian	455.8 ± 1.6		Paleozoic	Cambrian	Series 3	Drumian	~ 506.5*	
			Norian	203.6 ± 1.5		Ludlow		421.3 ± 2.6				Series 2	Stage 5				~ 510.0*								
		Middle	Ladinian	228.0 ± 2.0				Wenlock		426.2 ± 2.4			Series 1			Stage 4	~ 517.0*								
			Anisian	237.0 ± 2.0		Llandovery				436.0 ± 1.9		Stage 3				~ 521.0*									
		Olenekian	245.0 ± 1.5		Aeronian			439.0 ± 1.8			Stage 2		~ 534.6*												
		Induan	249.7 ± 0.7			Rhuddanian		443.7 ± 1.5				Stage 1	542.0 ± 1.0												
		Lower	Changhsingian	251.0 ± 0.4				Hirnantian		445.6 ± 1.5			Stage 1			542.0 ± 1.0									
			Wuchiapingian	253.8 ± 0.7		Katian				455.8 ± 1.6		Stage 1				542.0 ± 1.0									
		Guadalupian	260.4 ± 0.7		Sandbian			460.9 ± 1.6			Stage 1		542.0 ± 1.0												
		Wordian	265.8 ± 0.7			Darnwillian		468.1 ± 1.6				Stage 1	542.0 ± 1.0												
Roadian	268.0 ± 0.7		Stage 3	471.8 ± 1.6			Stage 1	542.0 ± 1.0																	
Kungurian	270.6 ± 0.7			Floian	478.6 ± 1.7			Stage 1	542.0 ± 1.0																
Artinskian	275.6 ± 0.7		Tremadocian		488.3 ± 1.7		Stage 1		542.0 ± 1.0																
Sakmarian	284.4 ± 0.7			Stage 10	~ 492.0*			Stage 1	542.0 ± 1.0																
Aselanian	299.0 ± 0.8		Paibian		501.0 ± 2.0		Stage 1		542.0 ± 1.0																
Gzhelian	303.9 ± 0.9			Stage 7	~ 503.0*			Stage 1	542.0 ± 1.0																
Kasimovian	306.5 ± 1.0		Stage 5		~ 506.5*		Stage 1		542.0 ± 1.0																
Moscovian	311.7 ± 1.1			Stage 4	~ 510.0*			Stage 1	542.0 ± 1.0																
Bashkirian	317.1 ± 1.3		Stage 3		~ 517.0*		Stage 1		542.0 ± 1.0																
Serpukhovian	318.1 ± 1.3			Stage 2	~ 521.0*			Stage 1	542.0 ± 1.0																
Visean	326.4 ± 1.6		Stage 1		~ 534.6*		Stage 1		542.0 ± 1.0																
Tournaisian	345.3 ± 2.1			Stage 1	542.0 ± 1.0			Stage 1	542.0 ± 1.0																
	359.2 ± 2.5		Stage 1		542.0 ± 1.0		Stage 1		542.0 ± 1.0																

Quaternary*: Formal chronostratigraphic unit sensu joint ICS-INQUA taskforce (2005) and ICS.
Tertiary*: Informal chronostratigraphic unit sensu Aubry et al. (2005, Episodes 28/2).

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with * are informal, and awaiting ratified definitions.
Copyright © 2006 International Commission on Stratigraphy

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Standard Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website (www.stratigraphy.org).

International chronostratigraphic units, rank, names and formal status are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS).

Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Ordovician and Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.


Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (www.egmw.org). The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press).



1143p

THE GEOLOGIC TIME SCALE 2012

VOLUME 1




Epoch/Eon	System	Series	Stage	
Eon	Era	Epoch	Age	
Sub-Era	Period			
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary*	Holocene	
			Pleistocene	Upper
				Middle
		Neogene	Pliocene	Gelasian
				Piacenzian
		Miocene	Zanclean	
			Messinian	
			Tortonian	
			Serravalian	
			Langhian	
	Burdigalian			
	Aquitanian			
	Tertiary*	Oligocene	Chattian	
			Rupelian	
			Priabonian	
		Eocene	Bertonian	
			Lutetian	
			Ypresian	
		Paleocene	Thanetian	
			Selandian	
			Danian	
			Maastrichtian	
	Mesozoic	Cretaceous	Upper	Campanian
				Santonian
Coniacian				
Turonian				
Cenomanian				
Albian				
Aptian				
Lower		Barremian		
		Hauterivian		
		Valanginian		
		Berriasian		

Quaternary*: Formal chronostratigraphic unit sensu Auby et al.
Tertiary*: Informal chronostratigraphic unit sensu Auby et al.



135

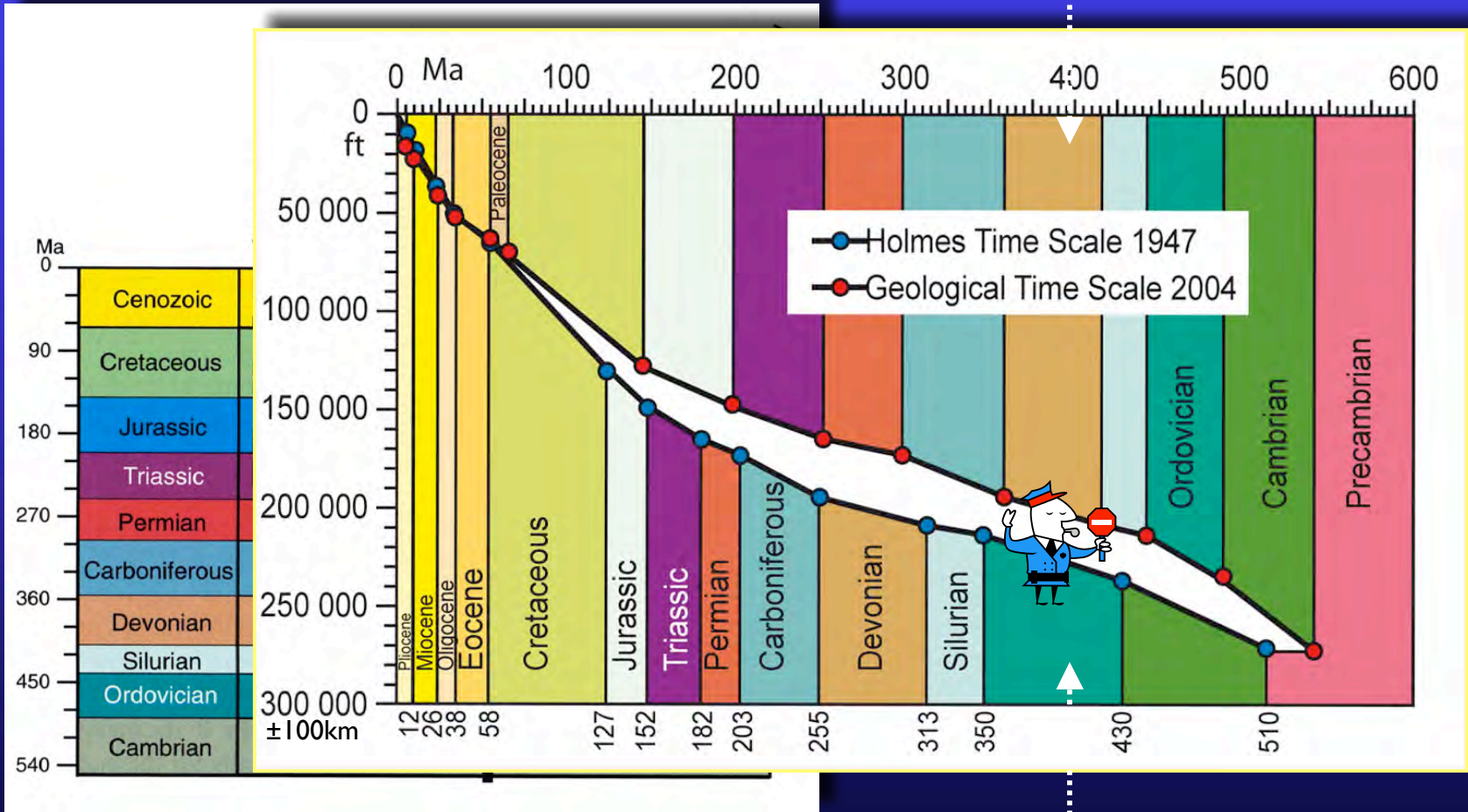
FELIX M. GRADSTEIN
JAMES G. OGG
MARK D. SCHMITZ
and GABI M. OGG



Epoch/Eon	Era	System	Age (Ma)	GSSP	GSSA
Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	↕	↕
		Cryogenian	-630	↕	↕
			850	↕	↕
	Meso-proterozoic	Tonian	1000	↕	↕
		Stenian	1200	↕	↕
			1400	↕	↕
	Paleo-proterozoic	Calymmian	1600	↕	↕
			1800	↕	↕
		Statherian	2050	↕	↕
			2300	↕	↕
Archean	Neoproterozoic	Crosinian	2050	↕	↕
		Rhyacian	2300	↕	↕
	Eoarchean	Siderian	2500	↕	↕
		Neoproterozoic	2800	↕	↕
		3200	↕	↕	
Lower limit is not defined	3600	↕	↕		

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the Ediacaran are defined by a basal Global Standard Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by their lower boundary (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the website (www.stratigraphy.org). International chronostratigraphic units, ranks, and formal status are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS). Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages in the Ordovician and Cambrian will be formally defined upon international agreement on their GSSP. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle Joppo, Aptian) are not formally defined. The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, and G.M. OGG (2004; Cambridge University Press).

GTS août 2004 (2008)

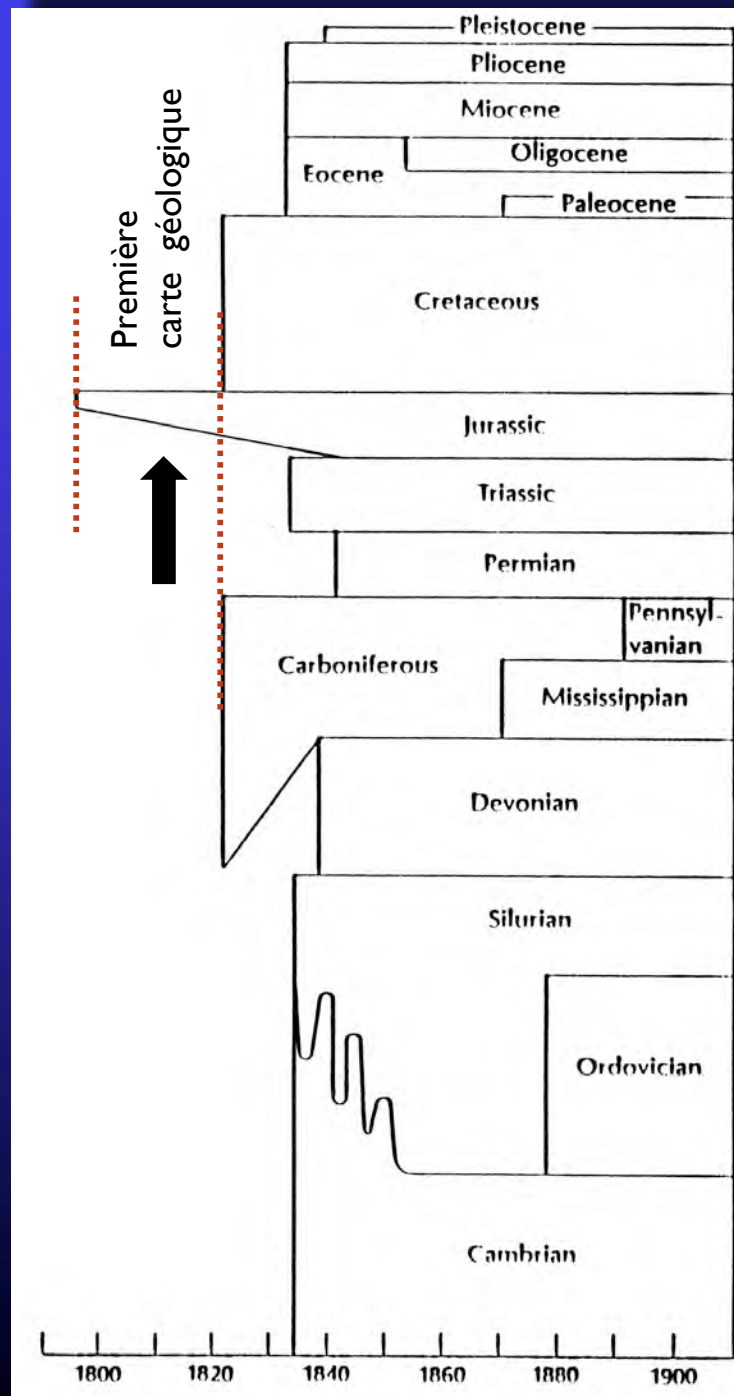
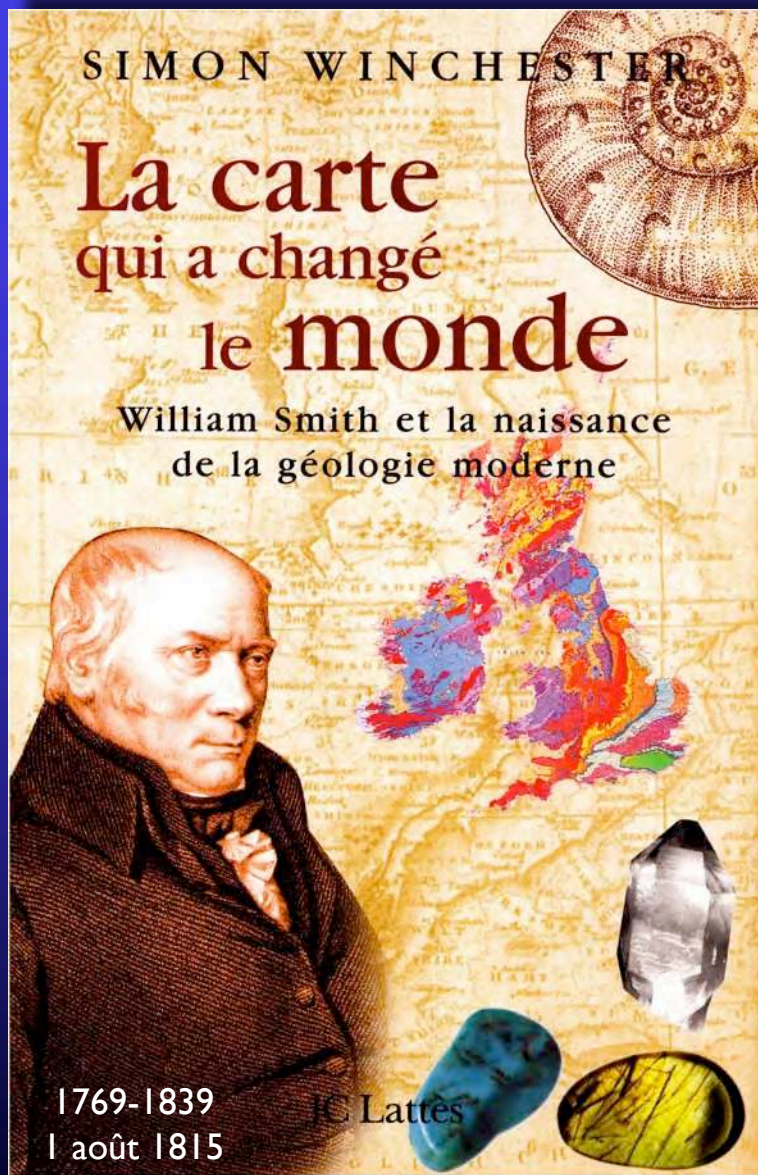


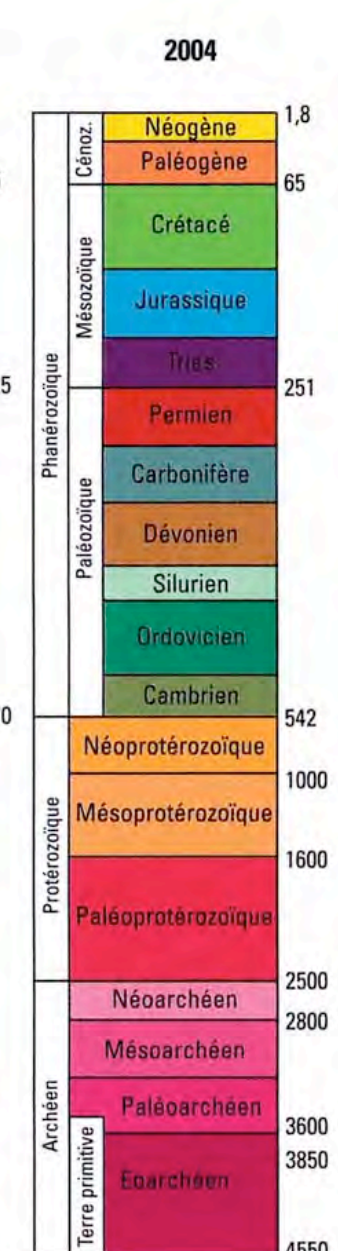
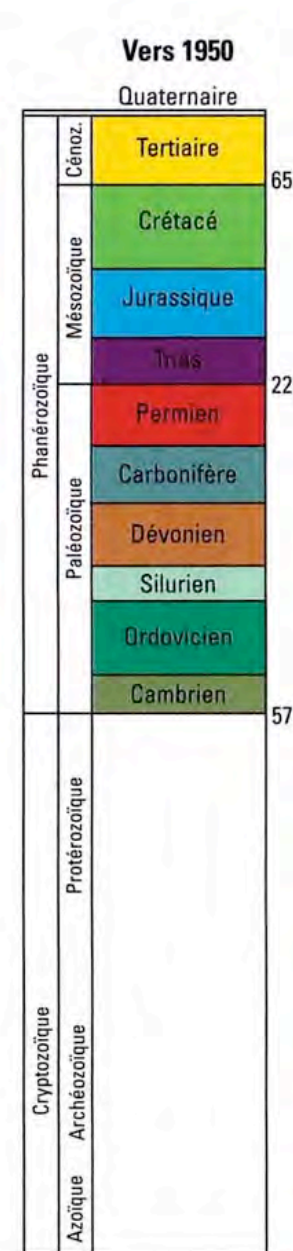
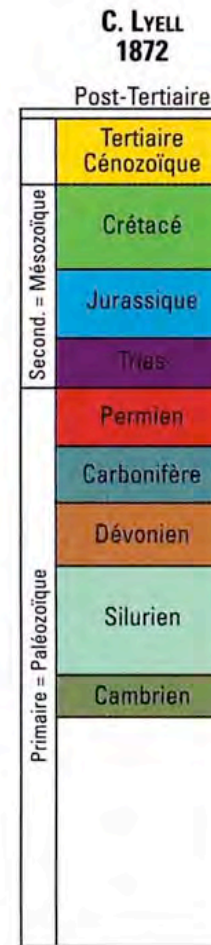
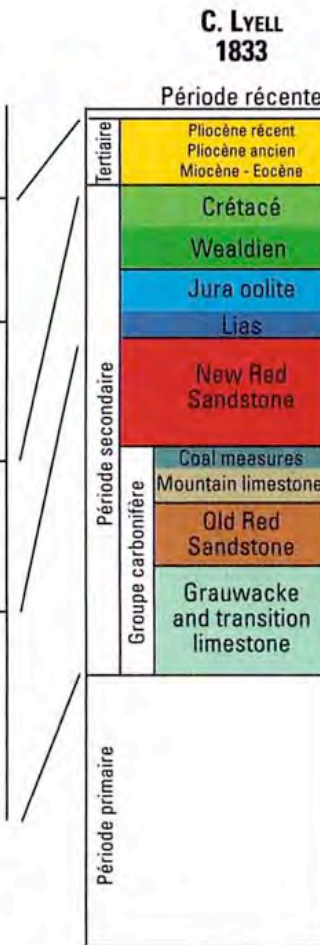
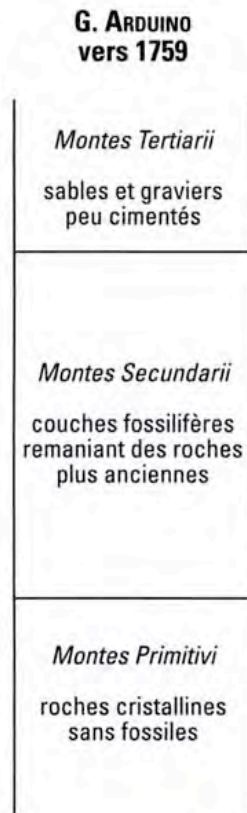
Le temps absolu ne peut servir pour fixer l'échelle des temps géologiques

(Les noms), les âges et donc les durées changent

		GTS1982	GTS1989	Odin 1994	Gradstein&Ogg 1996	Young&Laurie 1996	Remane2000	GTS2004-2008	2014	
Devonian	Devonian	360±10/5	Tournaisian 360	Tournaisian 360	Famennian 360	Famennian 360	Famennian 360	Famennian 360	360	
			Famennian 367	Famennian 367	L	Frasnian 364	Frasnian 364.5	Famennian 370	Famennian 367	362.5
			Frasnian 374	Frasnian 374		Givetian 370	Givetian 370	Frasnian 375	Famennian 375	375
			Givetian 380	Givetian 381	M	Eifelian 380	Eifelian 380	Givetian 380	Frasnian 385	377
			Eifelian 387	Eifelian 386		Emsian 391	Emsian 391	Eifelian 390	Givetian 392	385
			Emsian 394	Pragian 396	E	Pragian 400	Pragian 399.5	Pragian 404.5	Emsian 407	387.8
			Siegenian 401	Lochkovian 408.5		Lochkovian 412	Lochkovian 410	Lochkovian 410	Pragian 411	400
			Gedinnian 408	Pridoli 410.7		Pridoli 417	Pridoli 414	Pridoli 415	Lochkov. 416	410
				Ludlow 421	Ludlow 415	Ludlow 419	Ludlow 420	Ludlow 425	Pridoli 419	412
				Wenlock 428	Ludlow 425	Wenlock 423	Wenlock 425	Wenlock 425	Ludlow 423	415
Silurian	Silurian	400±10/5								
		418±5/10								

Comment arrive t'on à ces échelles?





Comment a t'on fait?

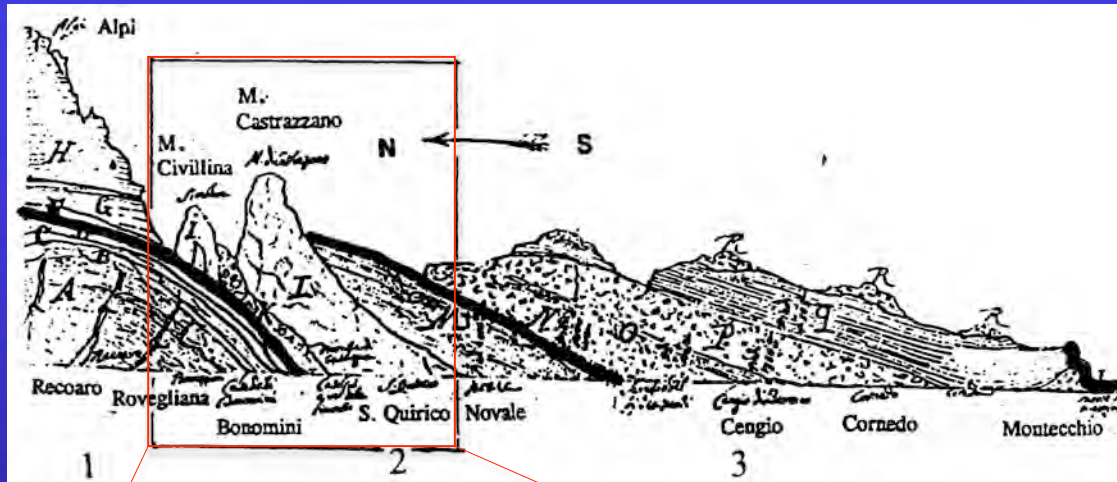
Grandes divisions stratigraphiques [simplifié d'après F. GRADSTEIN *et al.*, 2004]

ARDUINO'S LITHOSTRATIGRAPHICAL THEORY (1760-1775)

Units (<i>Ordini</i>)	Mountain type	Rock type	Causes
1	Basement/primeval rock (<i>roccia primigenia</i>)	Crystalline schist <i>schisto</i>	Fire Cooling of the original Earth surface
1	Primary or mineral mountains (<i>monti primari o minerali</i>) a. First subdivision b. Second subdivision	Granite, porphyry, and mineral-bearing crystalline rocks (<i>rocce vetrescibili</i>); sandstone and conglomerates without fossils	Fire, wind, and water a. Volcanism b. Volcanism and erosion due to wind and water
2	Secondary mountains (<i>monti secondari</i>)	Marbles and stratified limestones with fossils; stratified rocks like <i>vetrescibili</i> but without mineral veins	Water and fire Marine sedimentation and modifications due to the reprise of volcanism
3	Tertiary mountains (<i>monti terziari, colline</i>)	Gravel, clay, fossiliferous sand, volcanic material	Fire and water Volcanism and sedimentation within sea waters
4	Plains (<i>pianure</i>)	Alluvial deposits, sometimes stratified	Water Erosion caused by rain and rivers

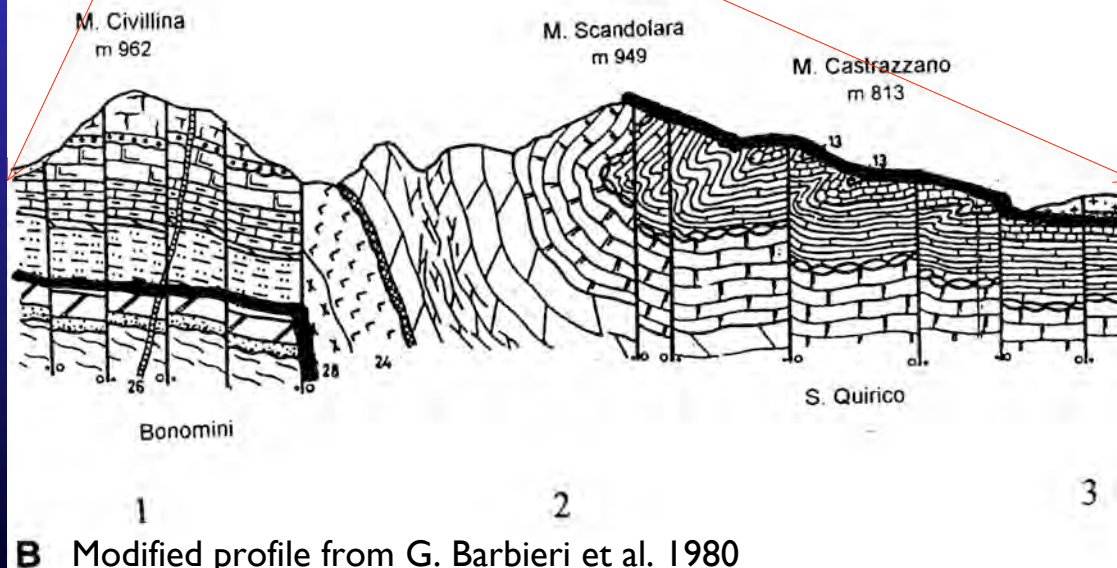
in Vaccari 2006

1780



A Modified profile from the sketch by G. Arduino

1980



B Modified profile from G. Barbieri et al. 1980

BUT

ETABLIR UNE CHRONOLOGIE OU CHRONOSTRATIGRAPHIE

- = reconstituer la chronologie des événements ayant affecté la Terre
- = établir les synchronismes entre formations de même âge mais non reliées géographiquement et de caractères (lithologiques) souvent différents

AFFLEUREMENTS
= cahier plissé,
déchiqueté... = CARTO

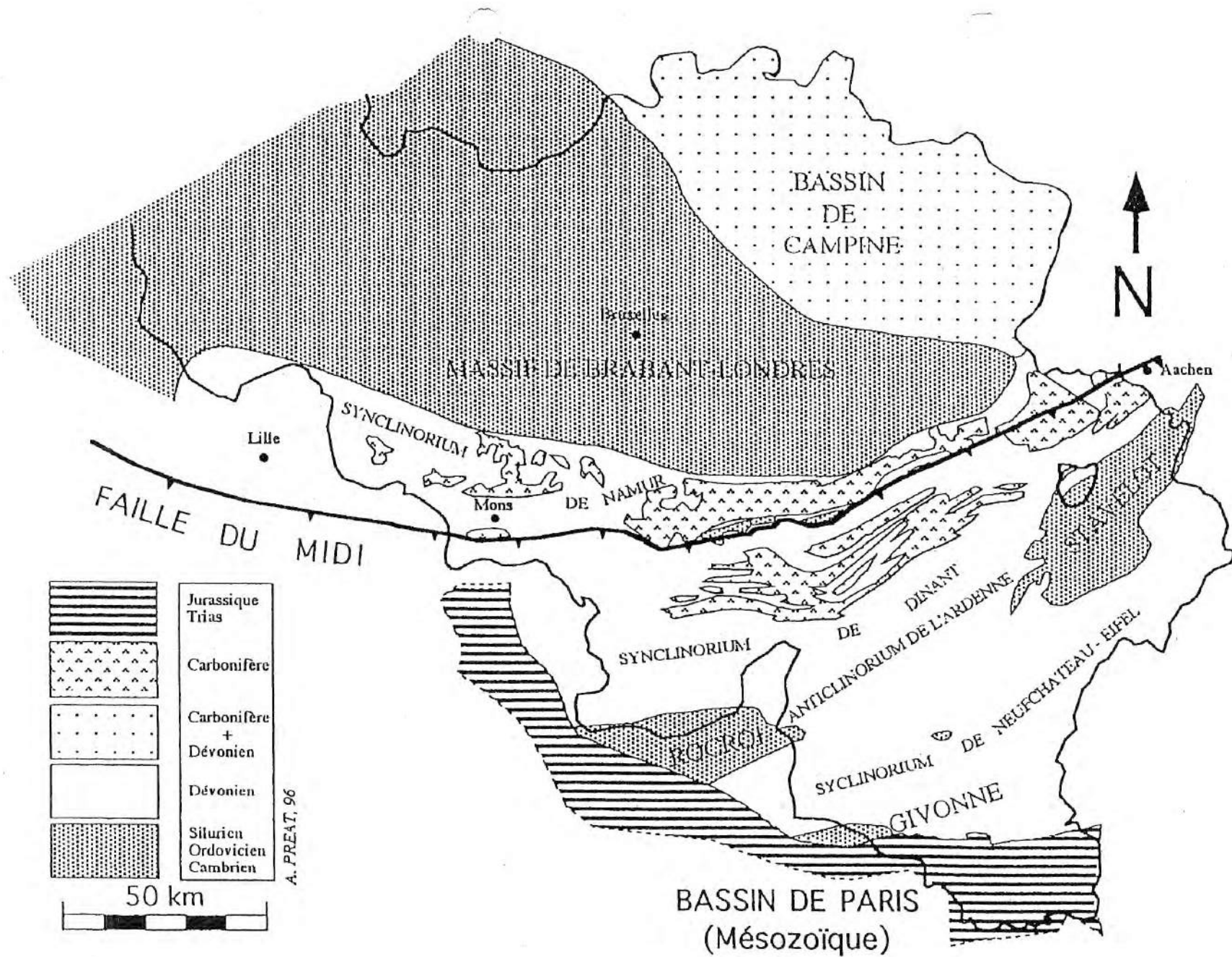
Affleurements = cahier plissé, déchiqueté
... cartographie en premier lieu = constat
déjà TRES incomplet à ce premier stade



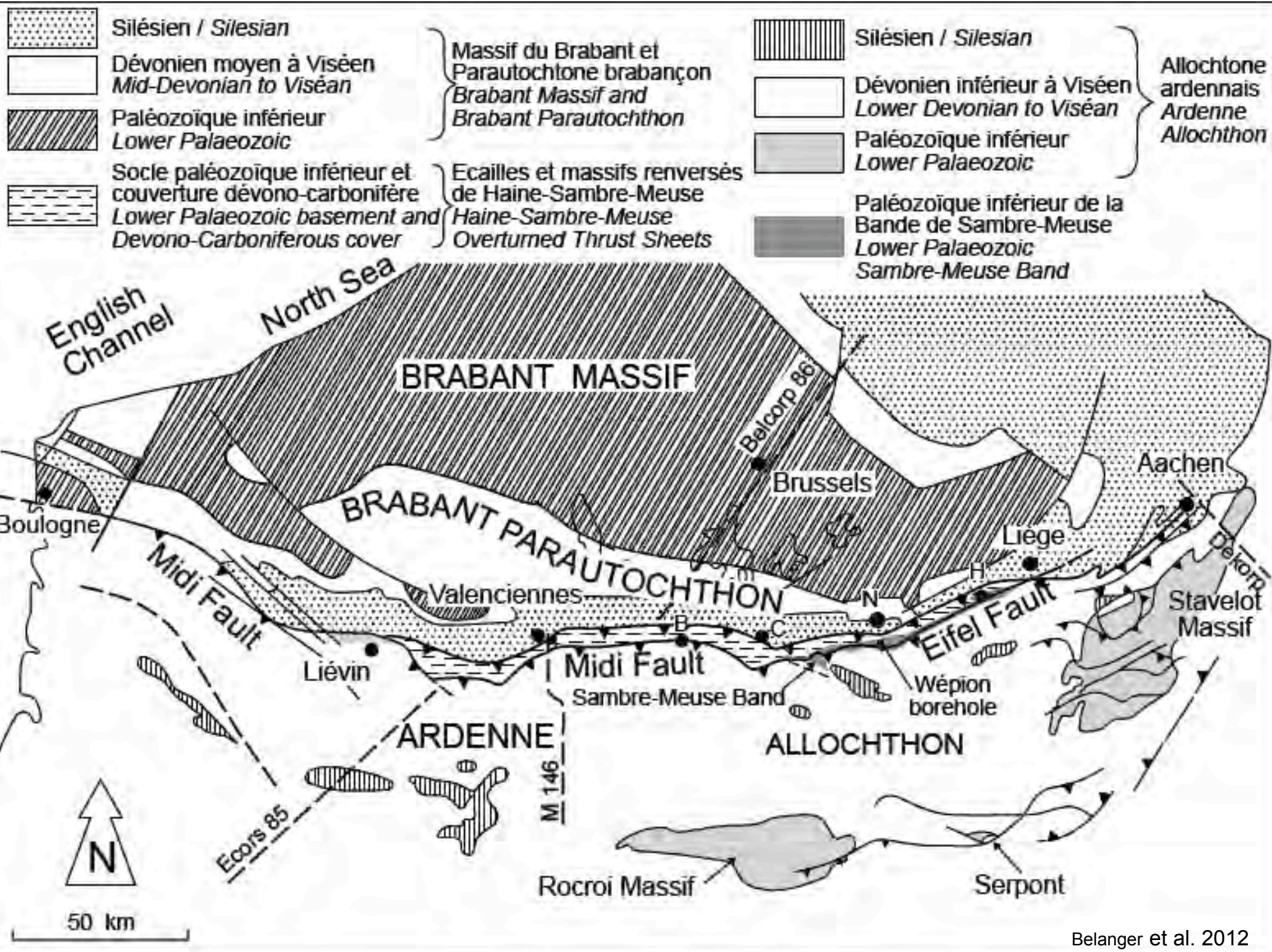
métamorphisme \Leftrightarrow compression

APPALACHES SUD (Caroline)

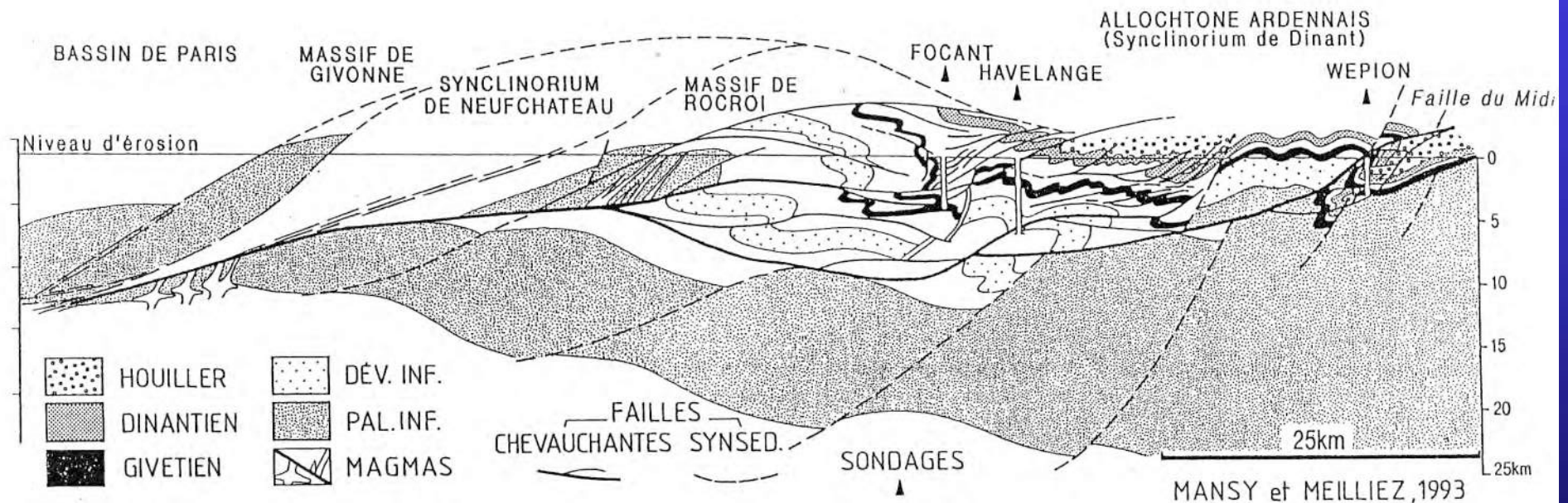
les plissements sont si souvent complexes
qu'il est difficile de les représenter
même sous forme de diagrammes!

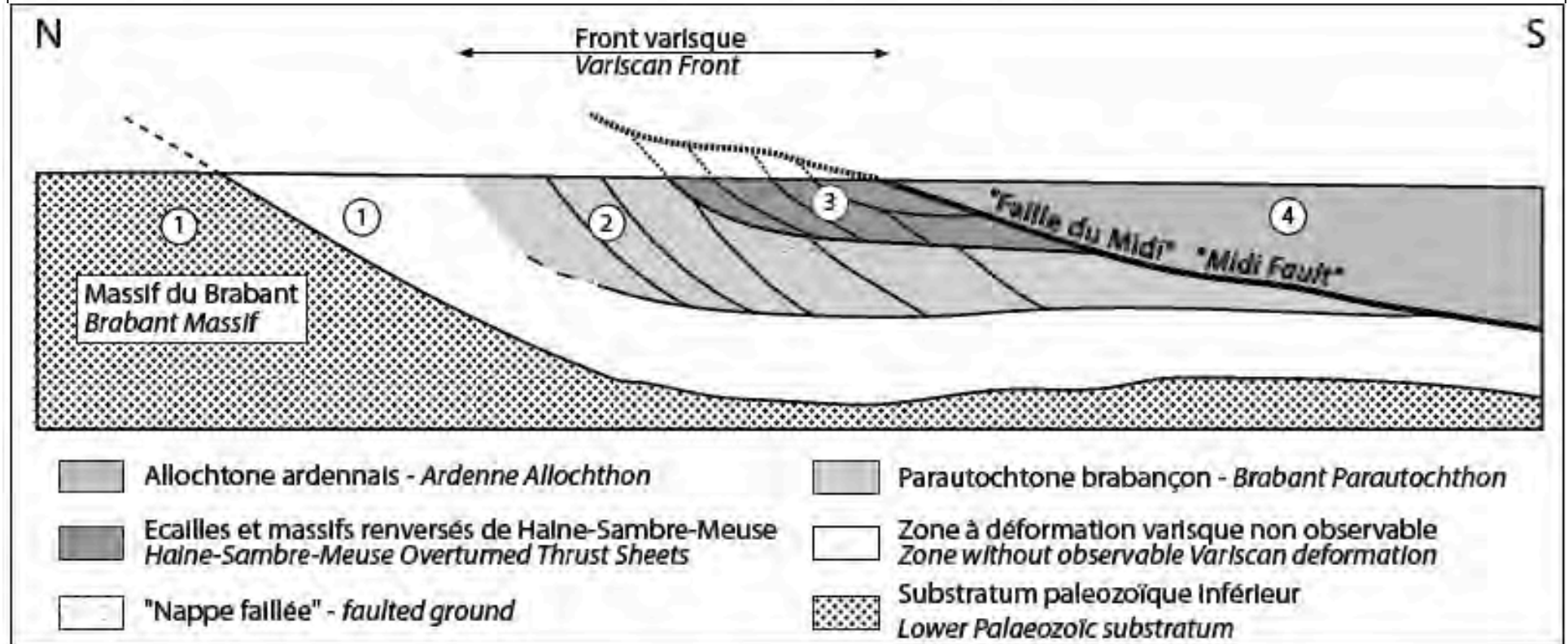
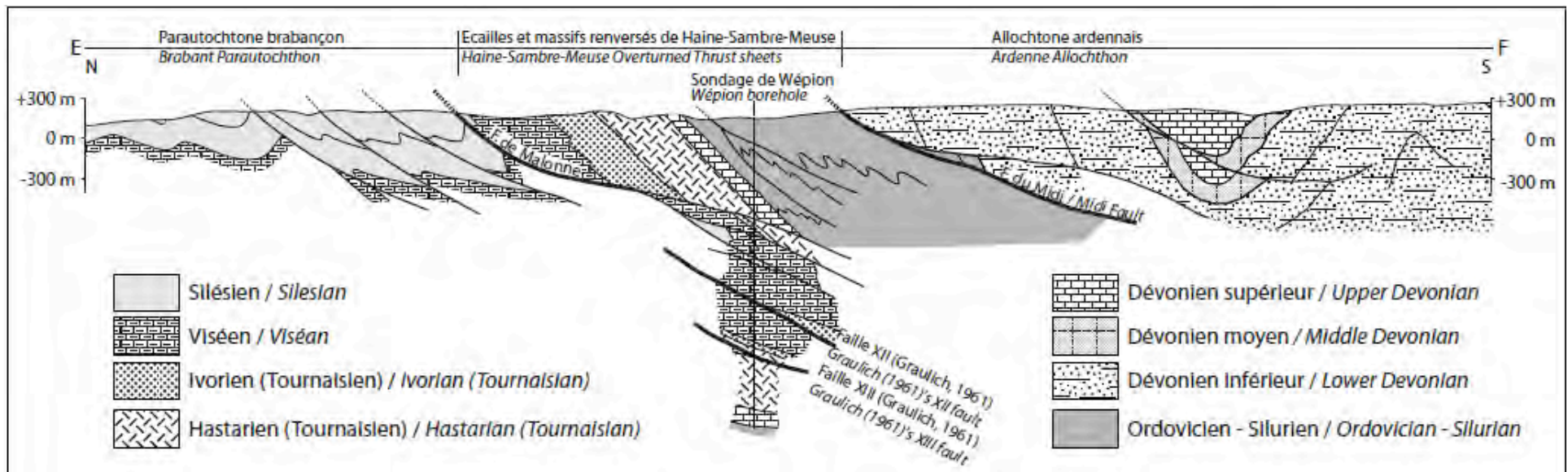


PRINCIPALES UNITES STRUCTURALES DU PALEOZOIQUE DE BELGIQUE



Exemple du 'calédonien' sur l'hercynien



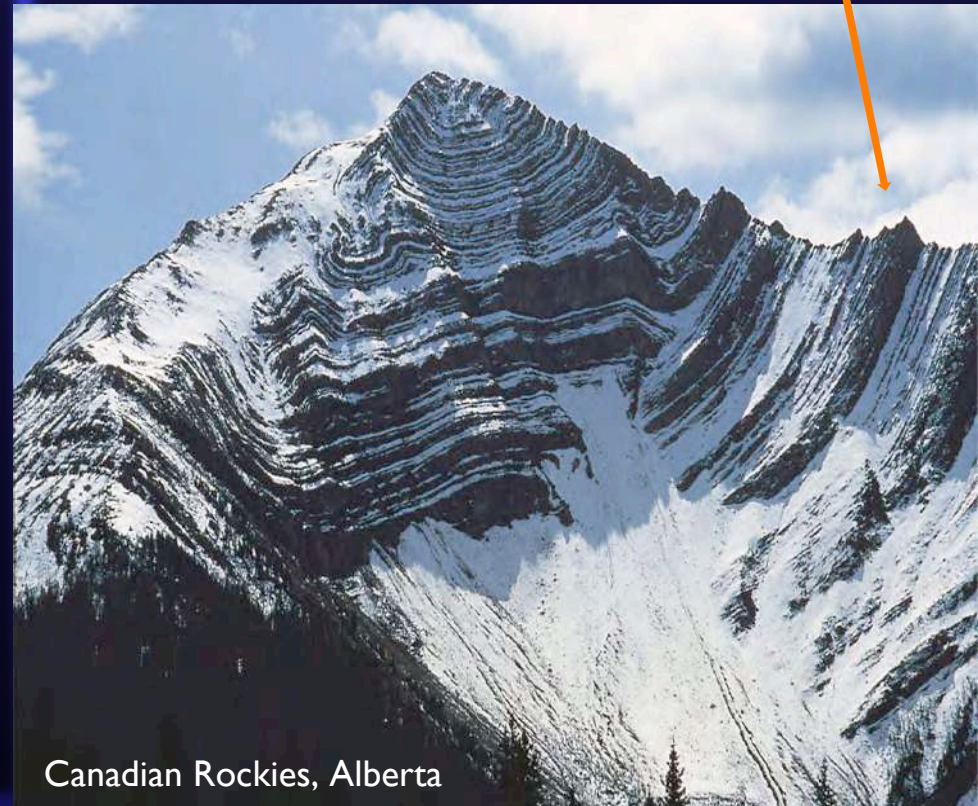


apparente
simplicité
...

1. Principe de superposition
2. Principe de continuité
3. Principe d'identité paléontologique

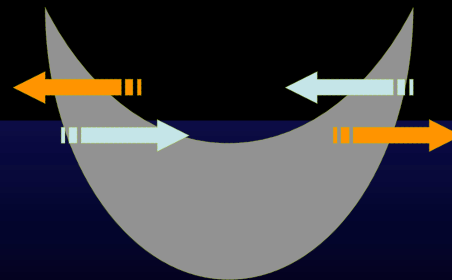


Principe de superposition (horizontalité d'origine)



+jeune +anc

Principe de superposition (horizontalité d'origine)

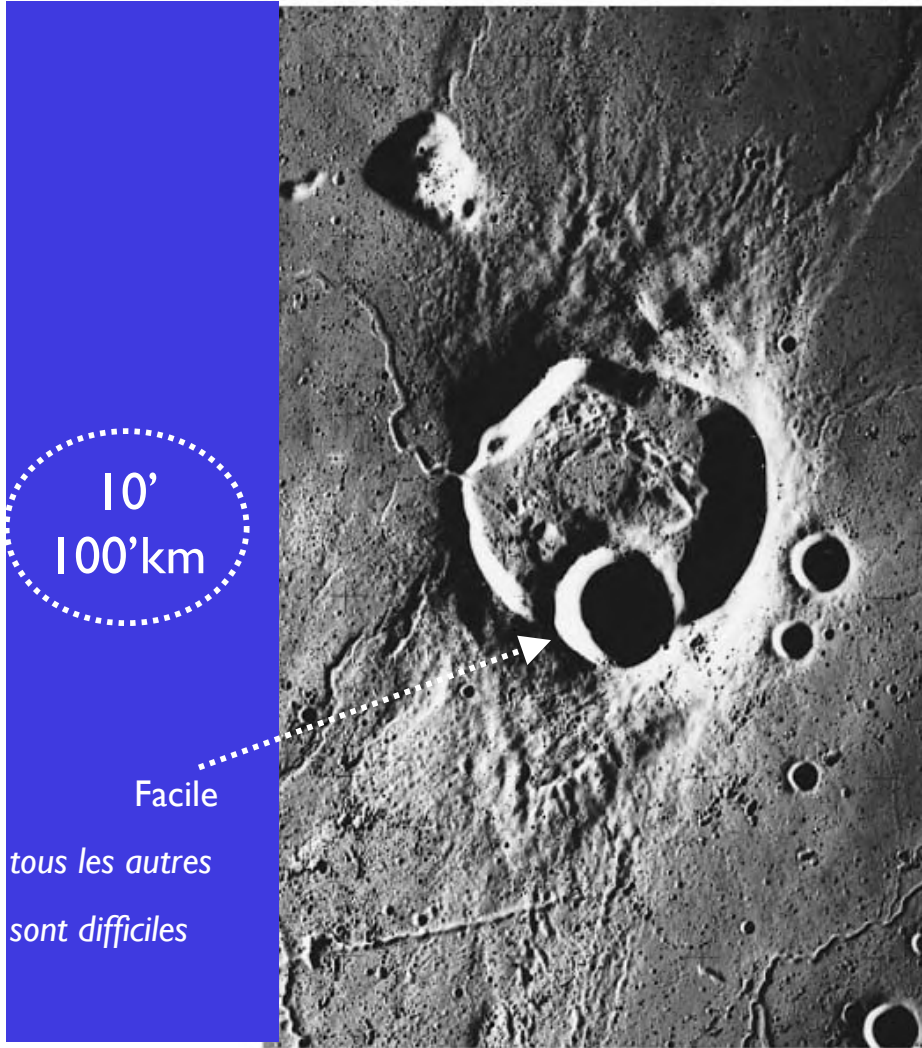


Principe de superposition (horizontalité d'origine)

Série renversée par la tectonique hercynienne



Principe de superposition valable à toutes les échelles



4

4'

3

10'
100'µm

5

4'

3

1-2

3
4

1 Principe de superposition

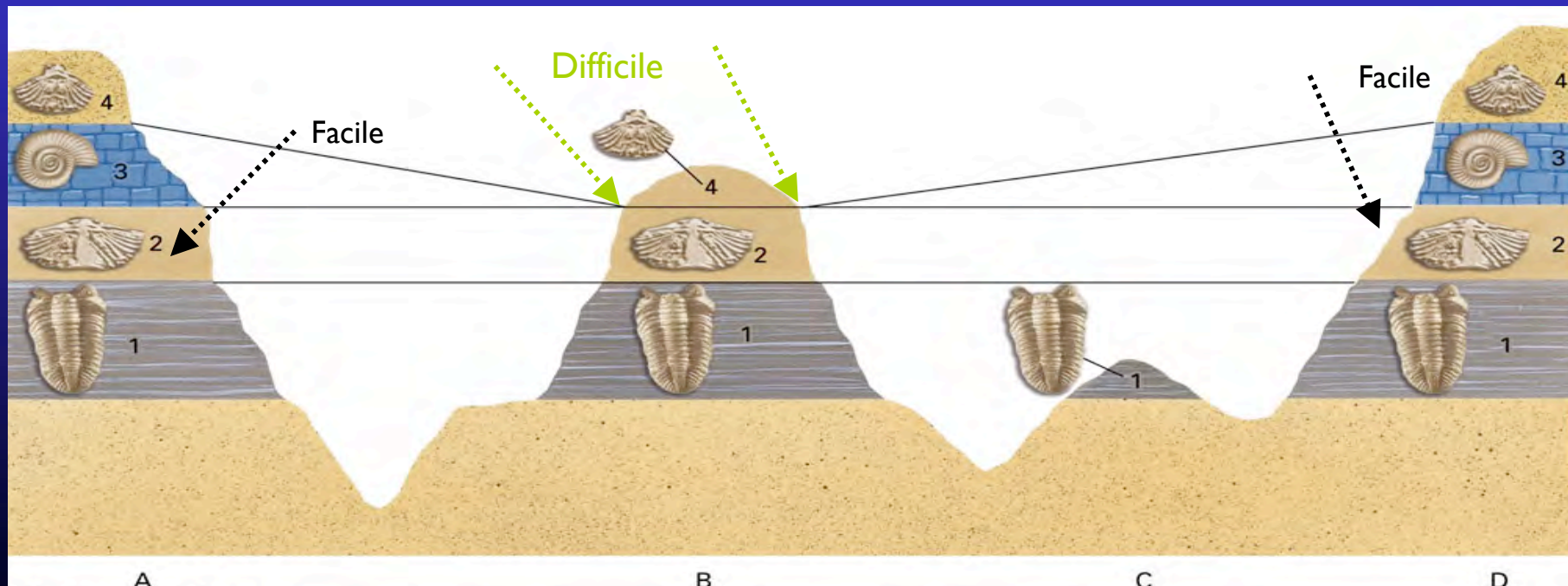
2 Principe de continuité

3 Principe d'identité paléontologique

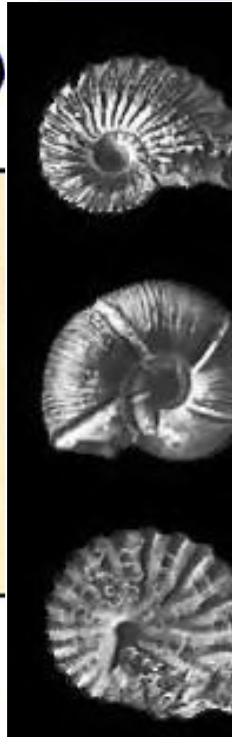
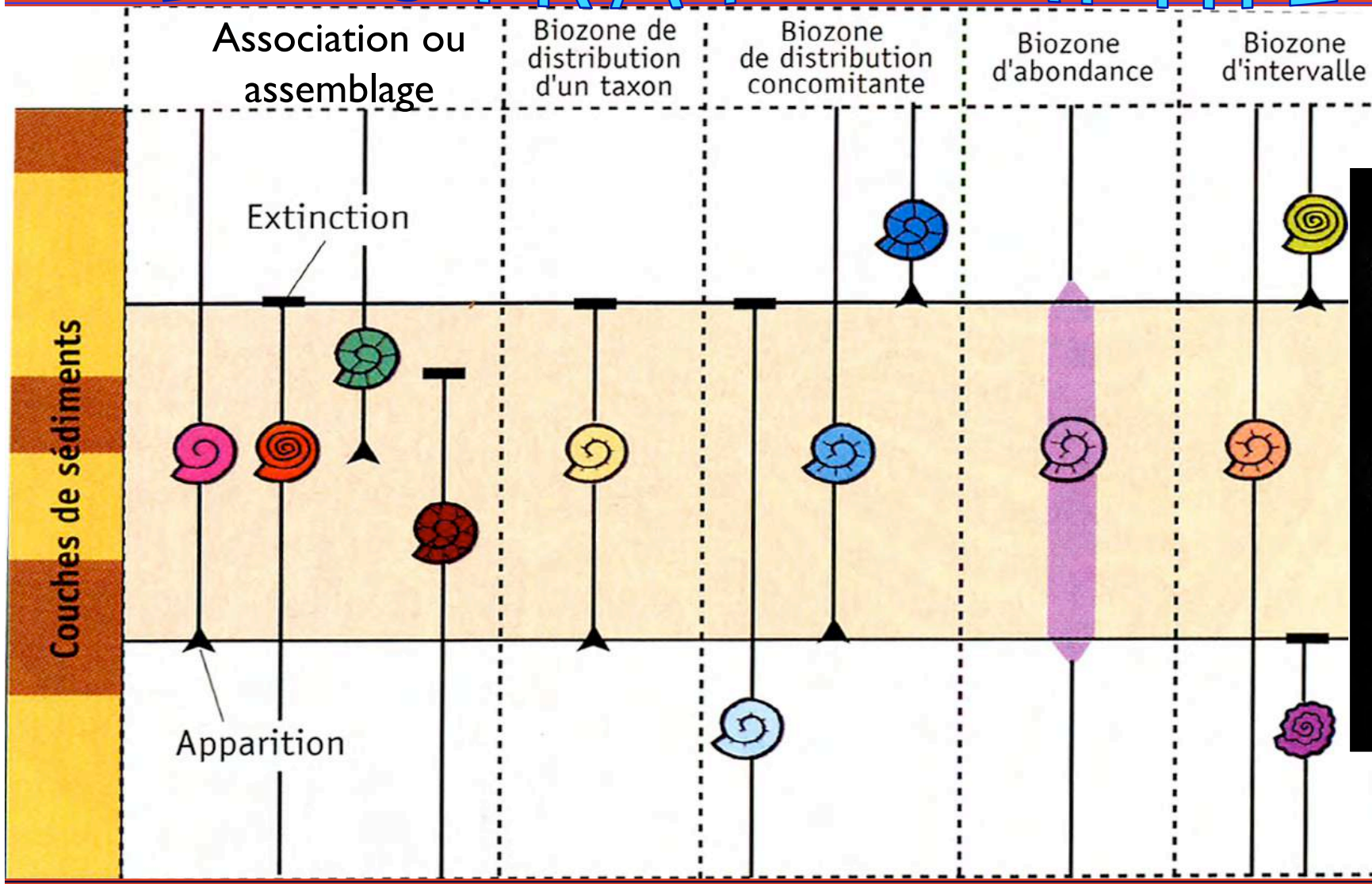
= 'Fossiles index'

Abondants (préservation) - Grande distribution géographique

Rapide évolution (tachytélie) - Facilement reconnaissables



BIOSTRATIGRAPHIE

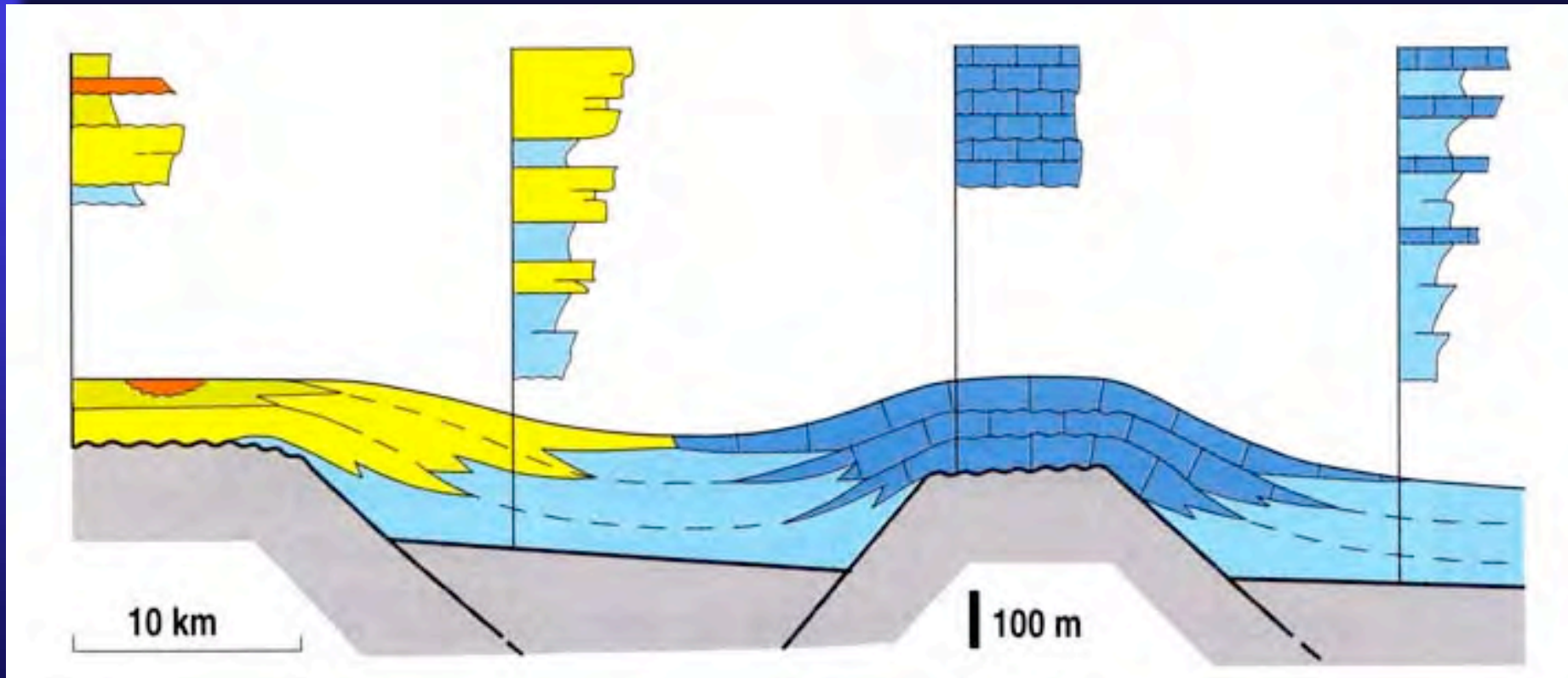


Un fossile 'seul' n'est d'aucune utilité.... (hélas...)

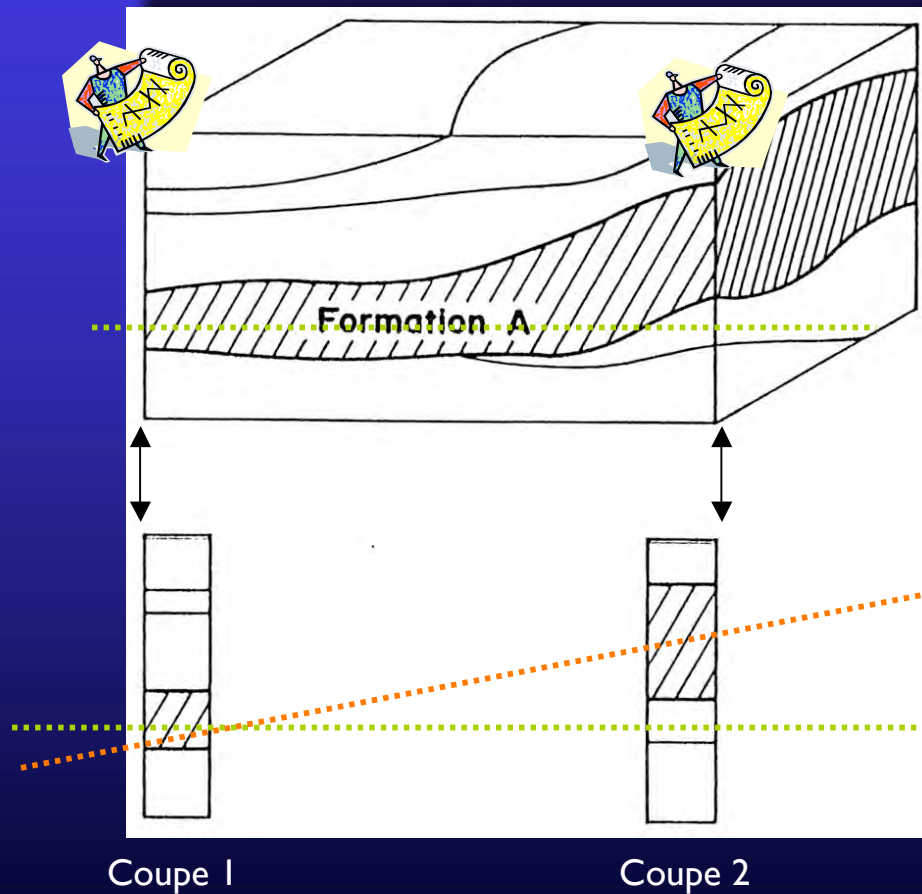


POURQUOI LE PRINCIPE DE SUPERPOSITION
(et les deux autres)
NE RESOUT-IL PAS IMMEDIATEMENT LES
PROBLEMES LIES AUX CORRELATIONS?

Les variations latérales de faciès sont la règle Fossiles de faciès vs Fossiles stratigraphiques



Les variations latérales de faciès sont la règle (toutes échelles)



T => diachronisme
(cas d'une transgression lente)

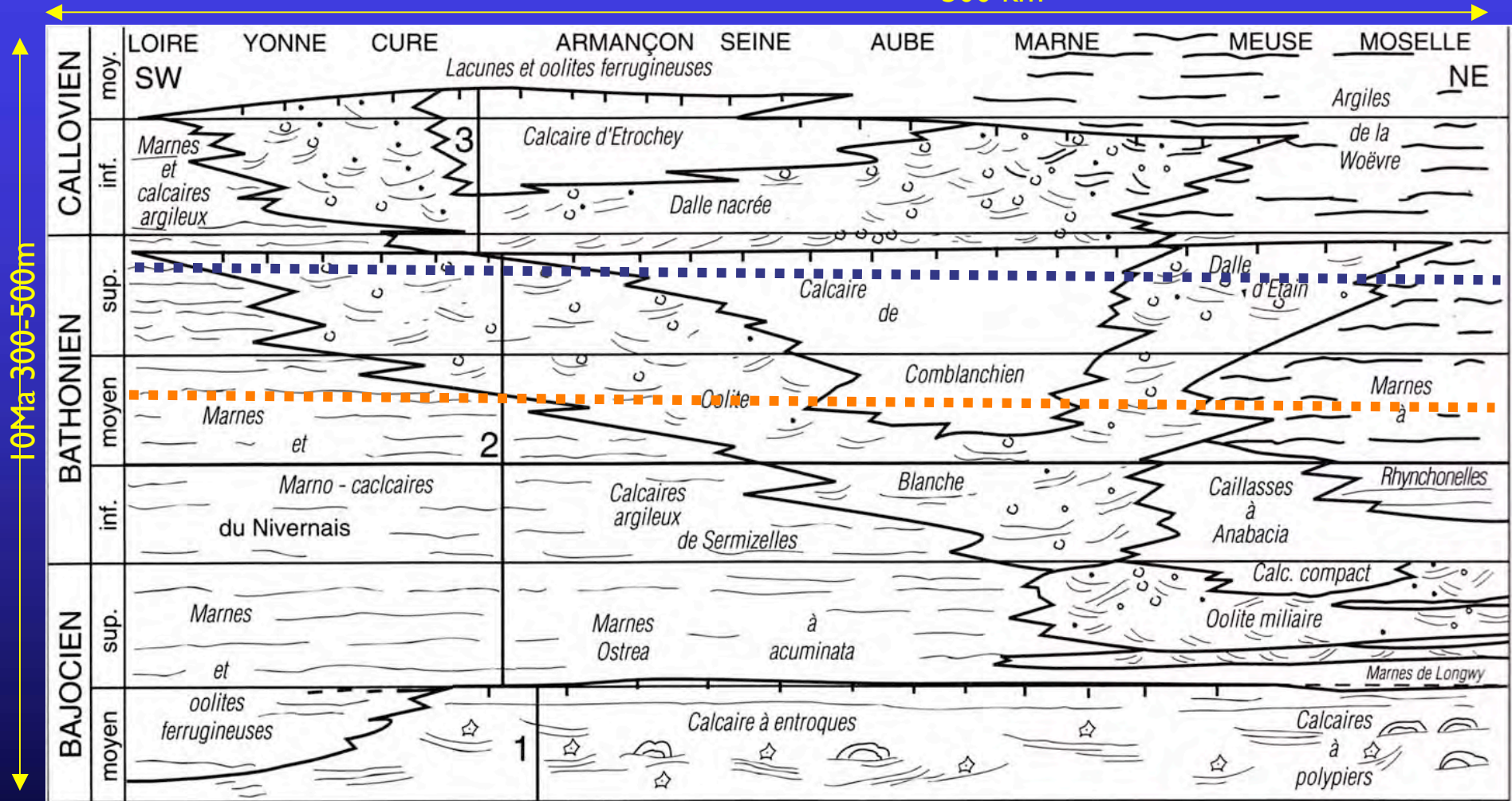
'mauvaise' corrélation

oui

Exemple: tout le Dévonien
Inférieur de Belgique, ... d'Europe

2D 'reconstitué'

500 km



Cavelier et al 1980

DOGGER - BASSIN DE PARIS systèmes sédimentaires progradants

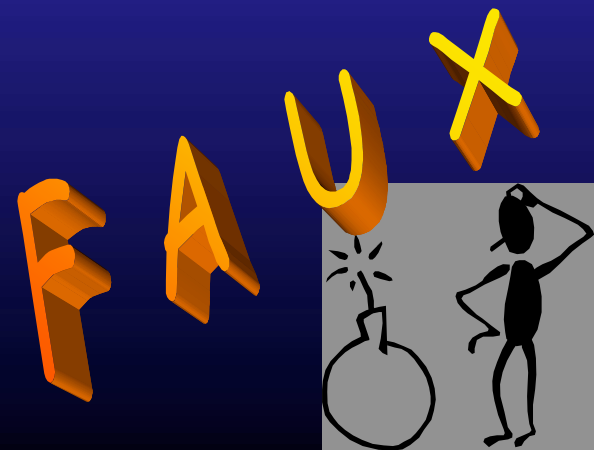
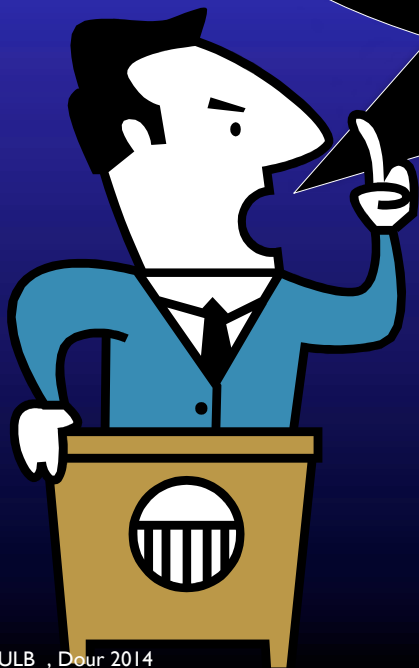
COMMENT FAIRE?

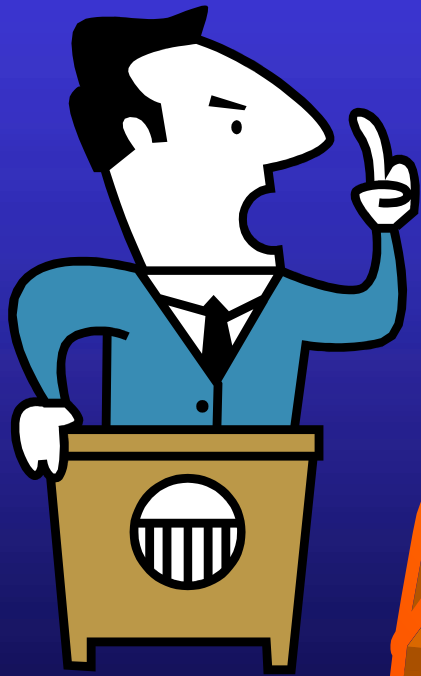


PRINCIPE(S) DE BASE est INTUITIF

à savoir que le dépôt d'une certaine quantité de matériau
(donc l'épaisseur d'une couche) = un certain laps de temps
(...qui augmente avec la quantité...)

...cela fonctionne comme cela pendant 2 siècles!





FAUX et FAUX ARCHI-FAUX

Samuel Haughton (1821-1897, Irish geologist)
« the maximum thicknesses of the strata are
proportional to the times of their formation »
=> 'one foot = 8616 years!....'

Soit un an = 0,03 mm



série géologique 'normale' et 'continue'

Pourquoi est-ce faux, archi-faux?

- séries condensées vs séries compréhensives (Frasnien 'Coumiac' vs Frasnien belge)
très nombreux autres exemples => 1:10 à 1:1000 (rapport épaisseurs)
- subsidence différentielle: séries de rifts = blocs basculés sur quelques km, 10' km ou 100'km
- joints/pas joints : exemples des séries carbonatées (=> également discontinuités 'cryptiques')
- compaction différentielle : séries argileuses vs les autres
- ...
- ...
- événements exceptionnels préservés (tempestites): Golfe du Mexique avec accumulation côtière de 10cm/1000ans (très élevé). Chaque segment de côte a une probabilité de 95% d'être touché par un 'hurricane' qui érode > 30 cm (très fréquent à l'échelle géologique)
=> en quelques sec, min, h on érode 3000 ans de sédimentation...
- ...



**LA SÉDIMENTATION N'EST PAS CONTINUE
ET IL Y A PLUS DE 'GAPS' QUE DE 'RECORDS'**

COMMENT FAIRE?

INITIALEMENT apparitions/disparitions successives de groupes d'organismes
=> terrains non métamorphisés, terrains non magmatiques (ou volcaniques)
=> terrains uniquement sédimentaires (marins surtout)

STRATIGRAPHIE = CHRONOLOGIE RELATIVE

déjà au 18ème siècle

... et les âges des terrains sont exprimés les uns par rapport aux autres
SANS UNITE DE TEMPS

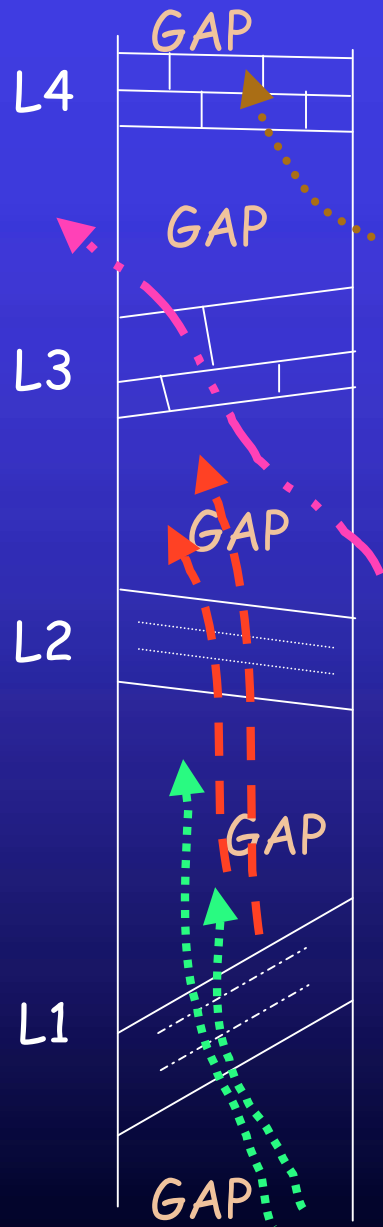
observé



Temps



L = lithofaciès
F = 'fossiles'

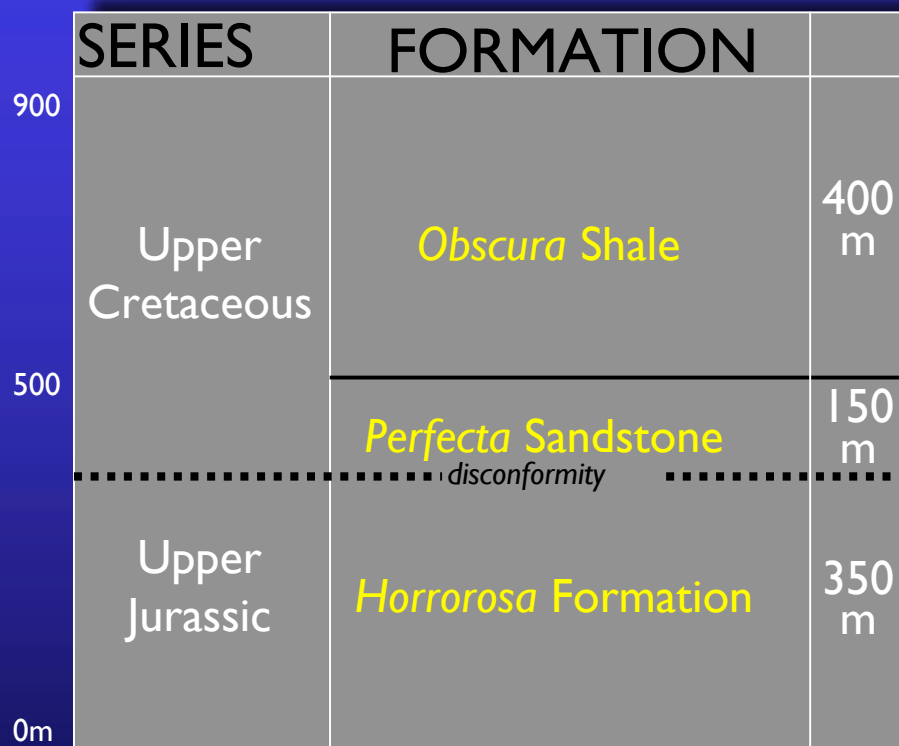


+ DÉCOMPACTION

NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de la représentation des diagrammes
(y compris le vocabulaire 'roche-temps')

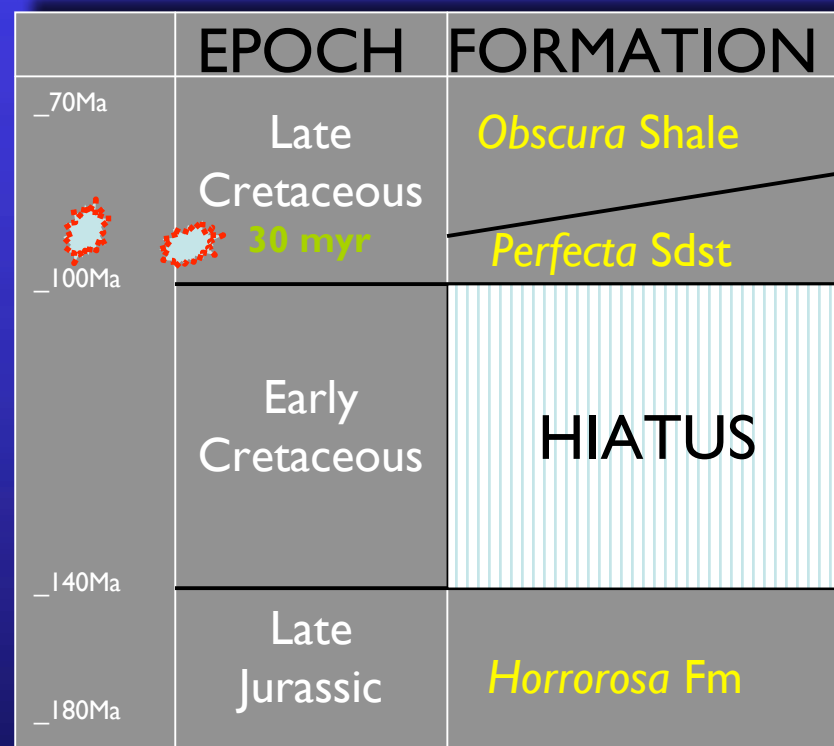
LITHOSTRATIGRAPHIE



New Mexico

observé

CHRONOSTRATIGRAPHIE

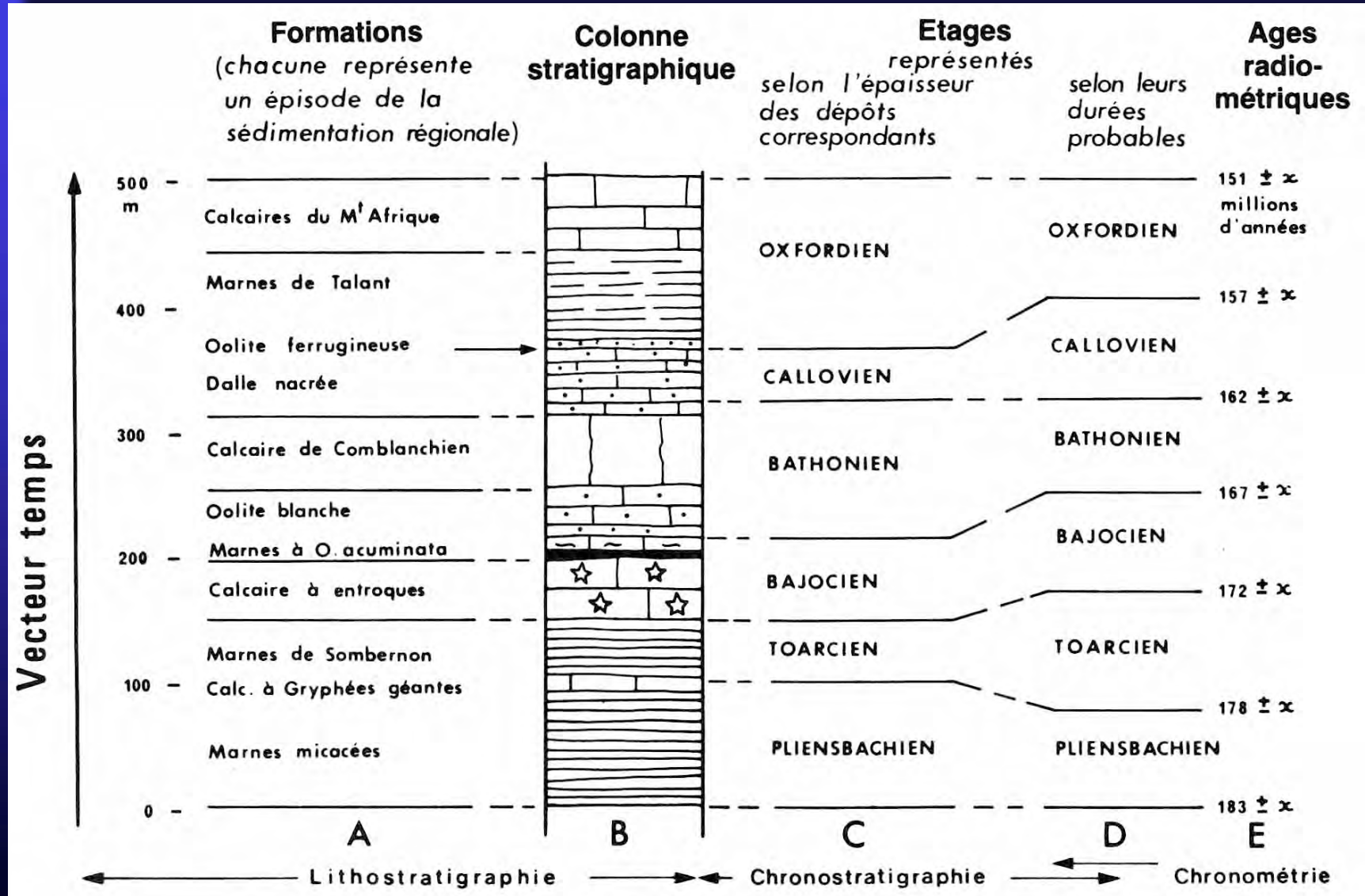


non observé

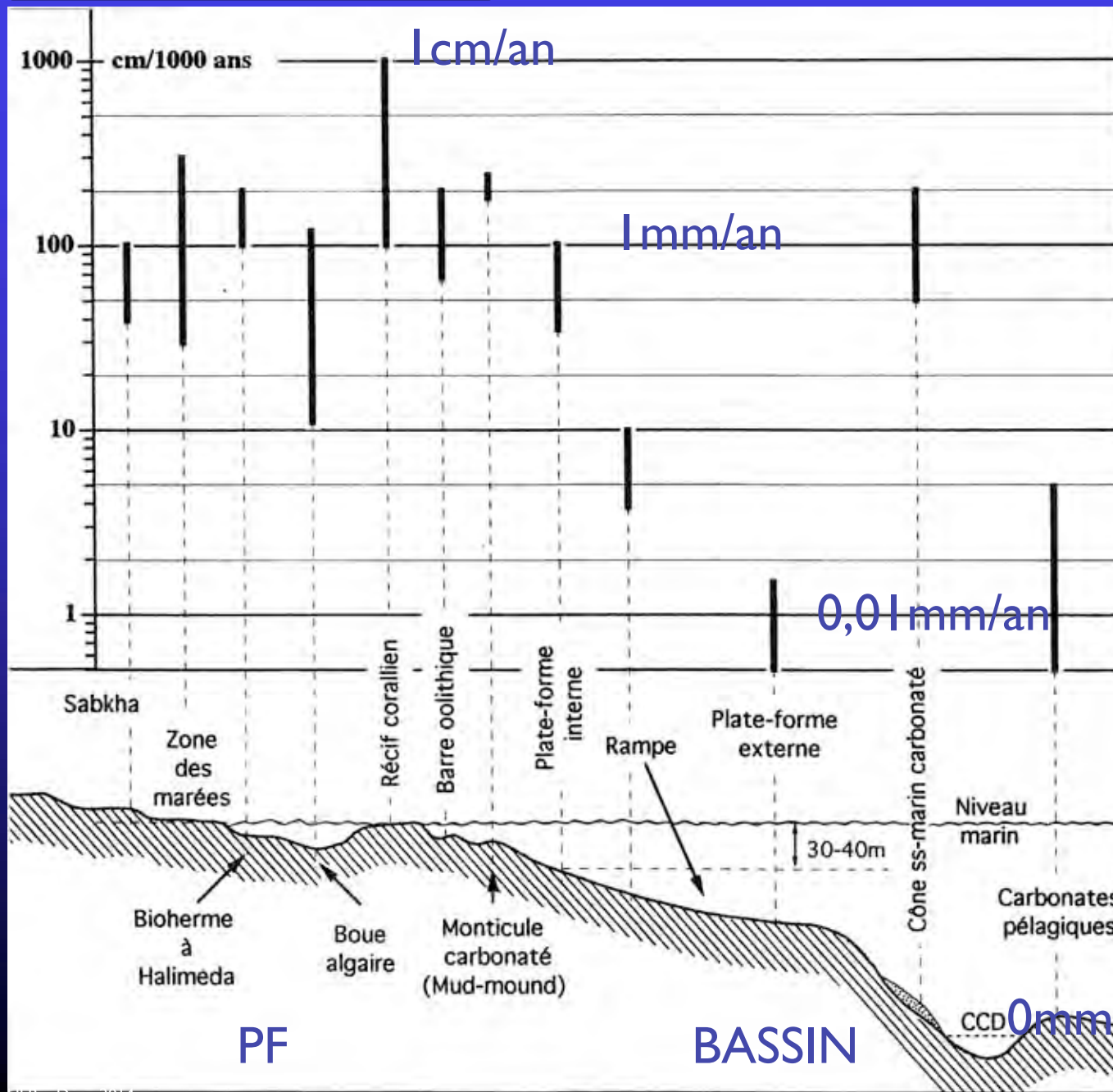
déduit

observation

'non-observation'



Pomerol et al. 1987



Taux de sédimentation
 1:1000
 +
 Non-dépôt
 +
 Erosion (syn-, post)



court terme
 VS
 long terme

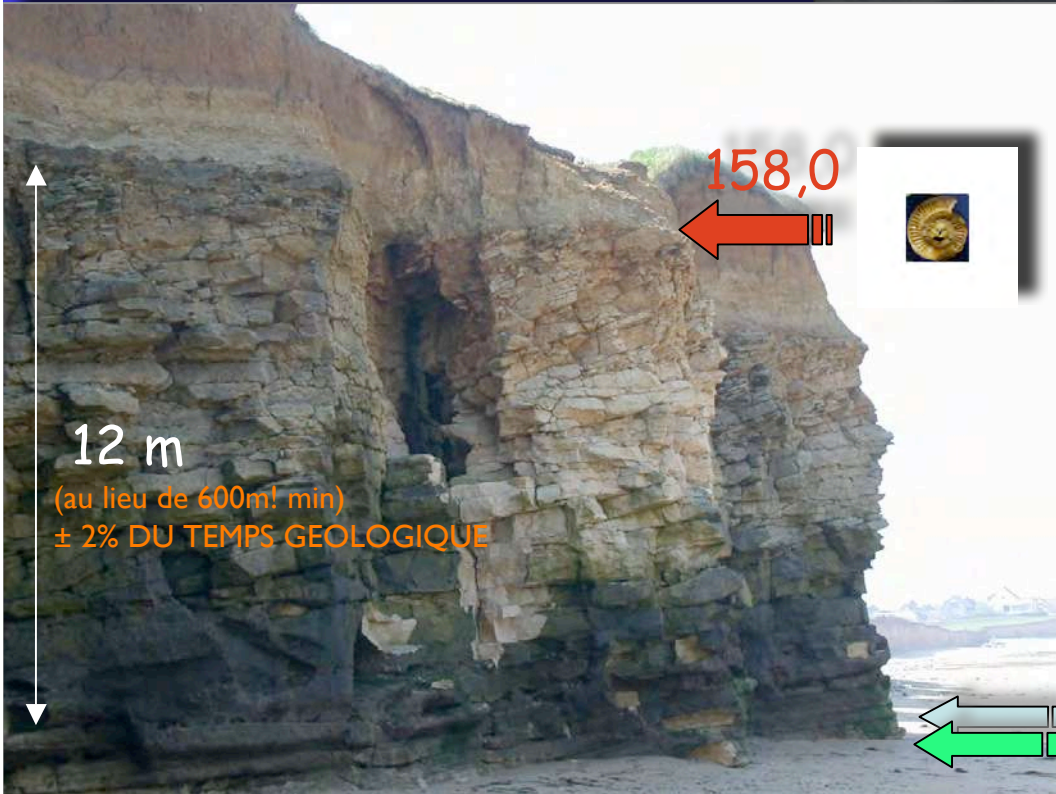
Cojan et Renard 1997

PF

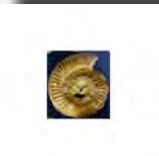
BASSIN

0 mm/an

BATHONIEN SUP
LUC-SUR-MER



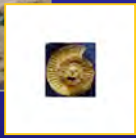
12 m
(au lieu de 600m! min)
± 2% DU TEMPS GEOLOGIQUE



60 cm

158,5

159,0



60cm/500.000 ans = 0,001mm/an

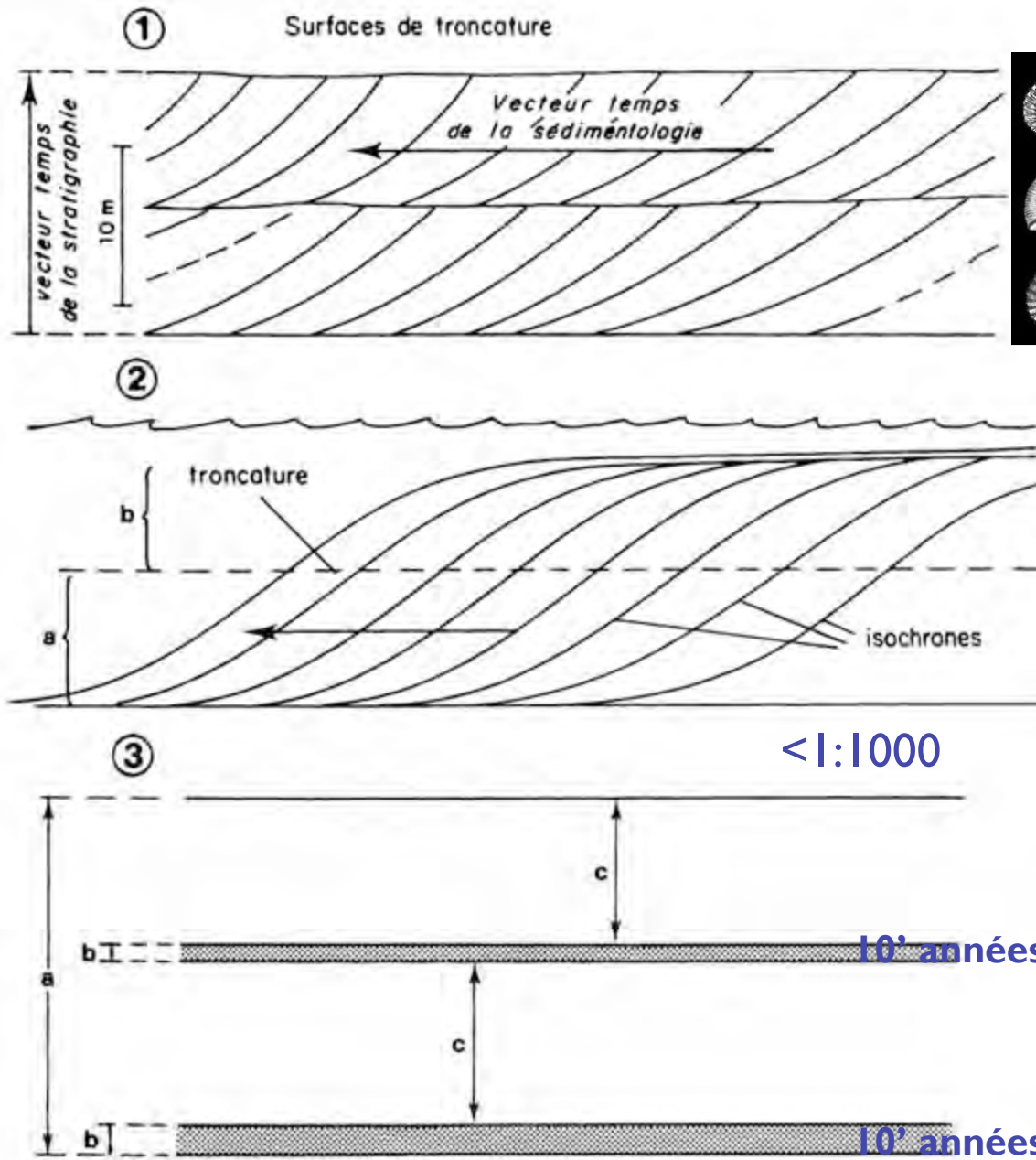
158,5
159,0

12m/500.000 ans = 0,02mm/an
= FAUSSE VALEUR = 1mm min

en est-on sûr...?

soit 0,01mm/an
pour 12,6m/1Ma

Calcaires crinoïdiques bajociens de Bourgogne



200 000 ans



1. GEOMETRIE

Les lignes temps sont le plus souvent obliques (corps sédimentaires)
Ensuite les séries sont plissées, charriées ('déchiquetées')

2. TEMPS RELATIF ET ABSOLU

Les deux restent indispensables

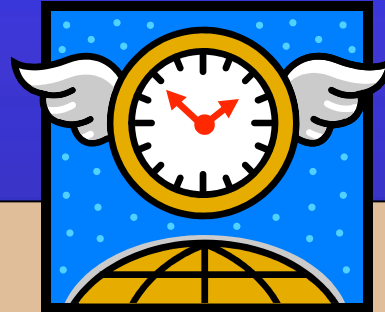


3. VITESSE

La cinétique des phénomènes dépend de la résolution temporelle

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....



T_x'

0,5
à
5%

T_x'

Il manque donc 95 à 99,5% du temps

T_x

série géologique 'normale' et 'continue'

T_x

COMMENT LE PROUVER?

REPRESENTATIVITE DU TEMPS 'GEOLOGIQUE' DANS LES ROCHES OU LES SERIES...

Crétacé
inférieur
Fara
San Martino



joints de
stratification
+

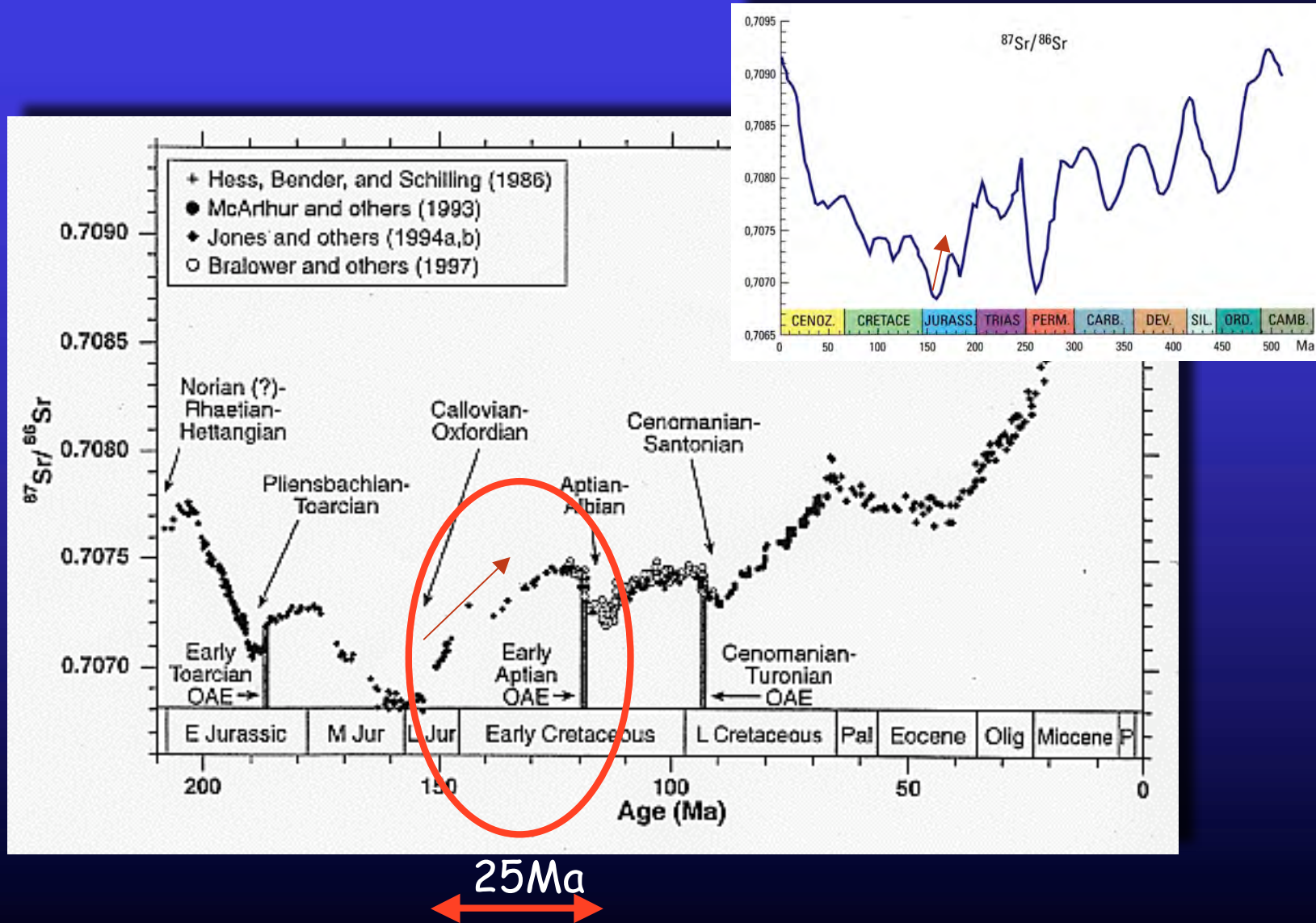
LOFERITES
(tidal flats)
0,3-3 mm/an

Maiella
Abruzzes



Utilisation des isotopes radiogeniques « stables »

CRETACE INFERIEUR D'ITALIE: PLATE-FORME CARBONATEE



CRÉTACÉ INFÉRIEUR Italie Centrale



Aptien

joints de stratification

± 300 m
25 Ma

J/K

0,4
à
4%

LOFERITES (tidal flats)
0,3-3 mm/an



± 30 cm

Tapis cyanobactériens

1000 ans

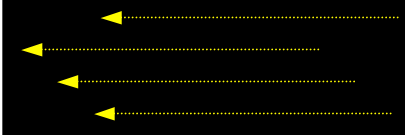
100 ans

0,3 mm ==> 300 m/Ma
soit 1 Ma/25Ma = 4%
[ou 0,4% si 3 mm]

LES SERIES NE SONT DONC PAS CONTINUES



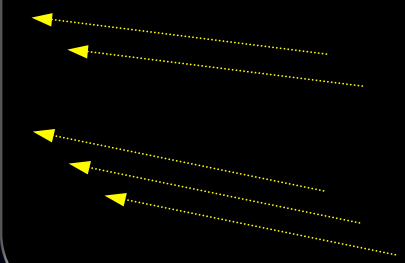
96 à 99.6%



joints de stratification
+

LOFERITES
(tidal flats)
0,3-3 mm/an
et diasthèmes
(disc. cryptiques)

96 à 99.6%



GRES D'ANNOT Oligocène 35Ma max 250m, NE Castellane

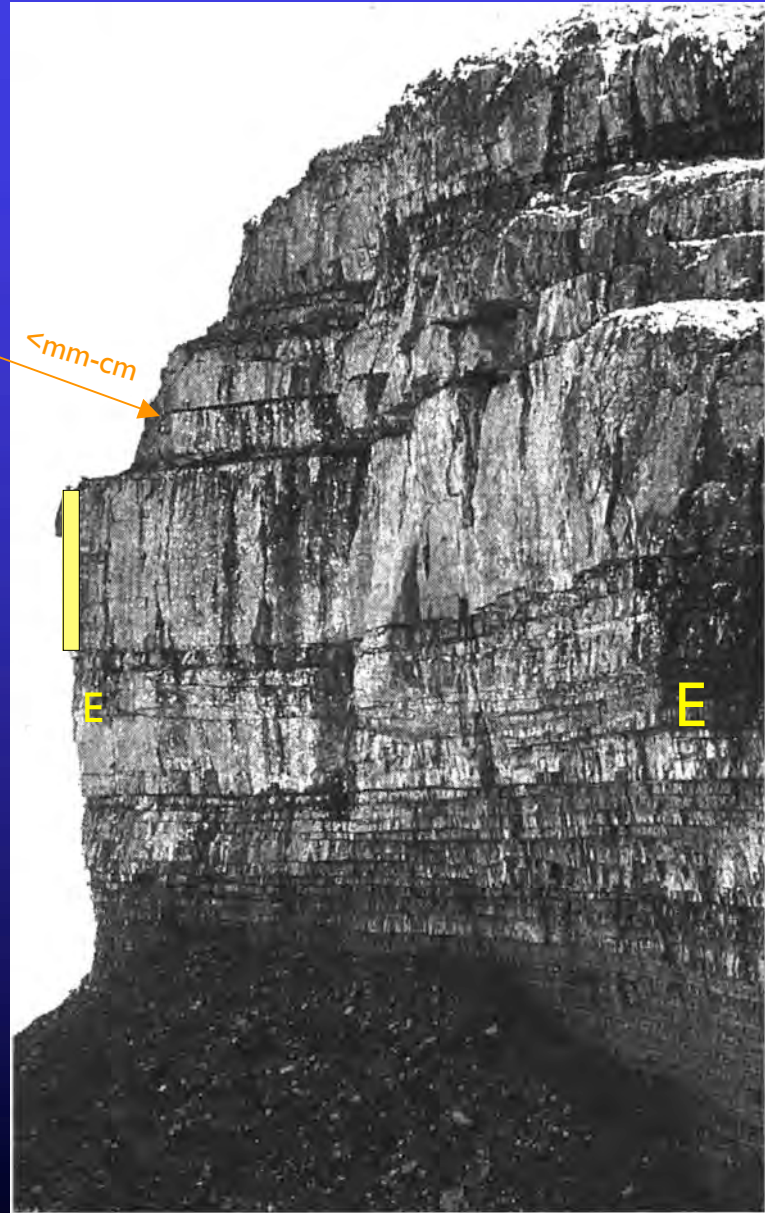


Jt
qq 10^3 a
à 10^5 a

<mm-cm

Bc
qq h/j

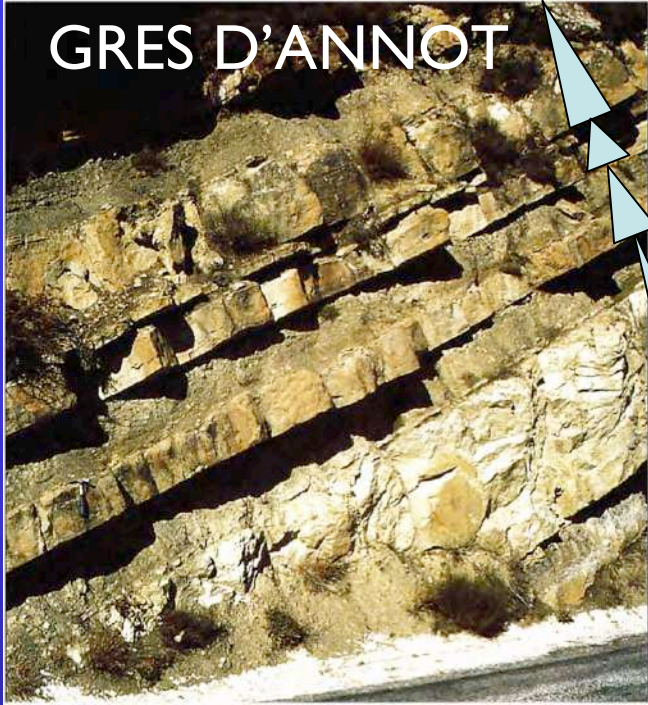
2 à 6m



De Wever et al 2005

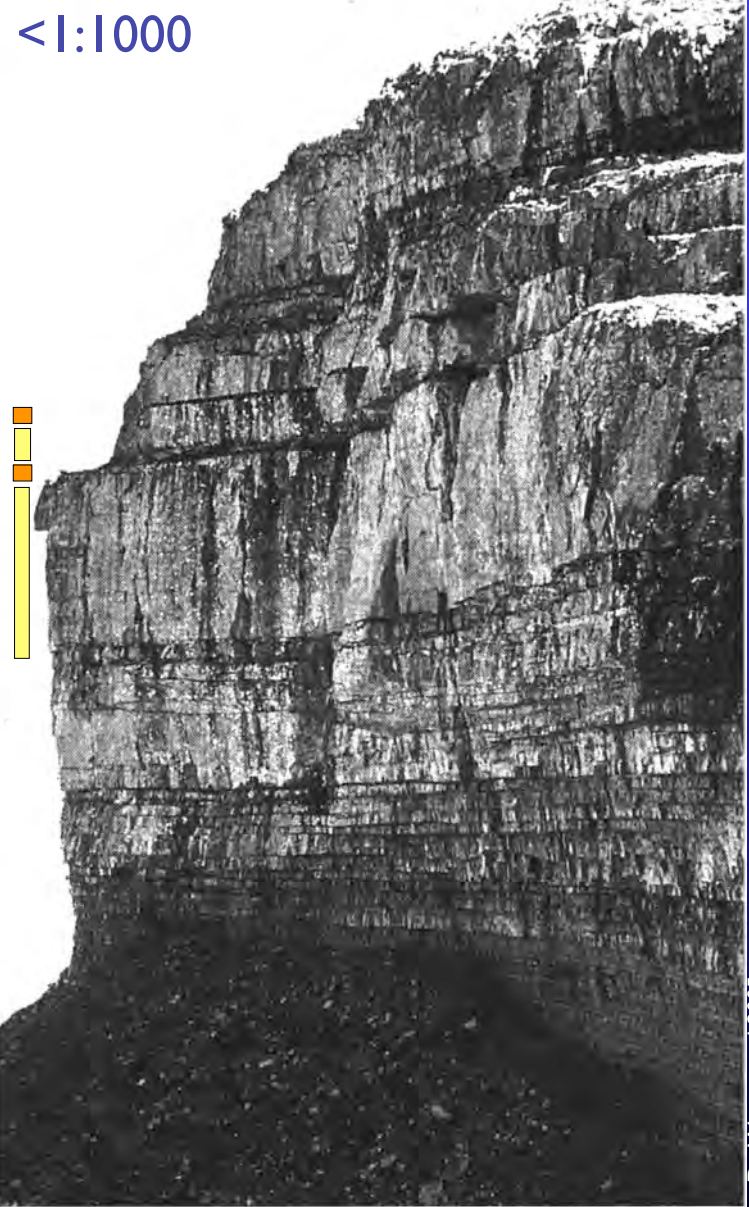
GRES D'ANNOT

4m



E
O
C
E
N
E

Oligocène 35Ma 250m max



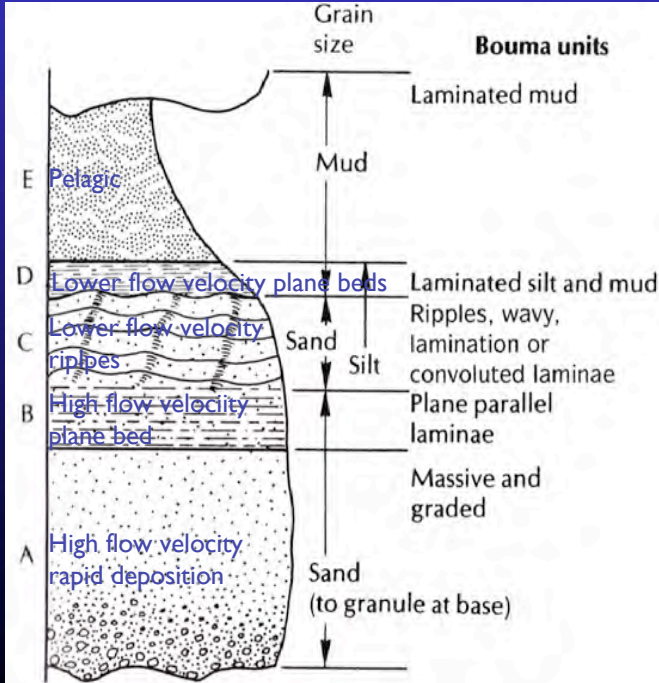
Jt
qq 10^3 a
à 10^5 a

Bc
qq h/j

6Ma

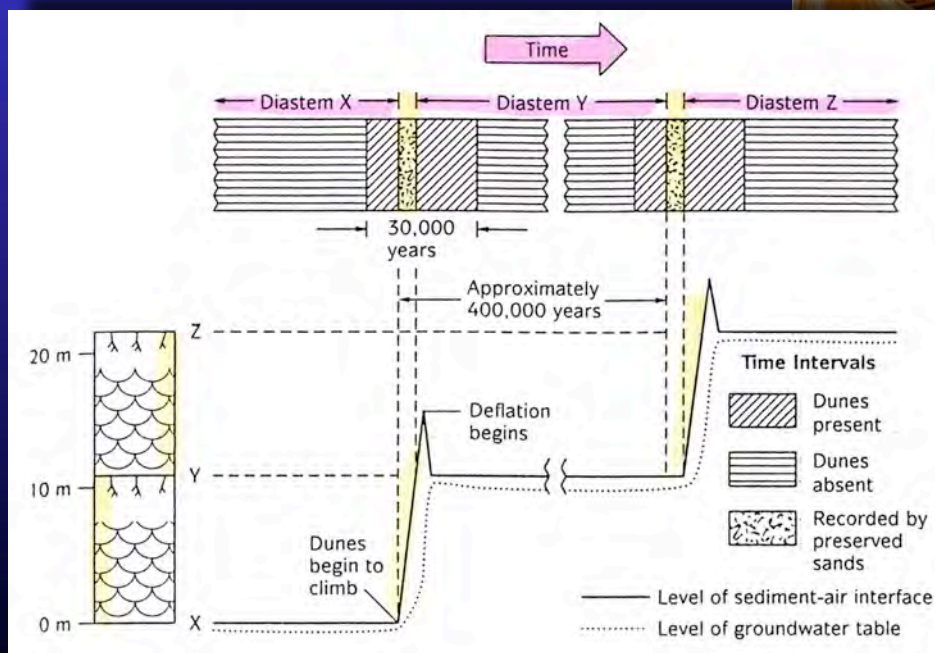
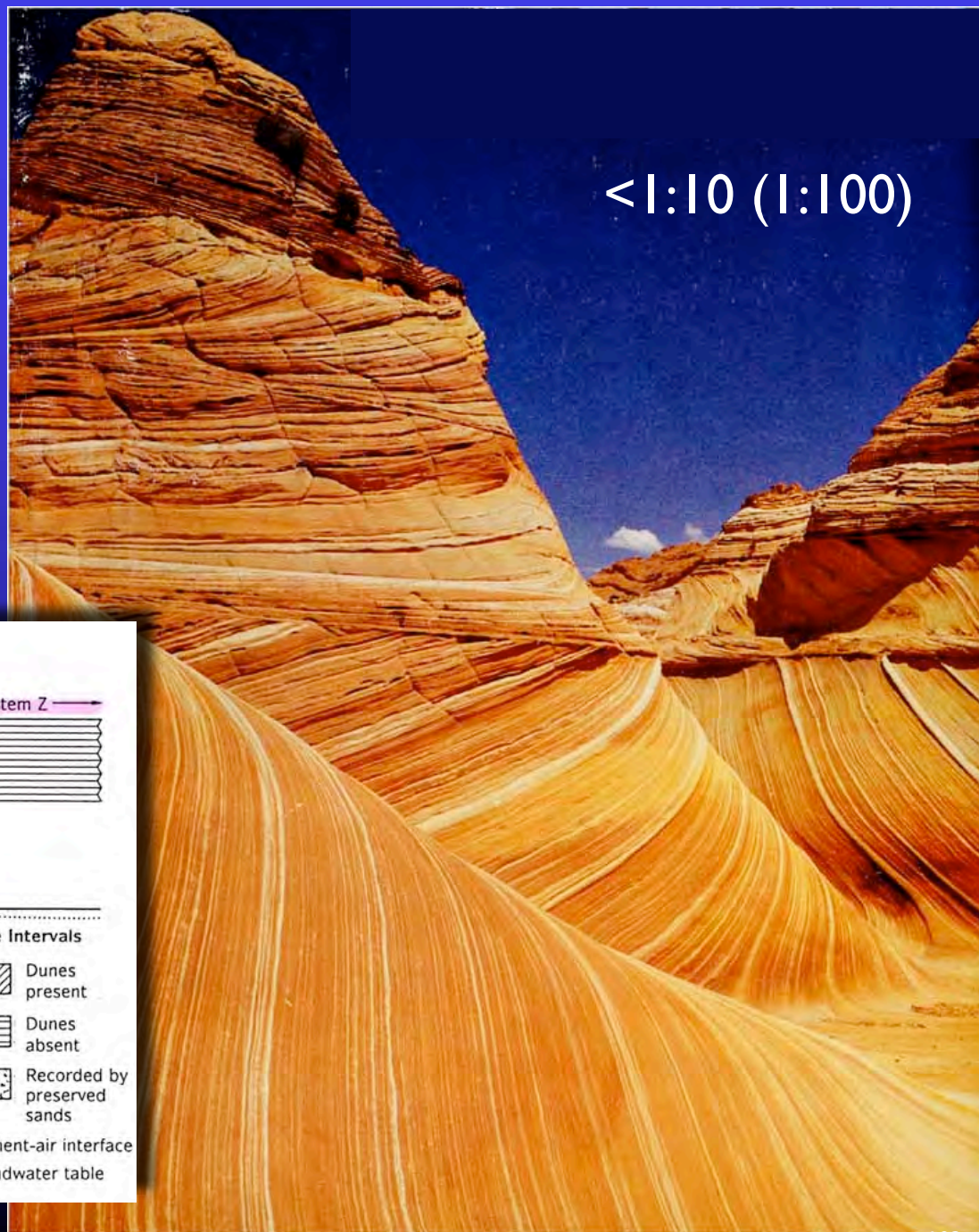
Très lent

Très rapides



De Wever et al 2005

Navajo Sdst,
Utah-Arizona
±60.000km²,
600m épMAX,
35mMax - l dune
J, dunes éoliennes



Loepe 1985

...nombreux autres exemples...

La période de dépôt d'un corps sédimentaire est
TRES COURTE et sa surface supérieure correspond
à un arrêt de sédimentation avec ou sans érosion,
d'une durée 'impossible' à déterminer mais qui est
beaucoup PLUS LONGUE que la période de sédimentation

GRAND CANYON

Question
série continue??
quid par rapport
à 0,3 mm/an

1200m/500Ma

M **PHANEROZOIQUE**

A **$154\text{km} = 0,28 \text{ mm/an}$**

X **y compris 'gaps' et discontinuités**

situation la plus réaliste

GD CANYON (USA)

$1,2\text{Km} = 500 \text{ Ma}$

$1\text{an} = 0,0024 \text{ mm}$ HORS PCm

**>100X
MOINS!**

**>1000X
MOINS!**
par rapport
à l'ACTUEL

Les séries géologiques sont donc des 'gruyères' temporels

NOMBREUSES CONSEQUENCES

- Extinctions 'massives'
- Spéciation
- Impact météoritique
- Eruption volcanique
- Dégazage clathrates
- Corrélations
- métallogénie, hydrologie etc ...



R
E
L
A
T
I
F

1975	M.R.H. Gon.	G.K. Conod.	J.T.D. Brach.	W.A. O. Coraux	A.R.O. Trilobites	1982 Absolu	1989 Absolu
Famennien	23.0%	22.9%	20.4%	15.0%	14.6%	14.6%	9.8%
Frasnien	15.3	18.7	14.2	13.3	16.6	14.6	22.6
Givetien	15.3	12.5	14.2	16.6	18.7	12.5	7.4
Eifelien	15.3	12.5	10.2	16.6	12.5	14.6	11.3
Emsien	7.7	12.5	20.4	8.3	20.8	14.6	9.5
Praguien	15.3	8.3	10.2	16.6	4.2	14.6	12.8
Lochkovien	7.7	12.5	10.2	13.3	12.5	14.6	26.5

A
B
S
O
L
U

A
B
S
O
L
U

	1986	1990	1982	1989	2008
Famennien	13 Ma	10	7	13	15.3±2.5
Frasnien	9	5	7	9	10.8±2.6
Givetien	12		6	12	6.5±2.7
Eifelien	7		7	7	5.7±2.7
Emsien	6		7	6	9.5±2.7
Praguien	4		7	4	4.2±2.8
Lochkovien	9		7	9	4.8 ±2.8

359.2 Ma

G
T
S

416.0 Ma

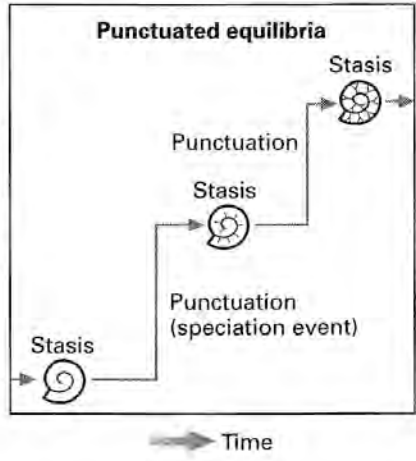
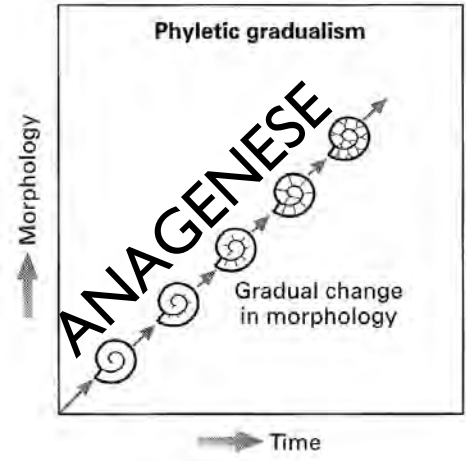
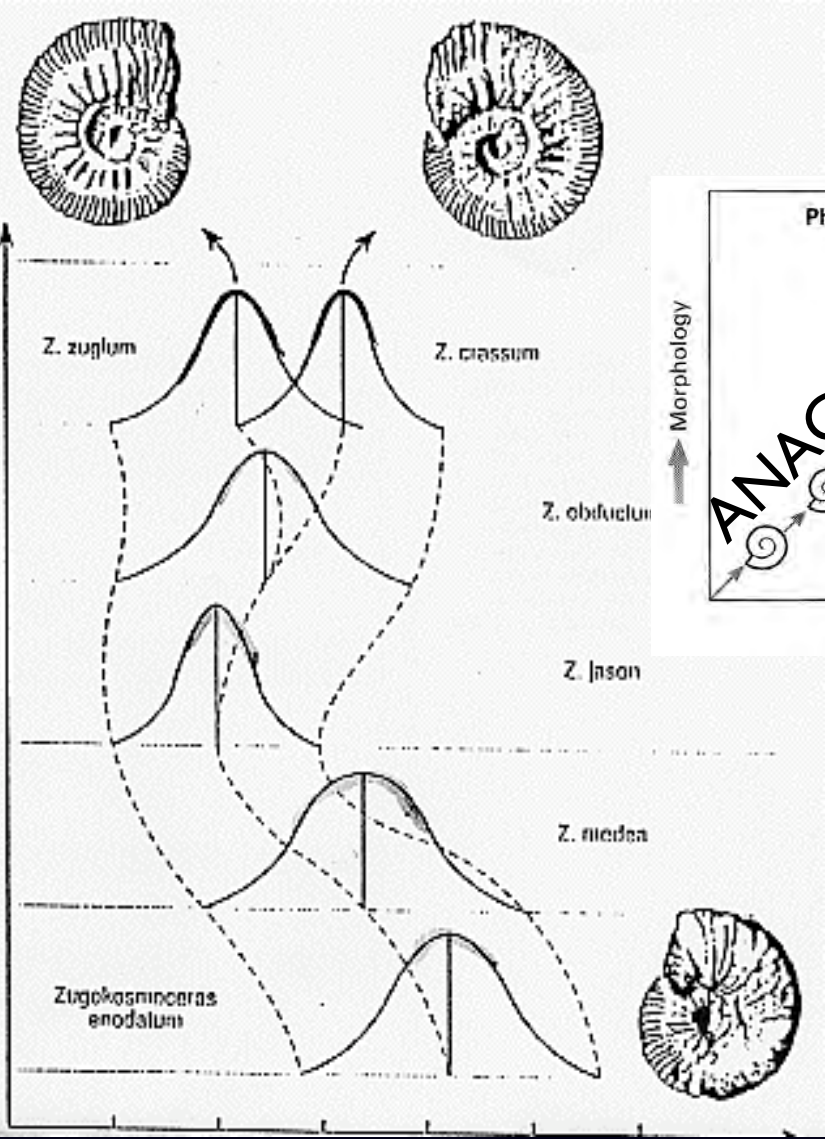
NOMBREUSES CONSEQUENCES

Exemple de l'évolution des espèces

cladogenèse quantitative
**EQUILIBRE
 PONCTUE**

sommet
 Callovien
 moyen

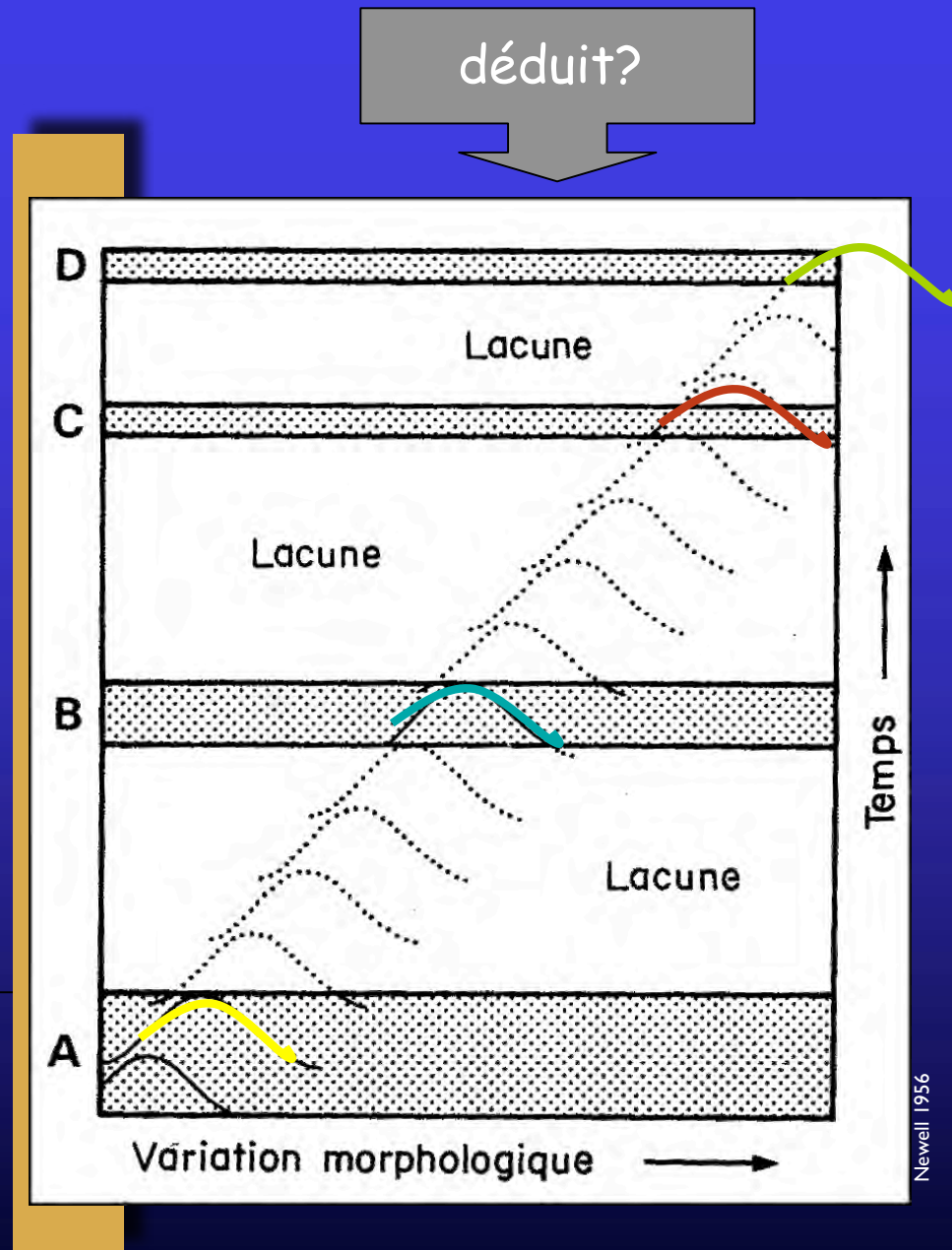
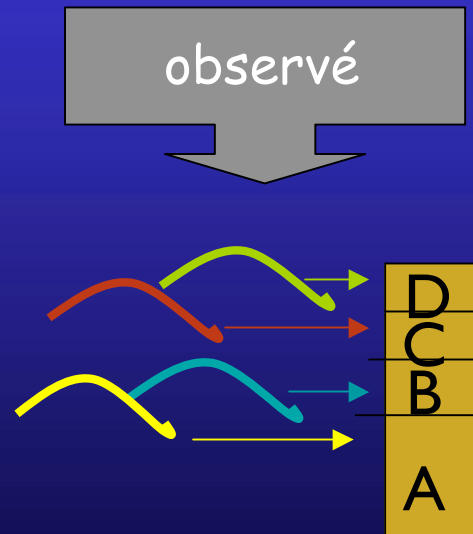
base
 Callovien
 moyen



Tintant 1963

Nichols 1999

SPECIATION ACTUELLE
LACS EST-AFRIQUE
Poissons cichlidae
Spéciation < 4000 ans



L'interprétation peut dépendre de l'échantillonnage (temporel)

SYNTHESE

A petite échelle, elle est la plus fiable

GEOMETRIE

Elle est compliquée (obliques) et ensuite hyper-compliquée (plissement)

Mais elle doit être calibrée à grande échelle

TEMPS RELATIF ET ABSOLU

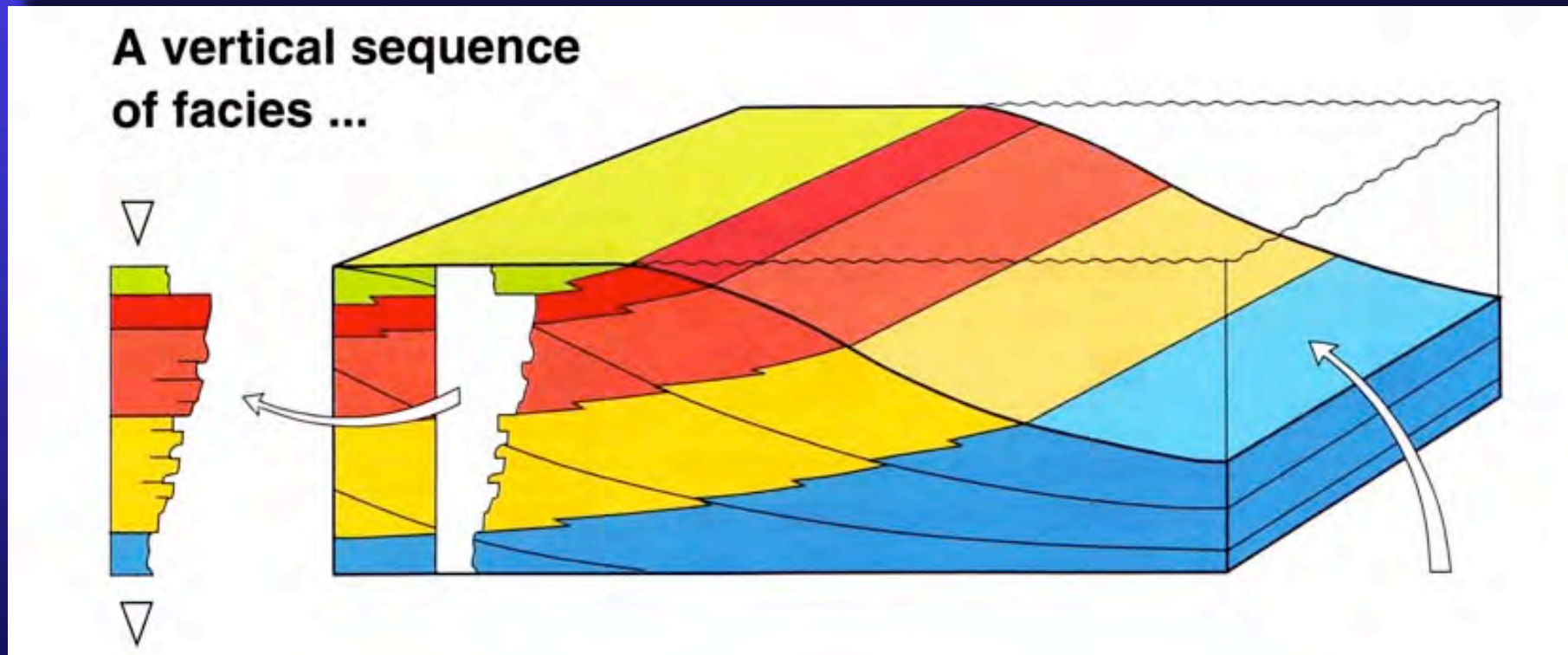
L'enregistrement temporel est l'exception... les séries sont des gruyères temporels

VITESSE-CINETIQUE

Alors seulement les processus peuvent être quantifiés 'spatio-temporellement'

QUELQUES CONCLUSIONS...

Les couches ne sont pas partout strictement horizontales
Il s'agit plutôt de corps sédimentaires 'sigmoïdes' progradants

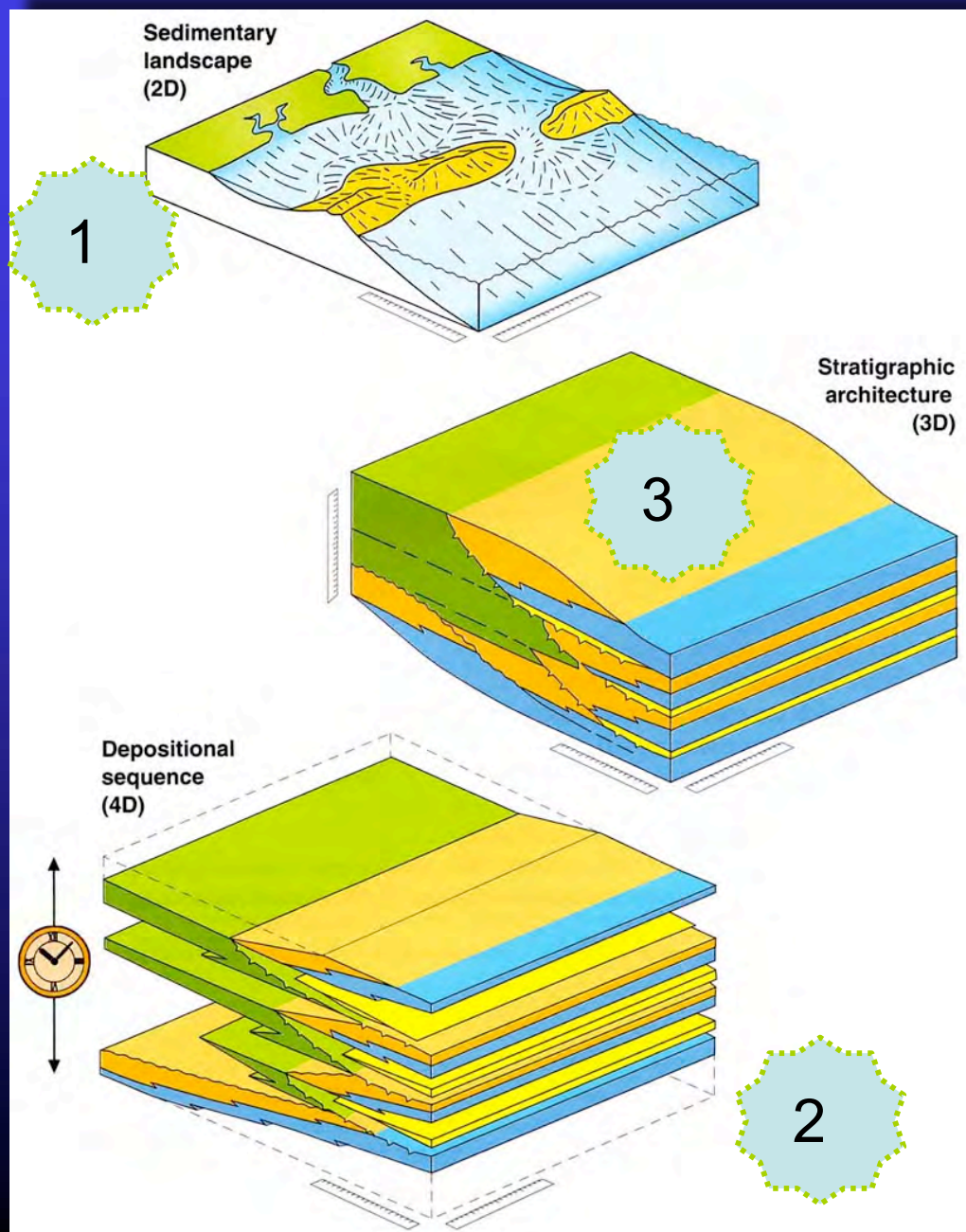


Homewood et al 2000

Terrain > < Sismique (+KISS?)

Le temps n'est presque pas enregistré et cela ne se voit pas

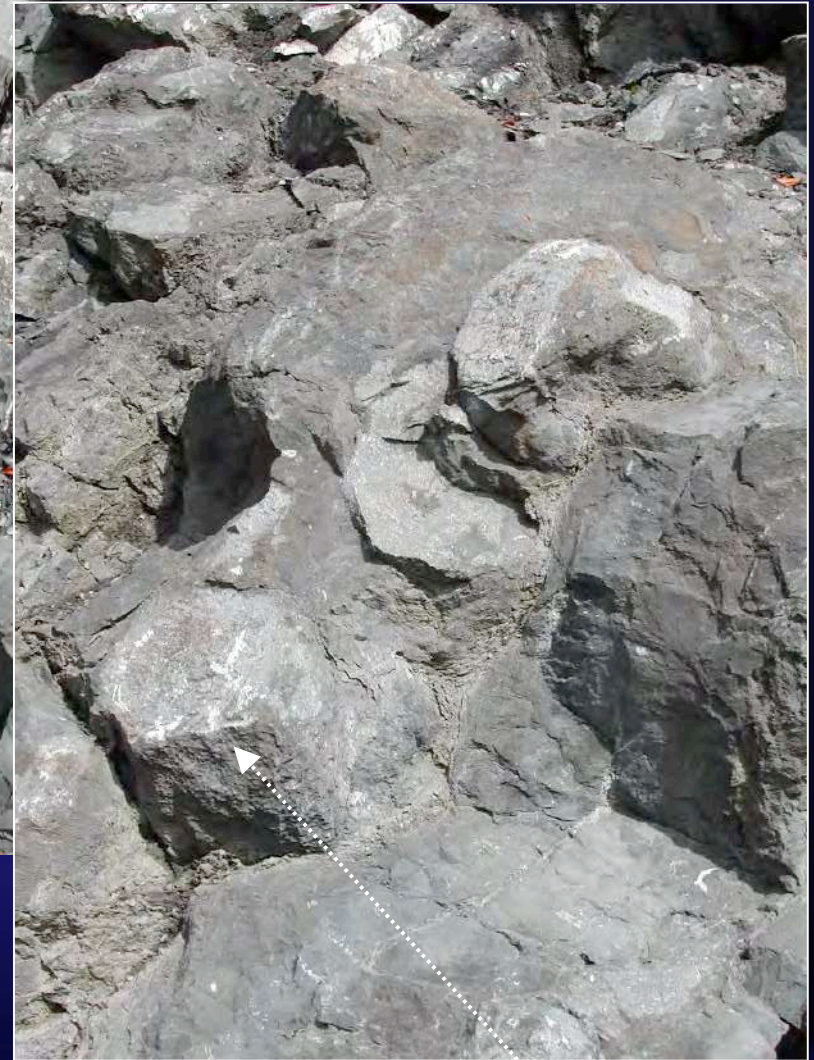
QUELQUES
CONCLUSIONS...



Homewood et al 2000

QUELQUES CONCLUSIONS...

Quelques %



La période de dépôt d'un corps sédimentaire est **TRES COURTE** et sa surface supérieure correspond à un arrêt de sédimentation avec ou sans érosion, d'une durée 'impossible' à déterminer mais qui est **beaucoup PLUS LONGUE** que la période de sédimentation

un instantané géologique?
(sur 10' – 100km)

LE TEMPS EN GEOLOGIE

l'intuition prise en défaut....

$T_{x'}$

T_x

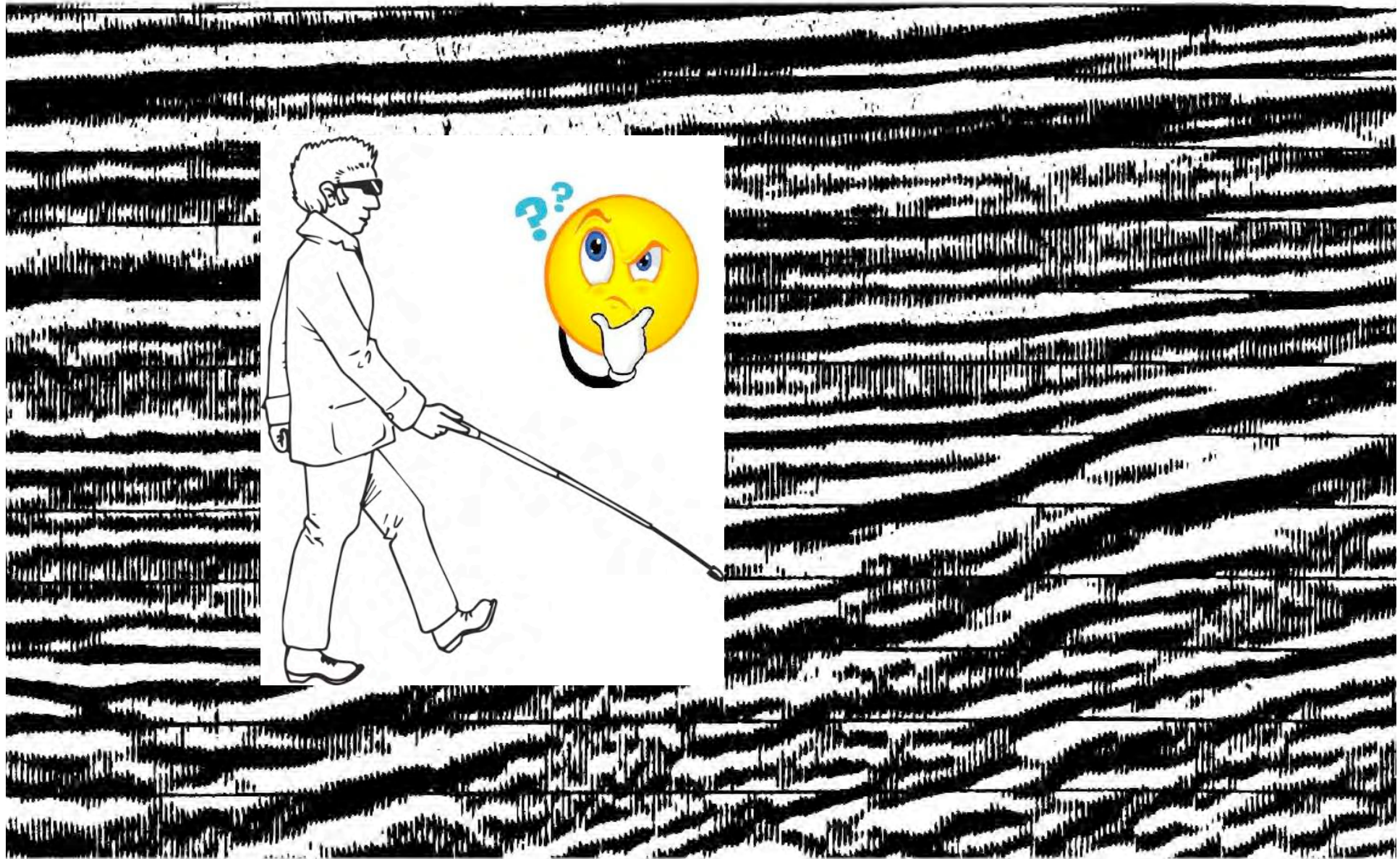


0,5
à
5%

Préat 2004

série géologique 'normale' et 'continue'

LA GRANDE CONCLUSION



« STRATIGRAPHY MAY BE DEFINED AS
THE COMPLETE TRIUMPH OF TERMINOLOGY
OVER FACTS AND COMMON SENSE! » ...



A. Gale in Selley 1996