

Chronologie : sans toi, pas d'histoire(s)

Jean-François Moyen

(avec de nombreuses idées empruntées à P. Savaton, univ. Caen)

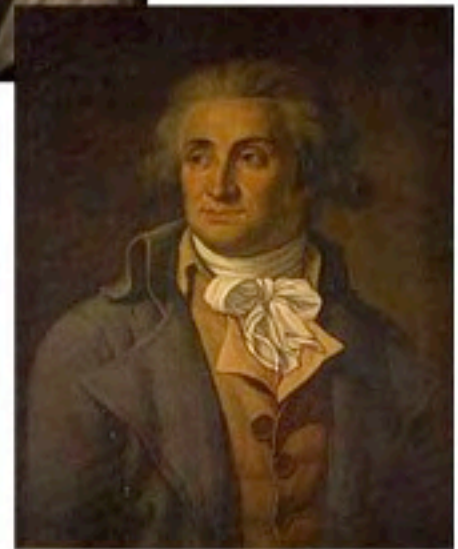
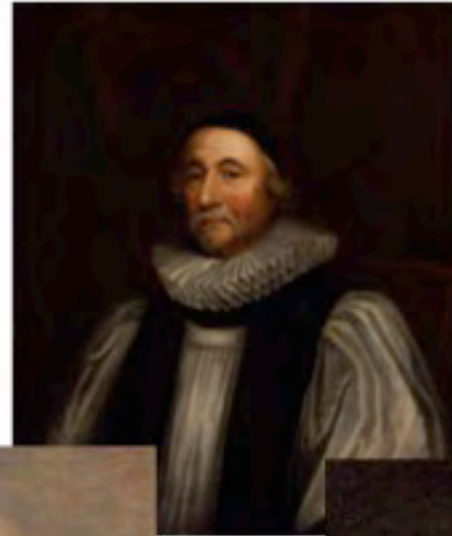
Une histoire...



... des géologues
... de géologues
... de géologie



Une histoire des géologues

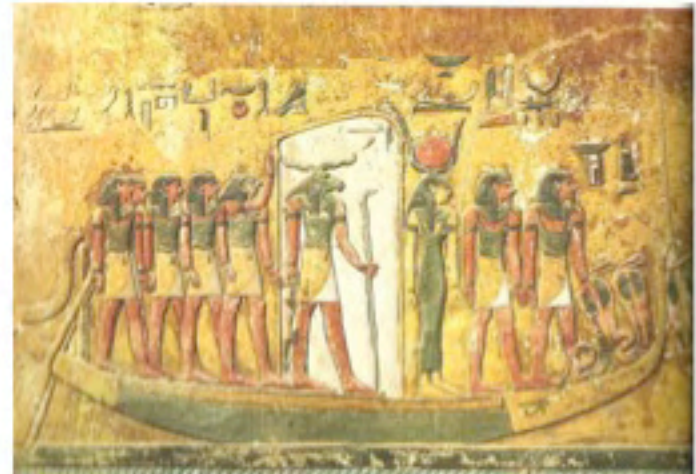


Le temps cyclique des Egyptiens

Le Soleil diurne, naviguant sur la barque



Khépri, sur la barque, pousse le soleil hors de l'horizon



Atoum-Rê, le jour mourant, sur la barque de la nuit



Aristote

-384 - -322

Le monde supralunaire est parfait et immuable, il a donc existé de tout temps



Dessin Petrus Apianus, 1524

Le temps linéaire Chrétien



— C'est pas rien de démarrer un univers à la manivelle !

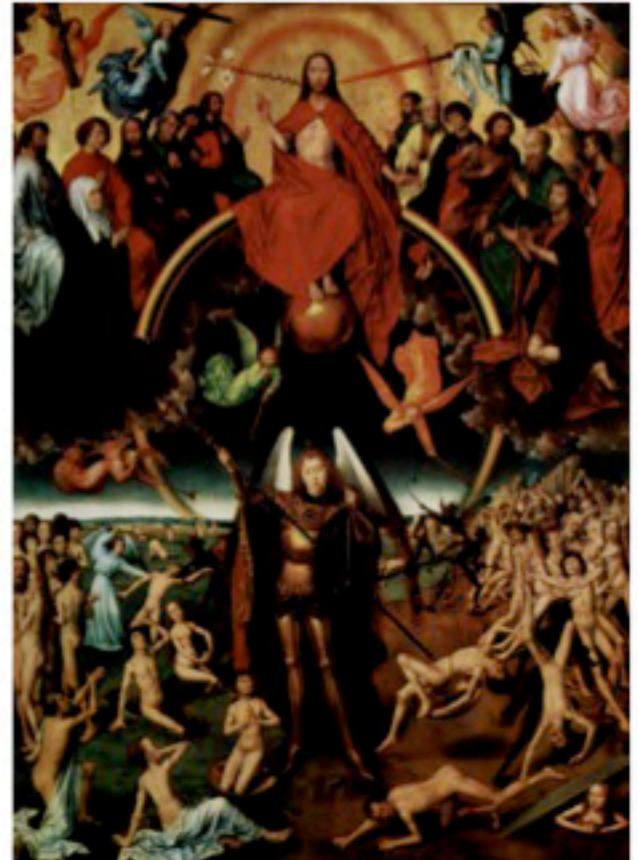
Apocalypse 21

1 Puis je vis un nouveau ciel et une nouvelle terre ; car le premier ciel et la première terre avaient disparu, et la mer n'était plus.

2 Et je vis descendre du ciel, d'auprès de Dieu, la ville sainte, la nouvelle Jérusalem, préparée comme une épouse qui s'est parée pour son époux.

3 Et j'entendis du trône une forte voix qui disait : Voici le tabernacle de Dieu avec les hommes ! Il habitera avec eux, et ils seront son peuple, et Dieu lui-même sera avec eux.

4 Il essuiera toute larme de leurs yeux, et la mort ne sera plus, et il n'y aura plus ni deuil, ni cri, ni douleur, car les premières choses ont disparu.





James Ussher
1581 - 1656

Décompte des générations de patriarches bibliques (1654)
 ⇒ la Terre fut créée à 9h00 du matin le dimanche 23 octobre, 4004 av. J.C. = ~ 6000 ans





**Jean-Etienne
Guettard
1715 - 1786**

Carte minéralogique de France,
où sont marqués les différents
terrains principaux qui partagent
ce royaume et les substances
particulières qu'il renferme



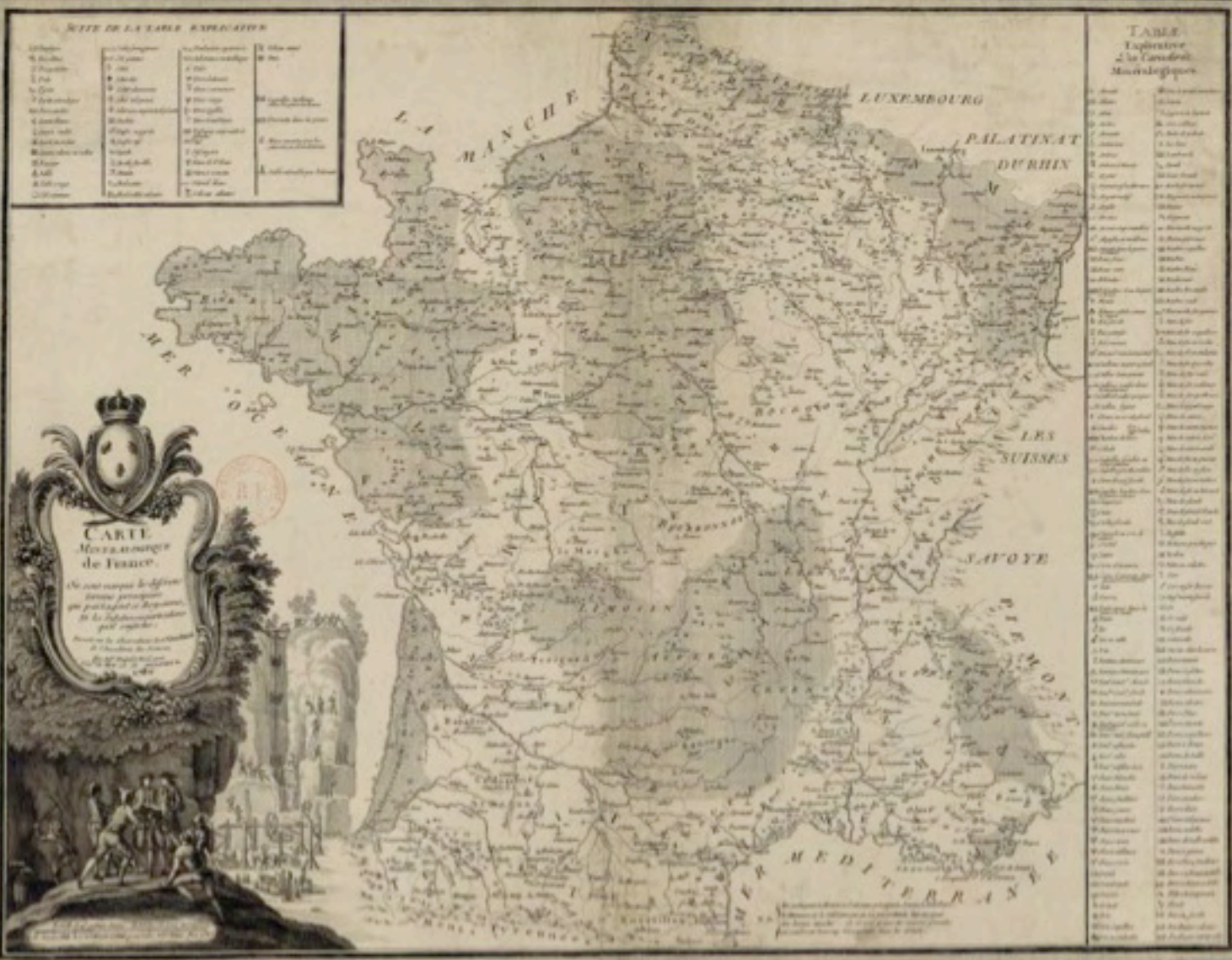
Description minéralogique des environs de Paris (1756)

SUITE DE LA TABLE ALPHABETIQUE

1. Abbe	2. Abbe	3. Abbe	4. Abbe
5. Abbe	6. Abbe	7. Abbe	8. Abbe
9. Abbe	10. Abbe	11. Abbe	12. Abbe
13. Abbe	14. Abbe	15. Abbe	16. Abbe
17. Abbe	18. Abbe	19. Abbe	20. Abbe
21. Abbe	22. Abbe	23. Abbe	24. Abbe
25. Abbe	26. Abbe	27. Abbe	28. Abbe
29. Abbe	30. Abbe	31. Abbe	32. Abbe
33. Abbe	34. Abbe	35. Abbe	36. Abbe
37. Abbe	38. Abbe	39. Abbe	40. Abbe
41. Abbe	42. Abbe	43. Abbe	44. Abbe
45. Abbe	46. Abbe	47. Abbe	48. Abbe
49. Abbe	50. Abbe	51. Abbe	52. Abbe
53. Abbe	54. Abbe	55. Abbe	56. Abbe
57. Abbe	58. Abbe	59. Abbe	60. Abbe
61. Abbe	62. Abbe	63. Abbe	64. Abbe
65. Abbe	66. Abbe	67. Abbe	68. Abbe
69. Abbe	70. Abbe	71. Abbe	72. Abbe
73. Abbe	74. Abbe	75. Abbe	76. Abbe
77. Abbe	78. Abbe	79. Abbe	80. Abbe
81. Abbe	82. Abbe	83. Abbe	84. Abbe
85. Abbe	86. Abbe	87. Abbe	88. Abbe
89. Abbe	90. Abbe	91. Abbe	92. Abbe
93. Abbe	94. Abbe	95. Abbe	96. Abbe
97. Abbe	98. Abbe	99. Abbe	100. Abbe

TABLE
Explicative
de la Carte
Morphologique

1. Abbe	2. Abbe	3. Abbe	4. Abbe
5. Abbe	6. Abbe	7. Abbe	8. Abbe
9. Abbe	10. Abbe	11. Abbe	12. Abbe
13. Abbe	14. Abbe	15. Abbe	16. Abbe
17. Abbe	18. Abbe	19. Abbe	20. Abbe
21. Abbe	22. Abbe	23. Abbe	24. Abbe
25. Abbe	26. Abbe	27. Abbe	28. Abbe
29. Abbe	30. Abbe	31. Abbe	32. Abbe
33. Abbe	34. Abbe	35. Abbe	36. Abbe
37. Abbe	38. Abbe	39. Abbe	40. Abbe
41. Abbe	42. Abbe	43. Abbe	44. Abbe
45. Abbe	46. Abbe	47. Abbe	48. Abbe
49. Abbe	50. Abbe	51. Abbe	52. Abbe
53. Abbe	54. Abbe	55. Abbe	56. Abbe
57. Abbe	58. Abbe	59. Abbe	60. Abbe
61. Abbe	62. Abbe	63. Abbe	64. Abbe
65. Abbe	66. Abbe	67. Abbe	68. Abbe
69. Abbe	70. Abbe	71. Abbe	72. Abbe
73. Abbe	74. Abbe	75. Abbe	76. Abbe
77. Abbe	78. Abbe	79. Abbe	80. Abbe
81. Abbe	82. Abbe	83. Abbe	84. Abbe
85. Abbe	86. Abbe	87. Abbe	88. Abbe
89. Abbe	90. Abbe	91. Abbe	92. Abbe
93. Abbe	94. Abbe	95. Abbe	96. Abbe
97. Abbe	98. Abbe	99. Abbe	100. Abbe



Imprimé chez la Citoyenne Lesclapart, Palais National, ci-devant des Arts, au Salon de Peinture, sous le Vestibule, par le Citoyen Lesclapart, graveur.

Mémoire et carte minéralogique sur la nature & la situation des terrains qui traversent la France et l'Angleterre (1746)

L'ensemble des territoires considérés se subdivisait de lui-même en trois "bandes", caractérisées chacune par les substances qui s'y rencontrent en majorité, parfois en exclusivité.

*« 3 Terres principales, Scavoir, le Métallique, le Marneux et le Sablonneux »,
auxquels « on n'a pas prétendu assigner des bornes exactes. Ce ne sont que des masses générales, qui souffriront beaucoup d'exceptions dans les détails ».*



Condorcet, éloge funèbre (1786)

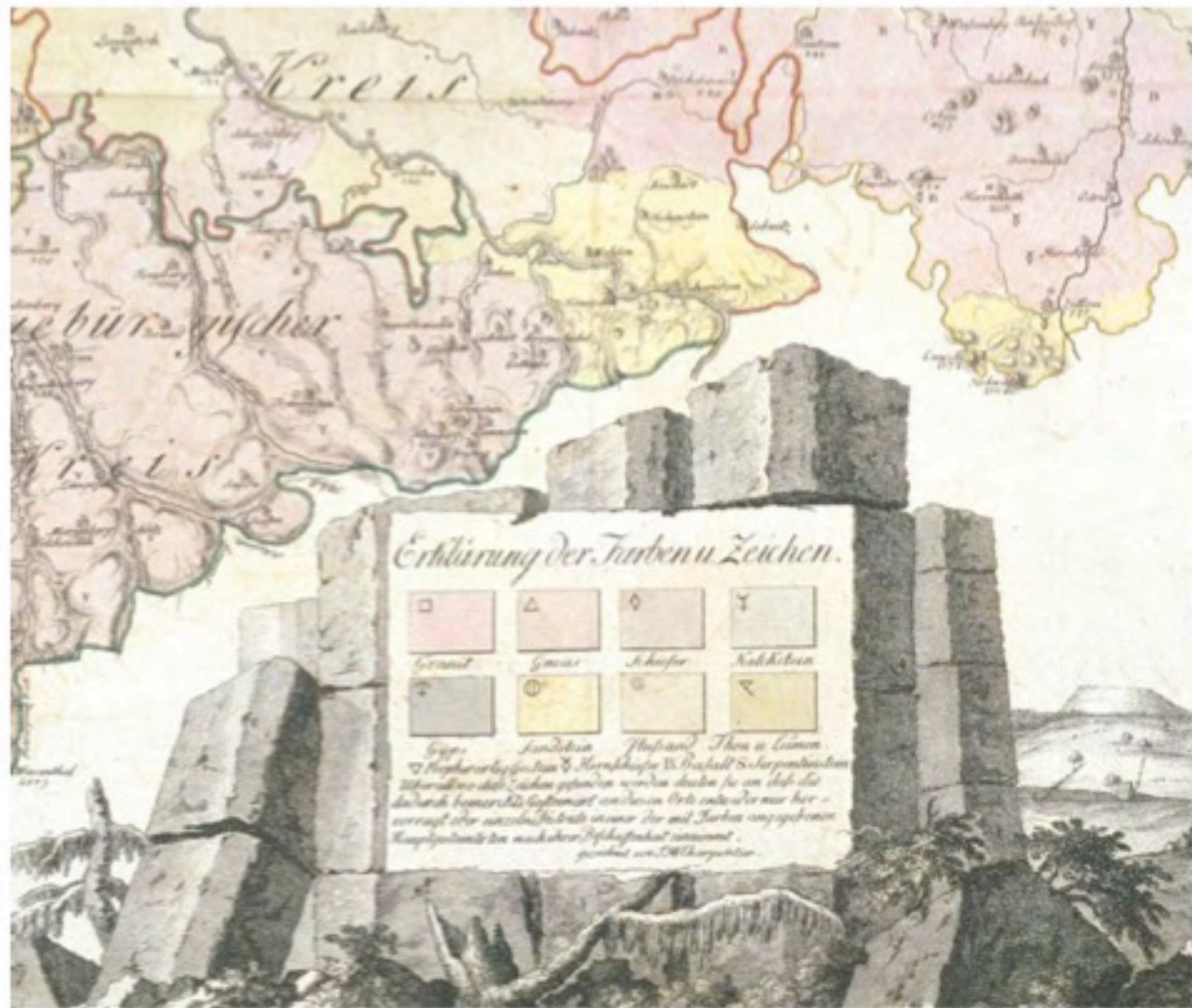
Un jour sans doute, de telles cartes seront exécutées pour toutes les parties du globe, et c'est alors seulement qu'on pourra déterminer les lois générales que la Nature a suivies dans la distribution des substances minérales. Pour remonter ensuite de ces lois à la connaissance des causes de cette distribution, et donner une théorie de la Terre, il restera encore un pas immense à franchir ; mais pour le franchir avec succès, [...] il faut pouvoir s'aider de ces matériaux épars, de ces résultats minutieux d'une recherche pénible que M. Guettard s'occupait à rassembler : et il a plus fait pour avancer la véritable théorie de la Terre sur laquelle **il n'a jamais osé se permettre une seule conjecture**, que les philosophes qui ont fatigué leur génie à imaginer ces brillantes hypothèses, fantômes d'un moment, que le jour de la vérité fait bientôt rentrer dans un néant éternel.





**Abraham
Werner
1749 - 1817**

**Carte Géognostique
de Saxe**

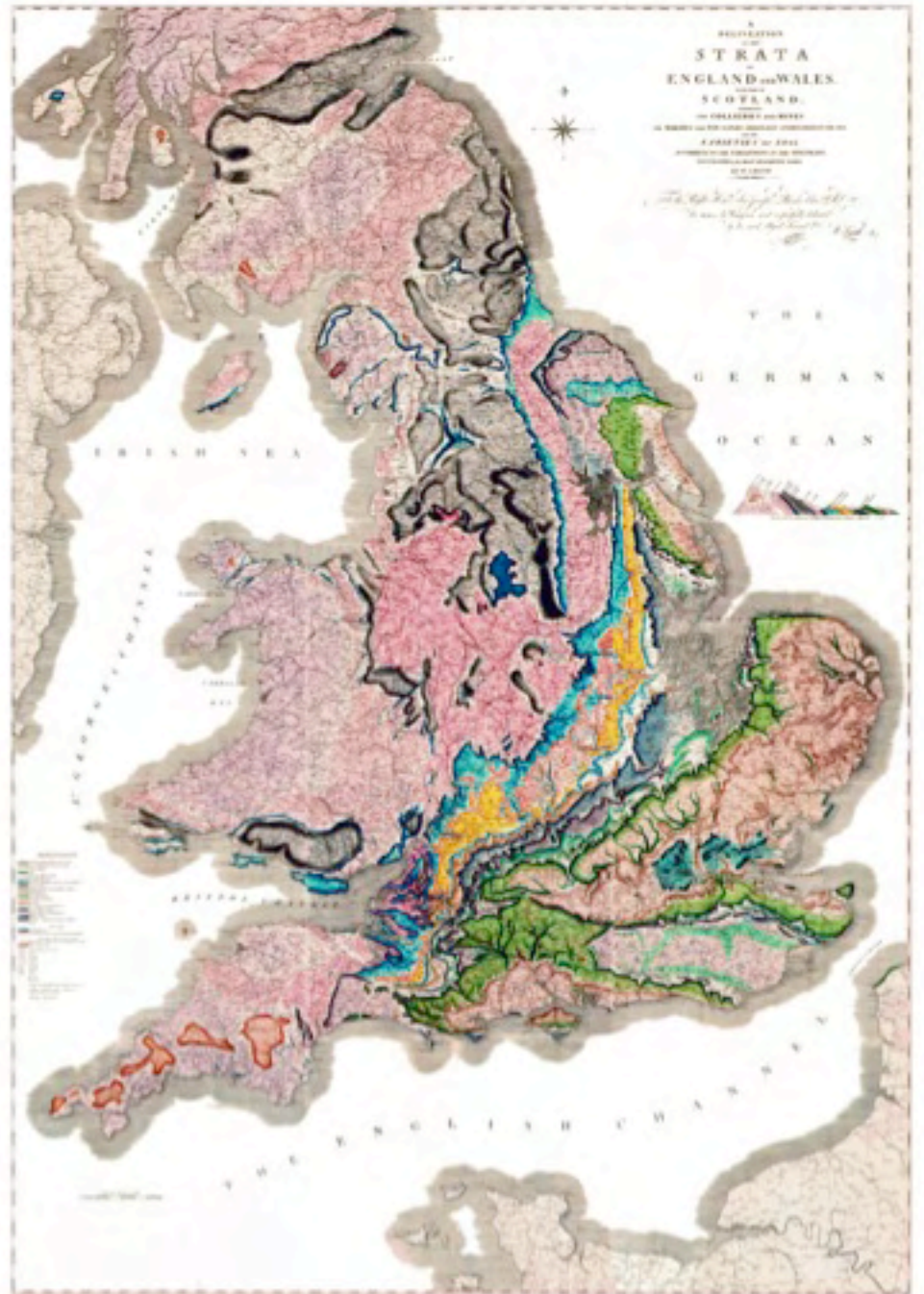


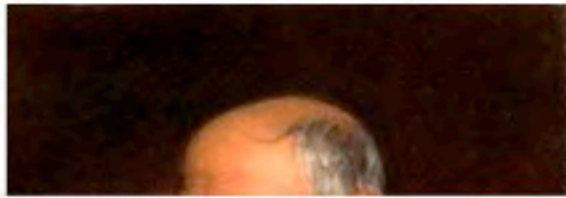
Füchsel (1722-1773)



**William
Smith
1769 - 1839**

**Carte Géologique
d'Angleterre (1815)**





**William
Smith
1769 - 1839**

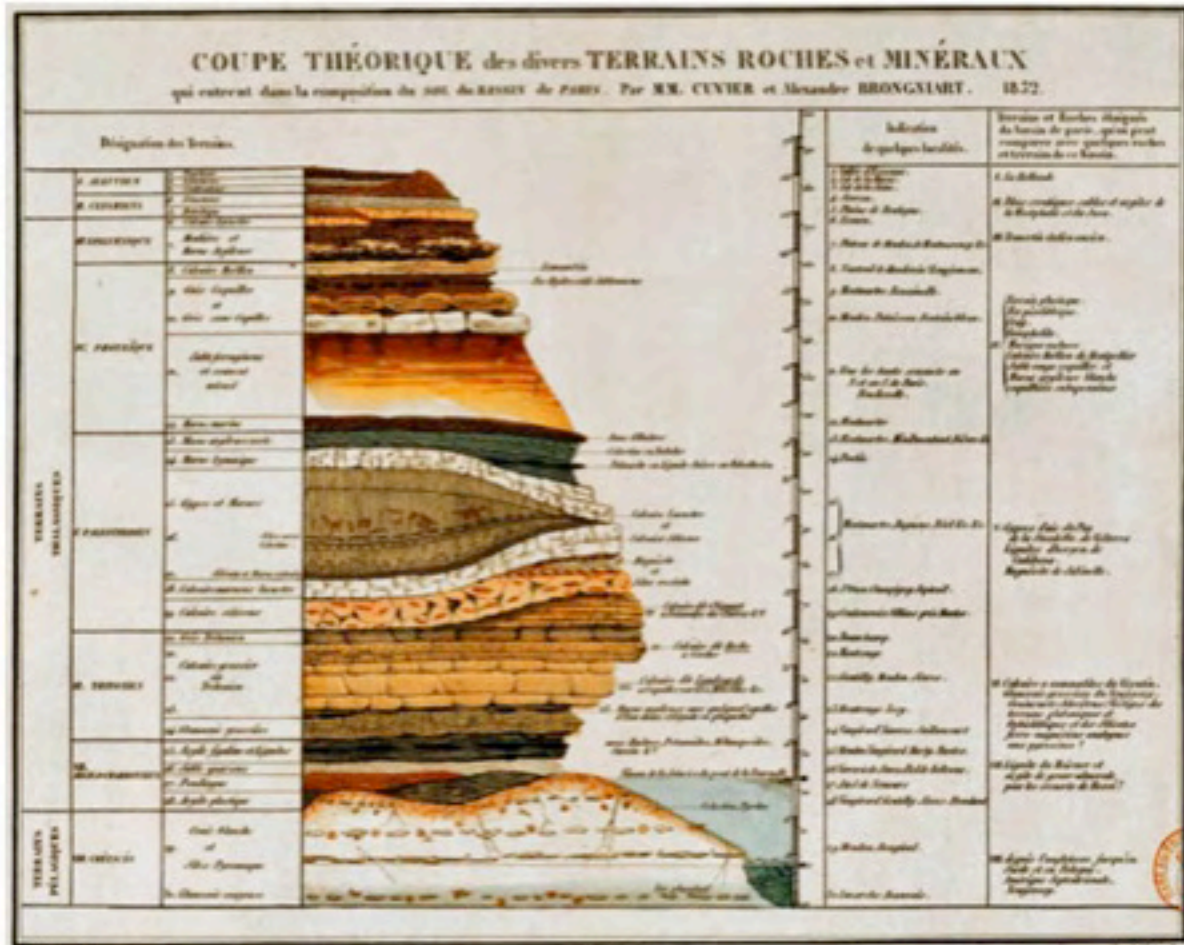
**Carte Géologique
d'Angleterre (1815)**





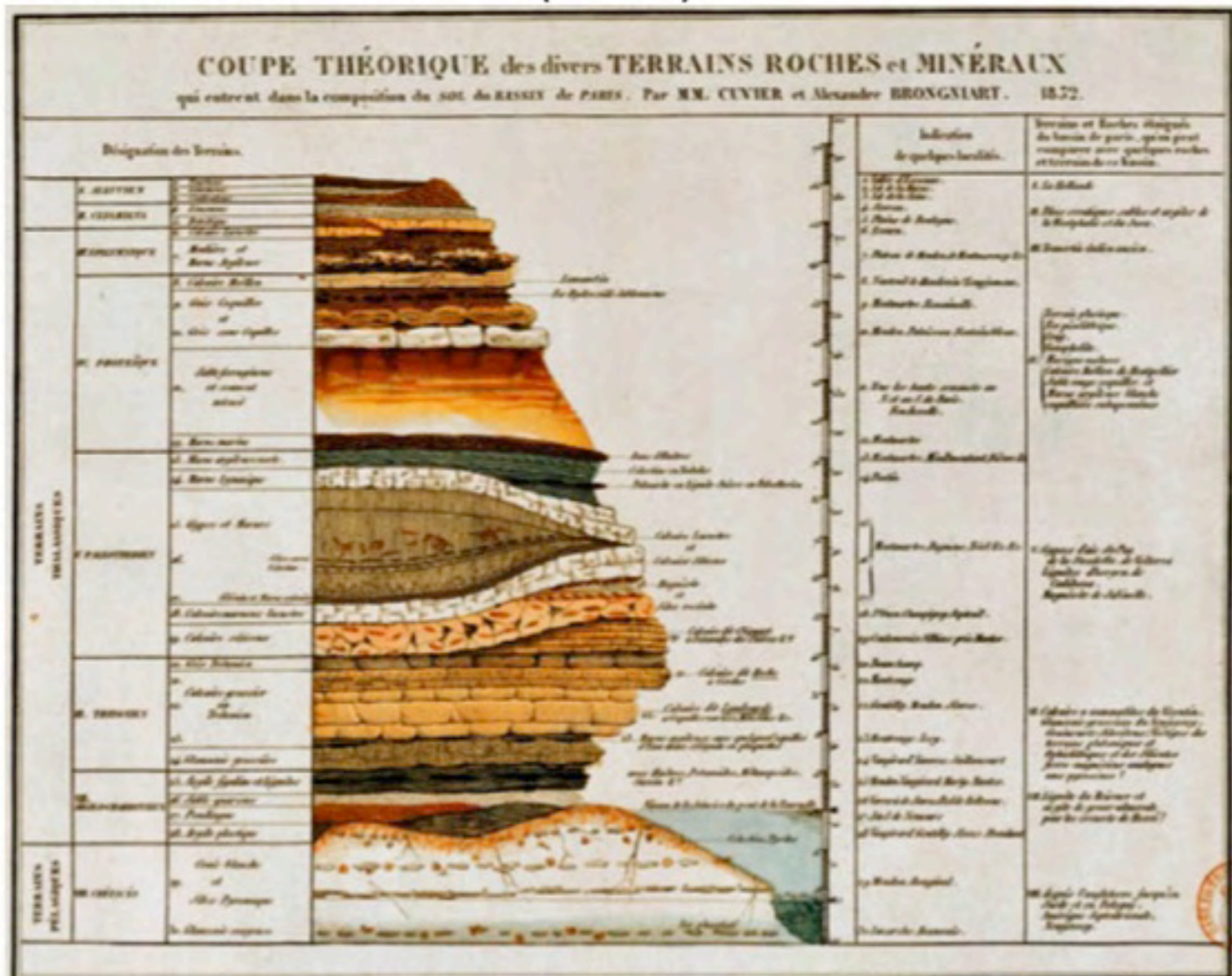
Georges Cuvier

1769 - 1832



Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris avec une carte géognostique, et des coupes de terrains (1811)

Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris avec une carte géognostique, et des coupes de terrains (1811)

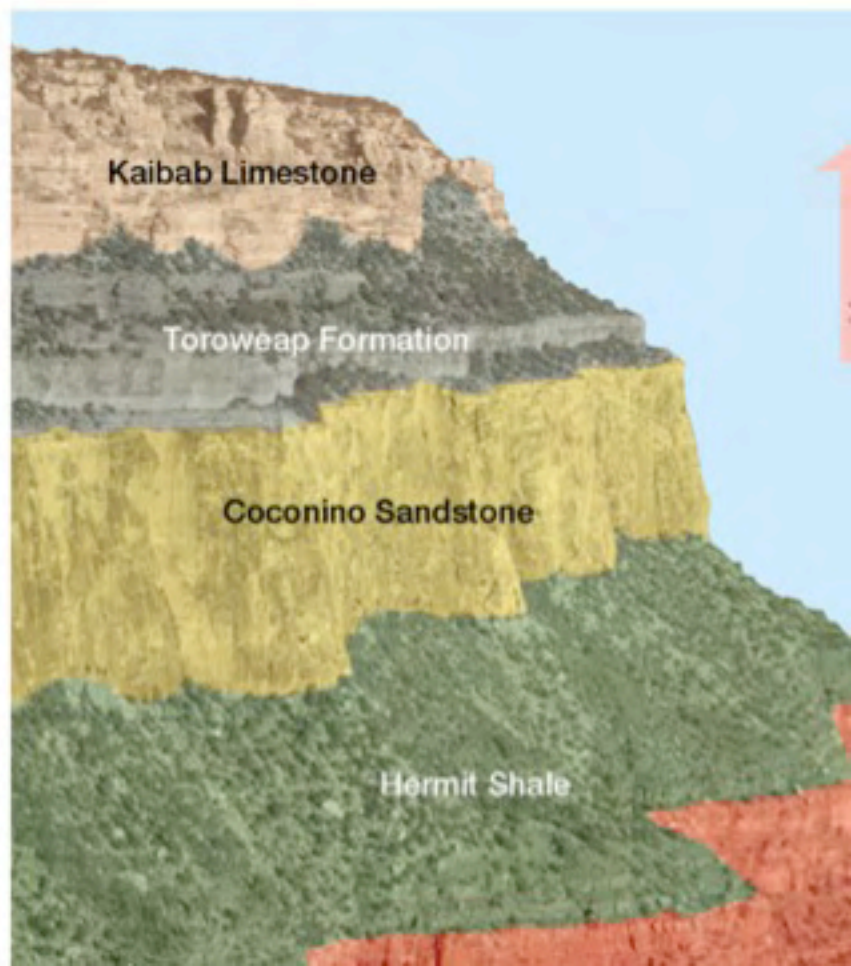




En termes modernes,
c'est **l'échelle
stratigraphique**



A.



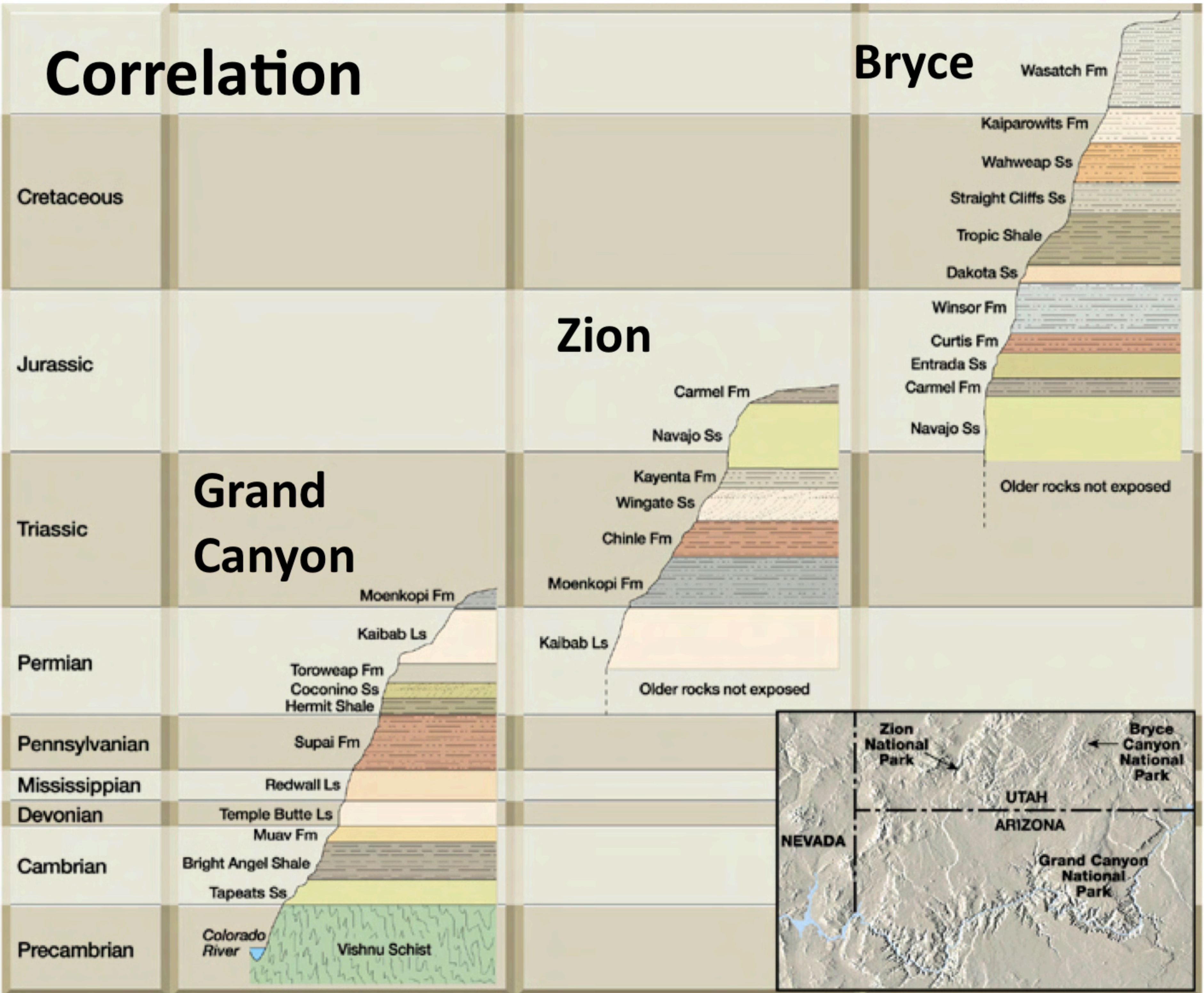
Kaibab Limestone

Toroweap Formation

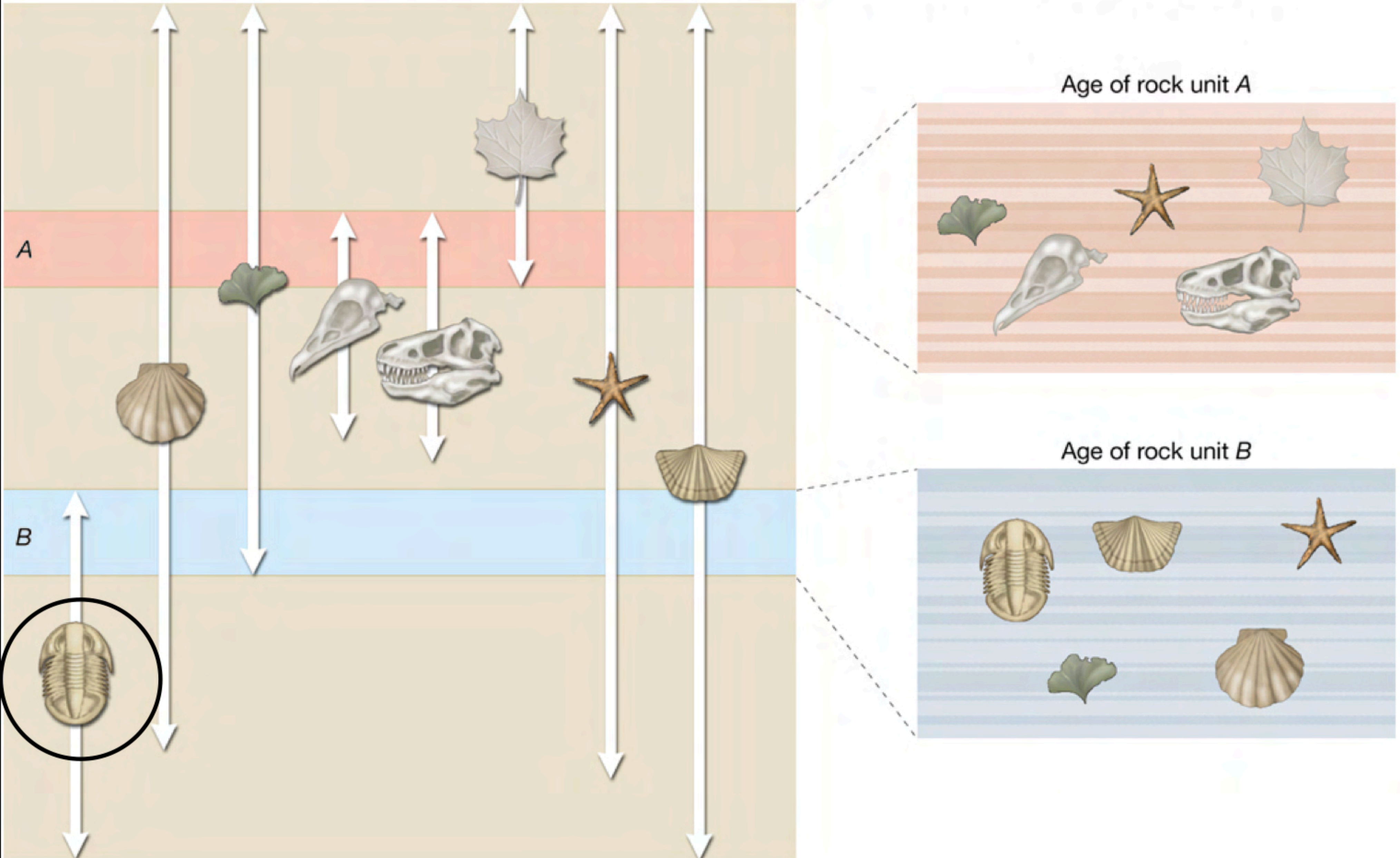
Coconino Sandstone

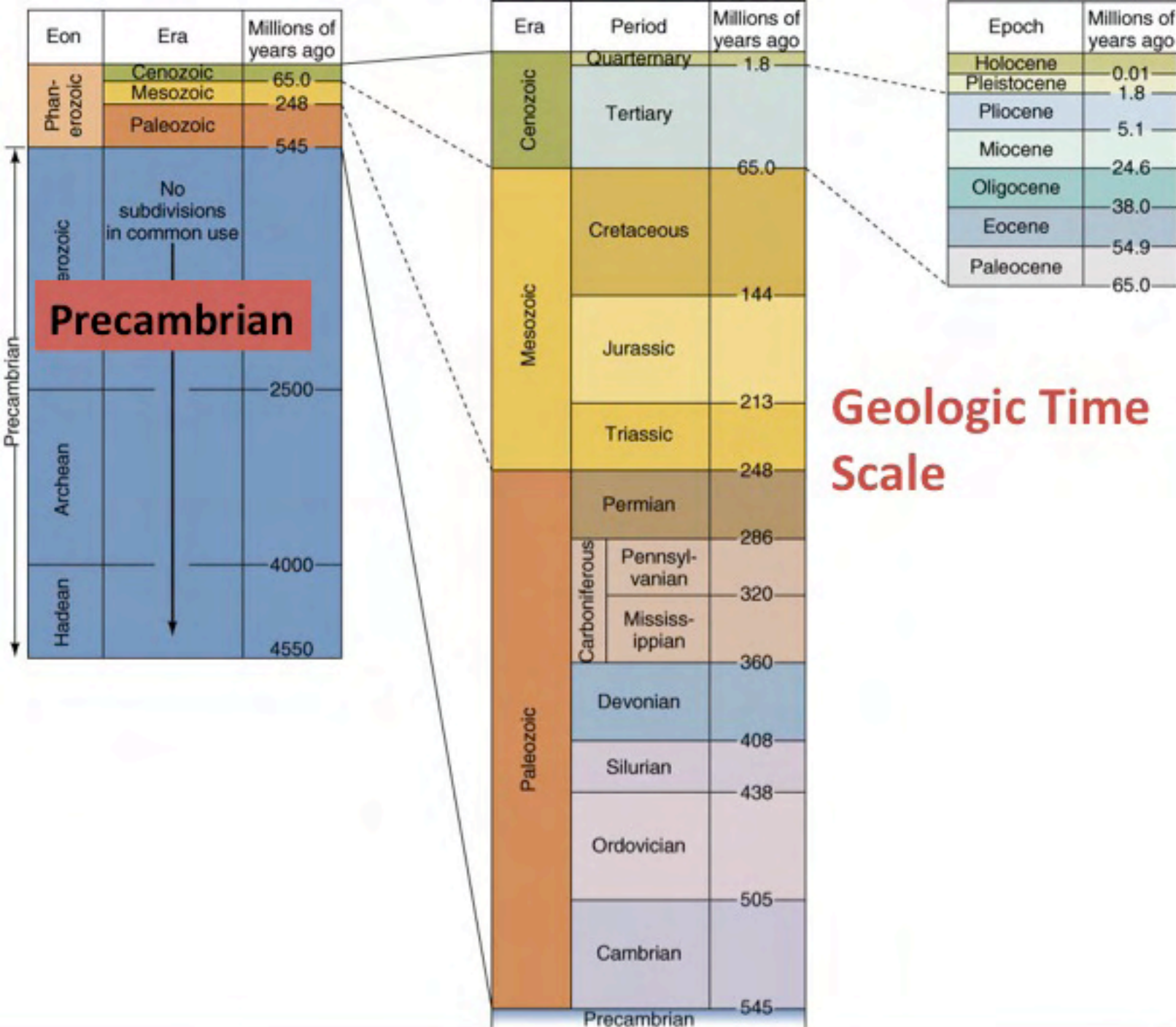
Hermit Shale

Correlation



Correlation of Rock Units: Index Fossils







Newly Developing Time Scale		Traditional Time Scales Prior to 1800	
<i>Many contributors in early 19th century</i> <i>Fossils become the basis of division of the rock record.</i> <i>Stratigraphic units become interpretive.</i>		Abraham Gottlob WERNER (Late 18th century) Saxony	Giovanni ARDUNIO (1760's & 1770's) Tuscany
Lyell 1833	Pleistocene Pliocene Miocene Eocene		
D'Halloy 1822	Cretaceous	Stratified	Secondary
Gressley 1795	Jurassic		
Alberti 1834	Triassic	Transition	
Murchinson 1841	Permian		
Williams 1891	Pennsylvan.		
Williams 1891	Mississippian		
Sedgewick & Murchinson 1839	Devonian		
Murchinson 1835	Silurian		
Lapworth 1879	Ordovician	Unstudied Until 1830's	
Sedgewick 1835	Cambrian		
		Primitive	Primitive

Figure 1 European origin for Geological Period Names



After Berry W.B. (1986), *Growth of the prehistoric timescale based on organ evolution*, Blackwell Oxford

http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usm/penelope/fr_confburek.htm#Figura%201

De la datation
relative ...



... aux âges
absolus





Georges Cuvier

1769 - 1832

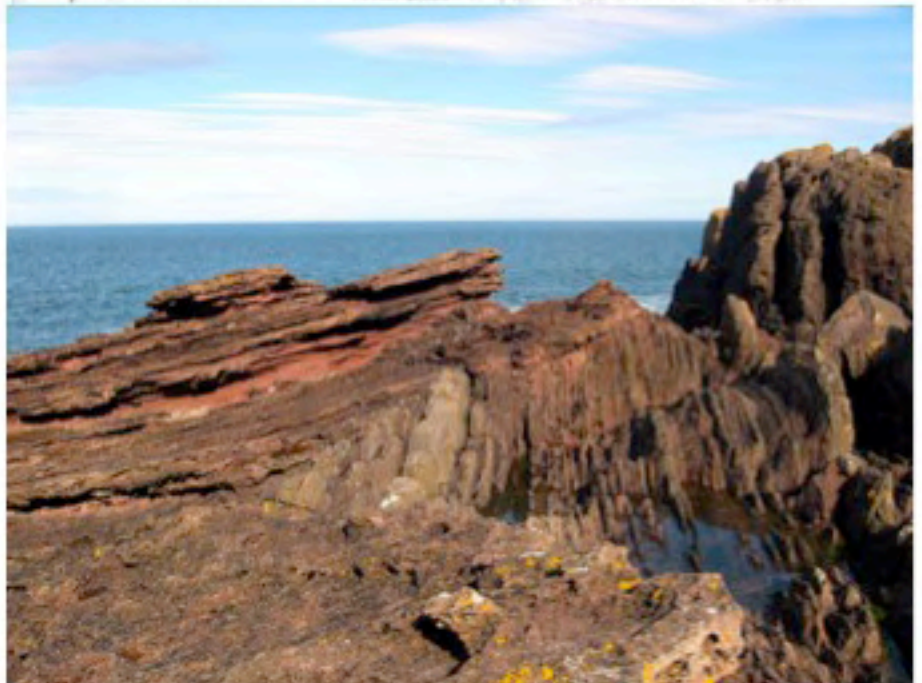
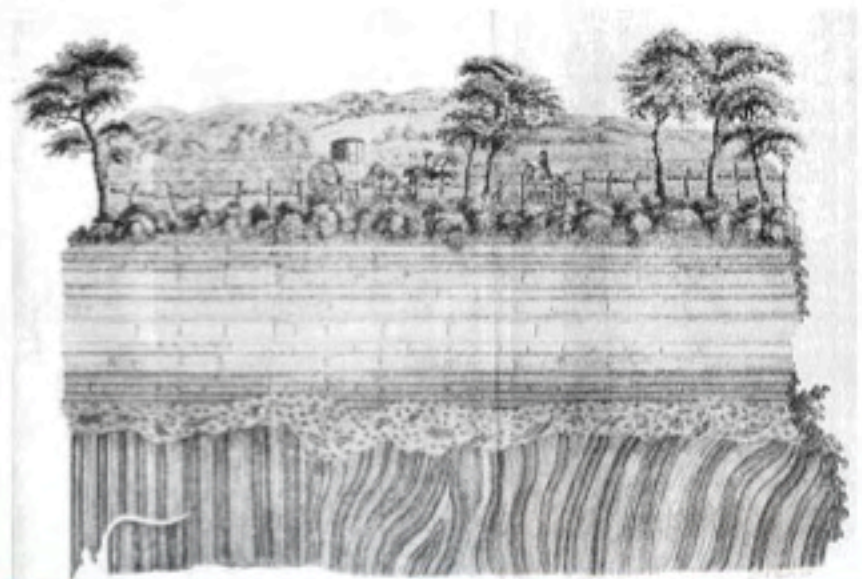


Catastrophisme



James Hutton

1726 - 1797



Actualisme

“The result, therefore, of our present enquiry is, that we find no vestige of a beginning,—no prospect of an end.”



Charles Lyell

1797-1895

1830-33



London and the Temple of Solomon

PRINCIPLES
-
GEOLOGY.

AN ATTEMPT TO EXPLAIN THE PAST CHANGES
OF THE EARTH'S SURFACE.

BY HENRY DE LA BECHE, ESQ. OF BRISTOL.

BY CHARLES LYELL, ESQ., F.R.S.

PHIL. DOCT. OF OXF. 1830. M.A. 1831.

IN TWO VOLUMES.

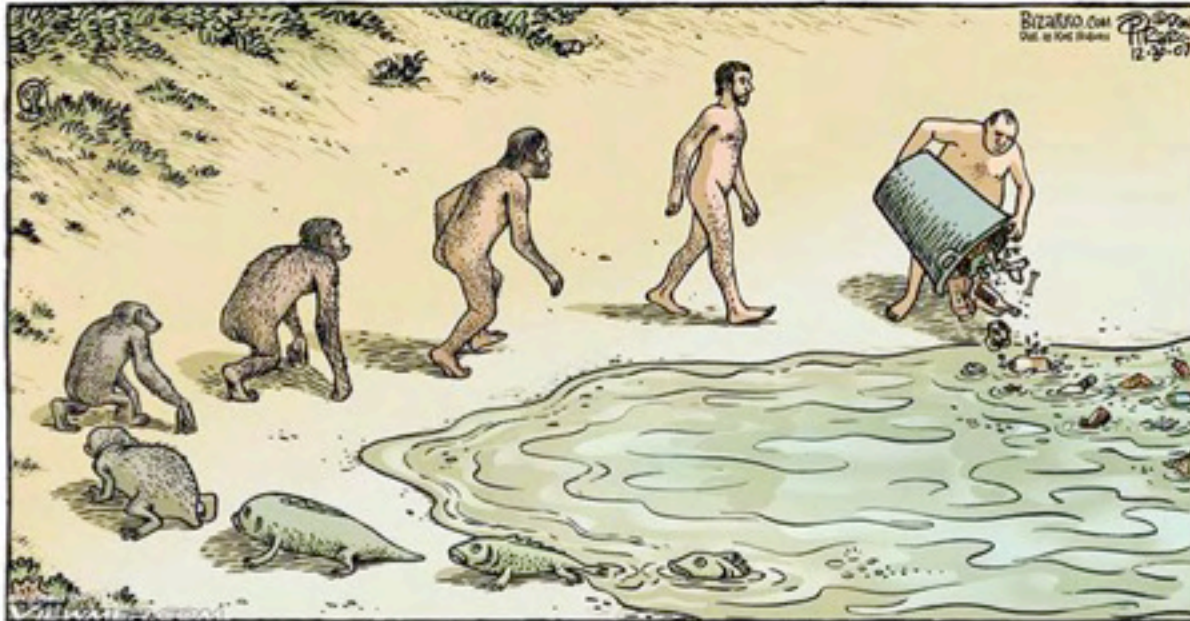
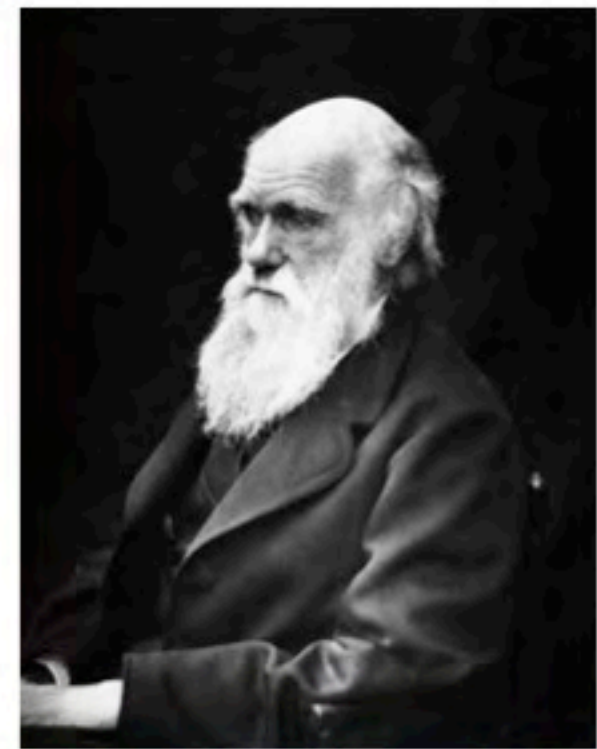
VOL. I.

LONDON:

JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

Uniformitarisme

“The present is the key to the past”



Charles Darwin
1809-1882

Darwin estime à env. 300 Ma le temps nécessaire pour l'évolution qu'il observe

Taux de sédimentation

angular unconformity

Taux de sédimentation



Dépôt de (au moins) 1 m depuis les grecs
→ 1m/2500 ans

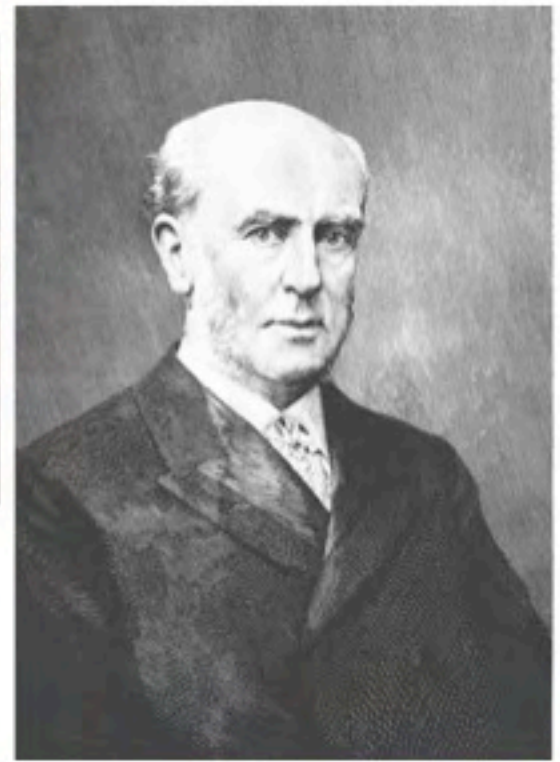




**Albert-Auguste
Cauchon de
Lapparent
1839-1908**



Phillips, Mc Gee, Upham, Sollas...



**Archibald
Geikie
1835-1924**



**3-1500 million d'années
(autour de 100 le plus souvent)**



Sel dissous
dans les rivières



Océans



Edmond Halley

1656-1742

John Joly

1857-1933



— ...Faut toujours qu'il mette son grain de sel!

90 à 100 Millions d'années



Georges Louis Leclerc
comte de Buffon

1707 - 1788

10 Millions d'années
(74 000 ans)



« Quoiqu'il soit très vrai que plus nous nous étendrons dans le temps, plus nous approcherons de la vérité et de la réalité de l'emploi qu'en fait la nature, il faut le raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence »

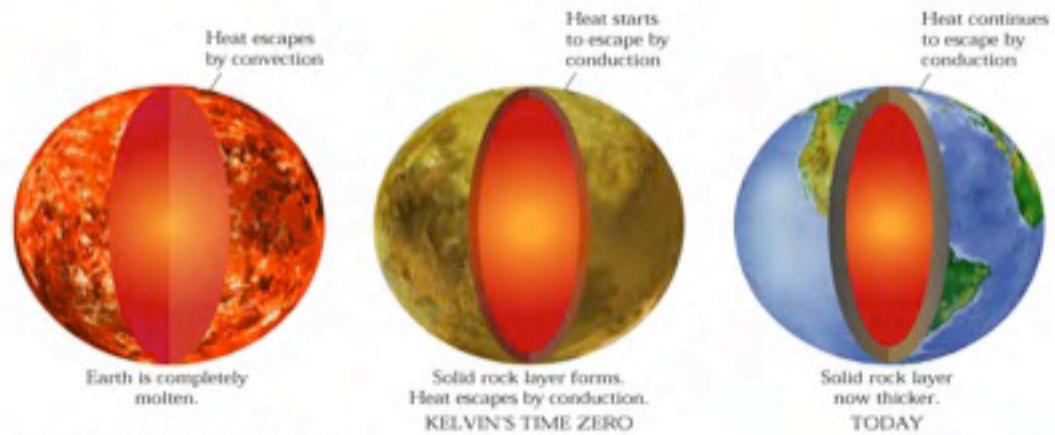


Lord Kelvin

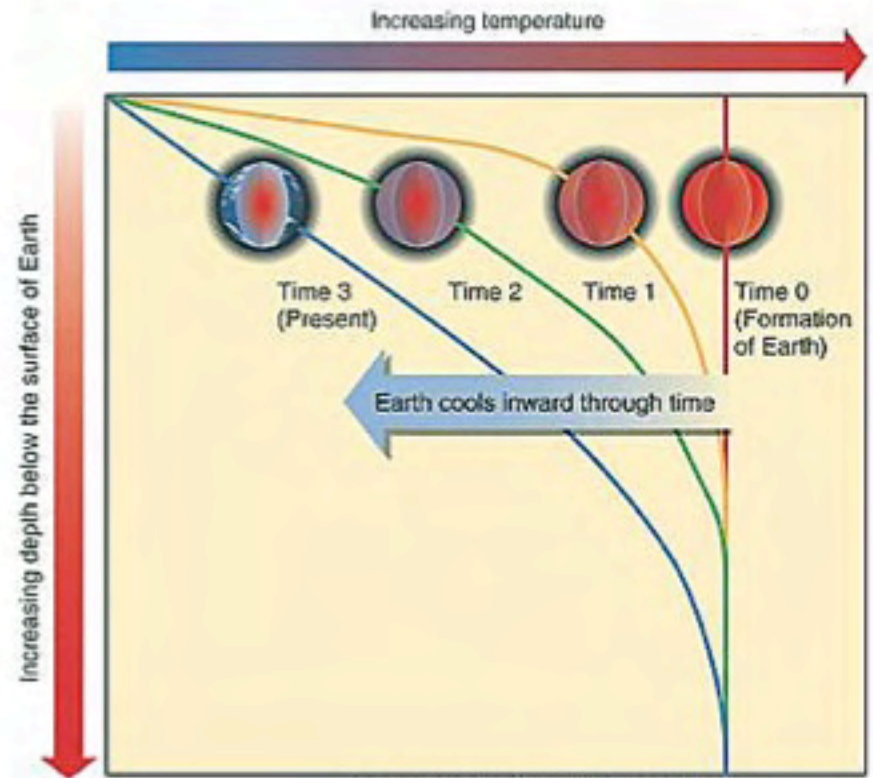
1824 - 1907

100 Ma (1862)

20 – 40 Ma (1897)



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.



Copyright © 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.



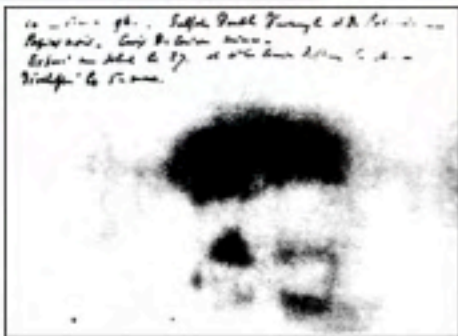
Henri Becquerel
1852-1908



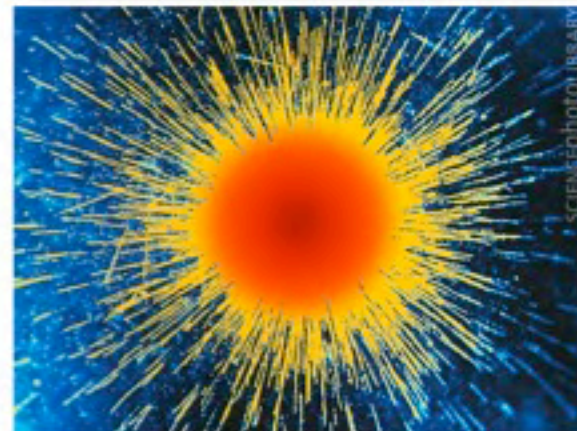
Marie Curie
1867-1934
Pierre Curie
1859-1906



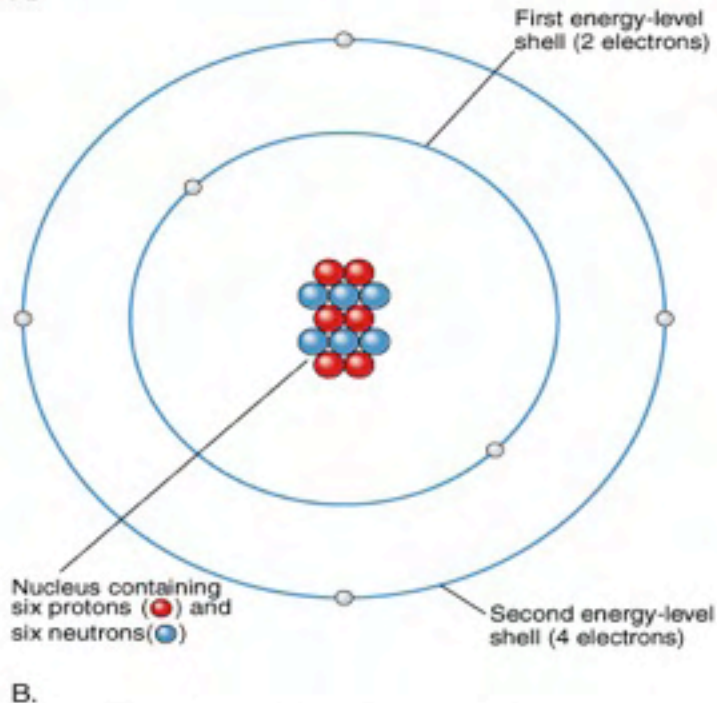
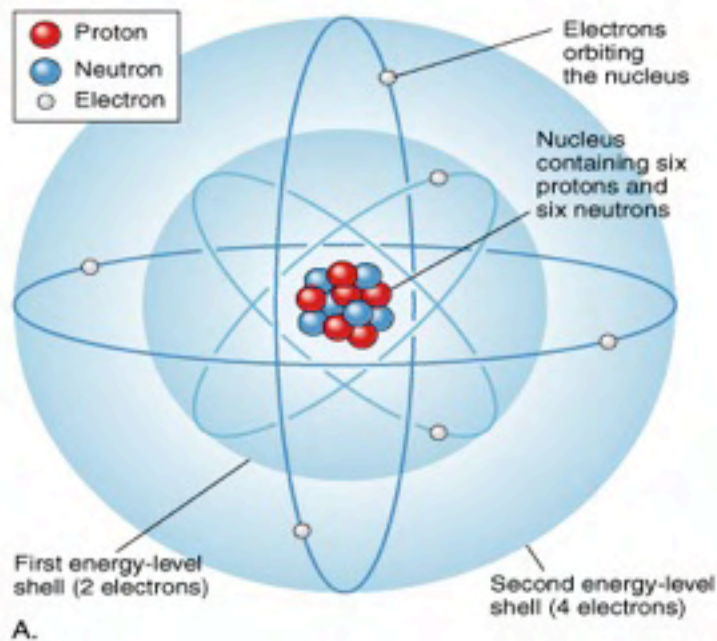
Ernest Rutherford
1871-1937



Radioactivité



SCIENCEPHOTO LIBRARY



Un atome de carbone (C)

Noyau: 6 protons et 6 neutrons

Six electrons

Nb electrons = Nb protons
=> Propriétés chimiques
=> Nom de l'élément

Nb neutrons peut changer
(dans certaines limites)
=> Isotopes

Isotopes

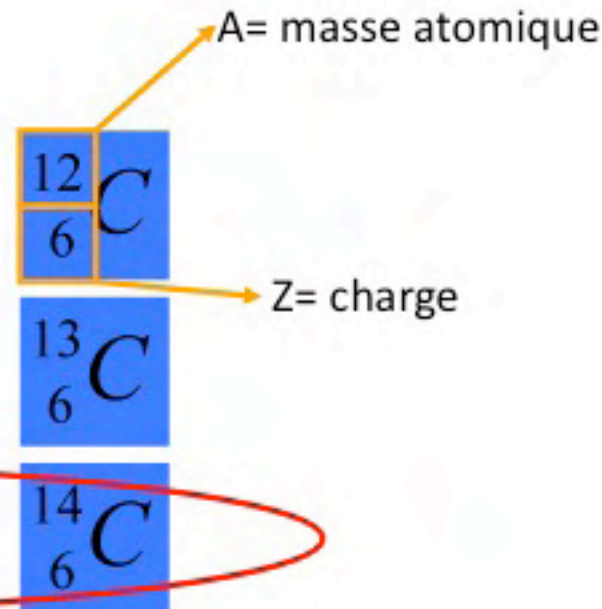
**Carbone: 6 protons (= 6 électrons)
6 à 8 neutrons**

Le carbone a 3 isotopes :

6 protons + 6 neutrons (masse 12, charge 6)

6 protons + 7 neutrons (masse 13, charge 6)

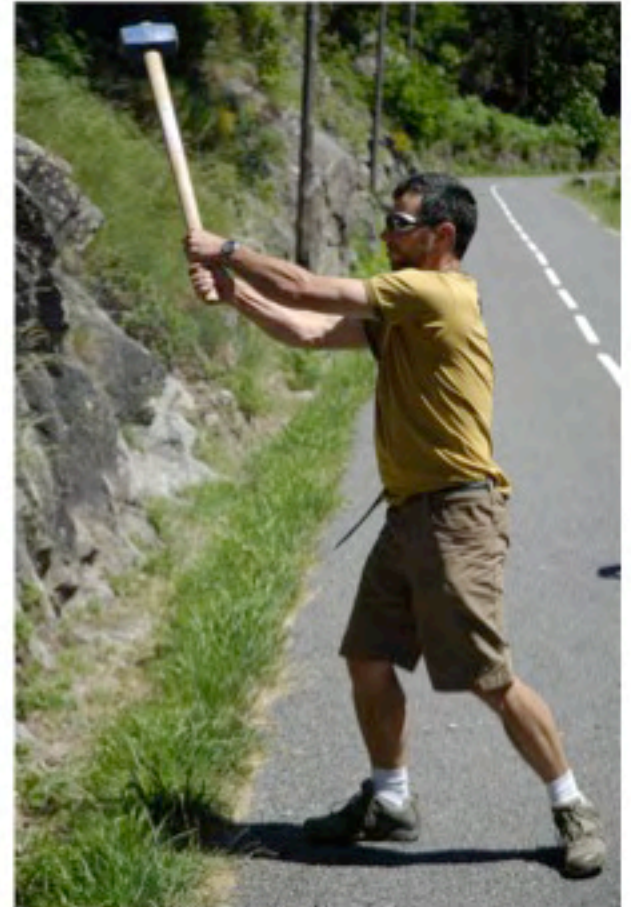
6 protons + 8 neutrons (masse 14, charge 6)



Unstable (trop de neutrons)



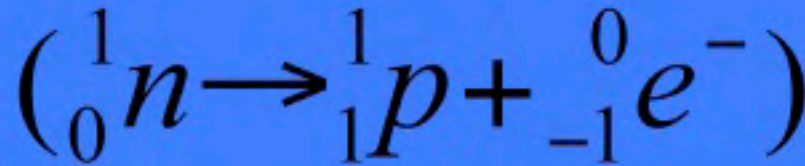
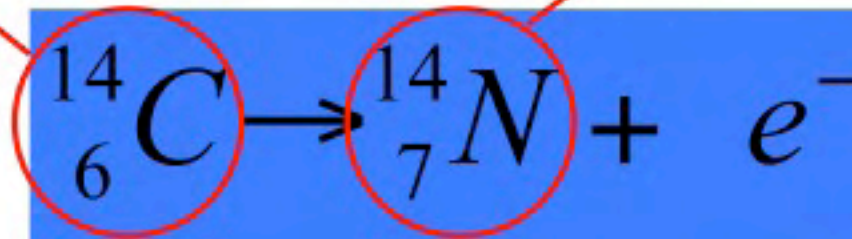
Une histoire de géologues



Isotopes instables

6 protons
8 neutrons

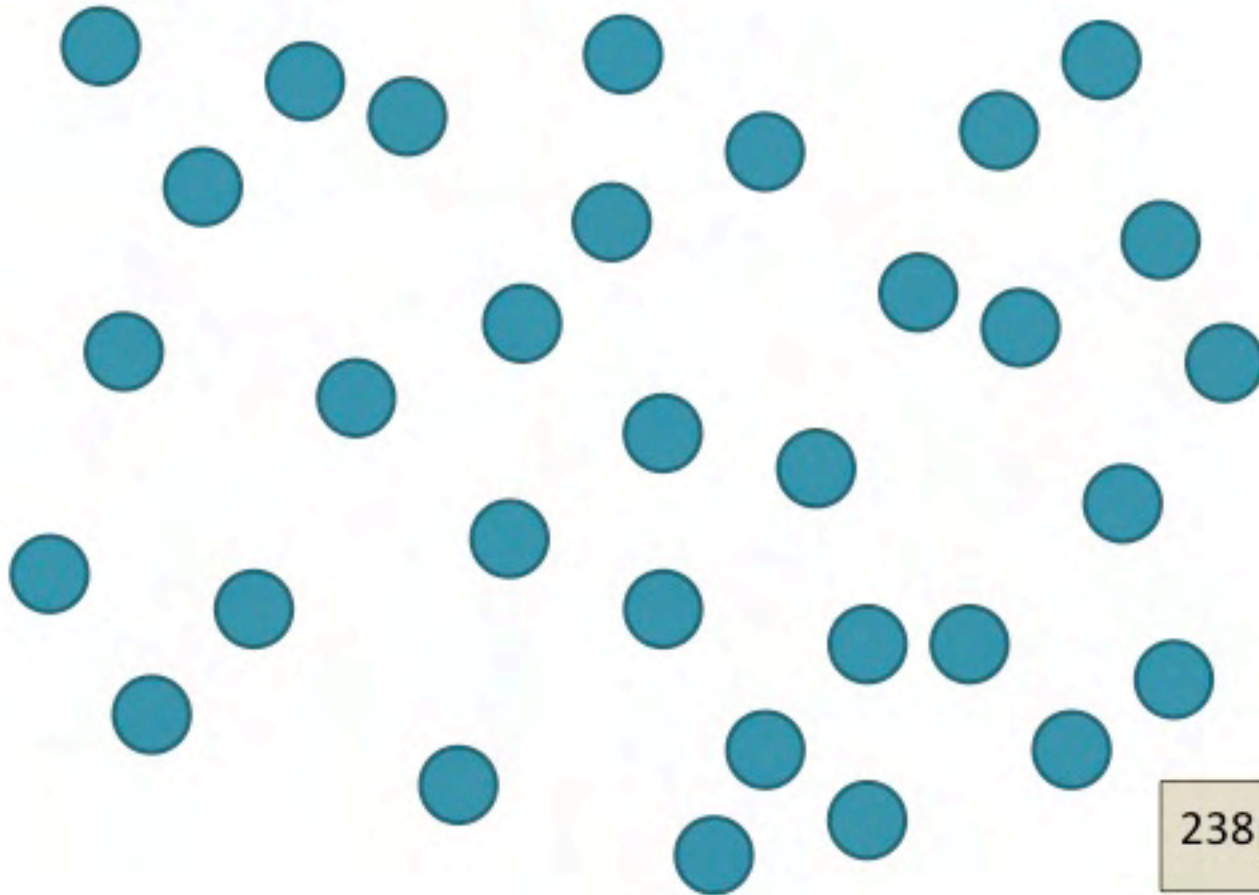
7 protons
7 neutrons



Demie vie

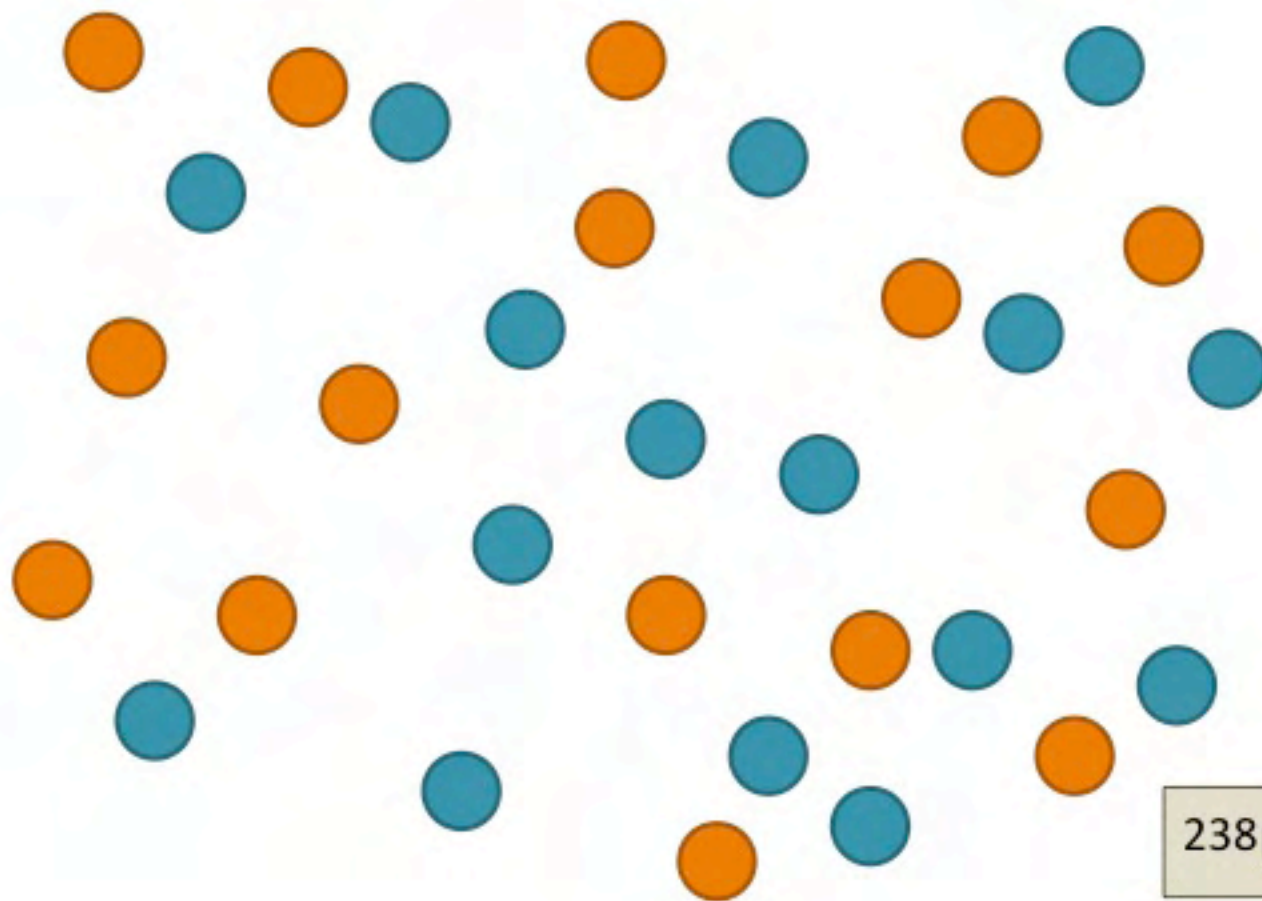
$T = 0$

^{238}U (32)



$$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb} = \infty$$

***T = 1** demie-vie*

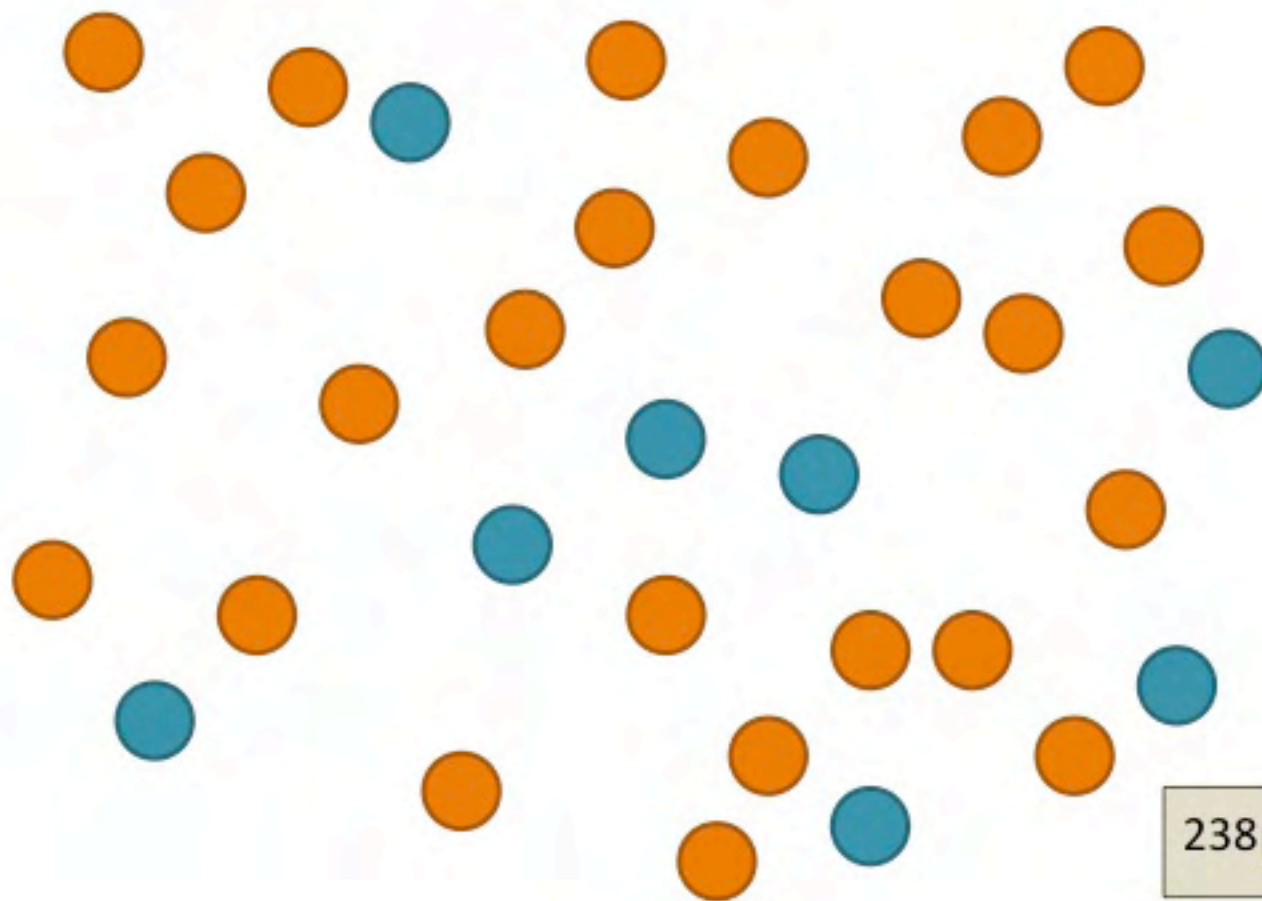


^{238}U (16)

^{206}Pb (16)

$$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb} = 1$$

$T = 2$ demie-vies

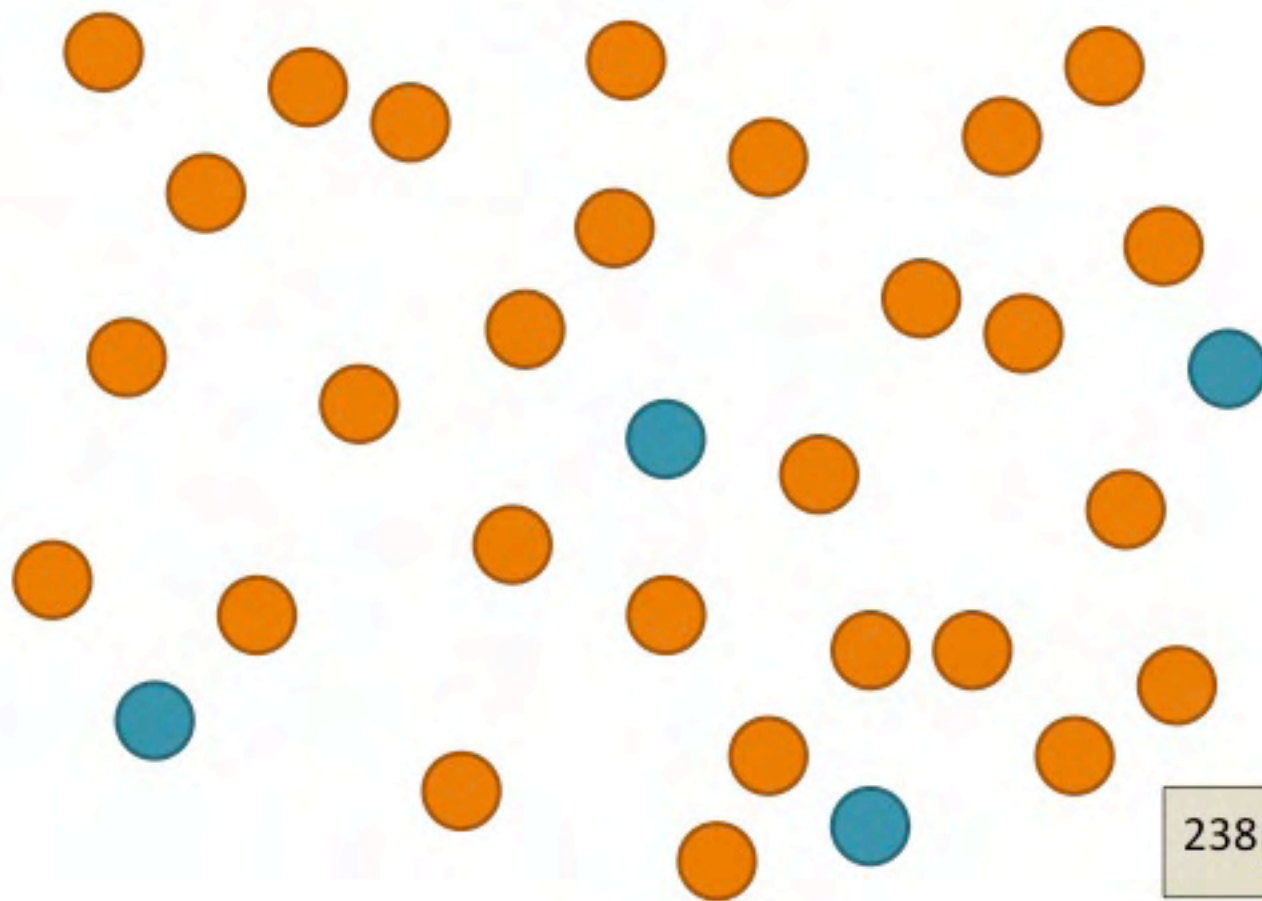


^{238}U (8)

^{206}Pb (16)

$$\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}} = \frac{1}{3}$$

$T = 3$ demie-vies

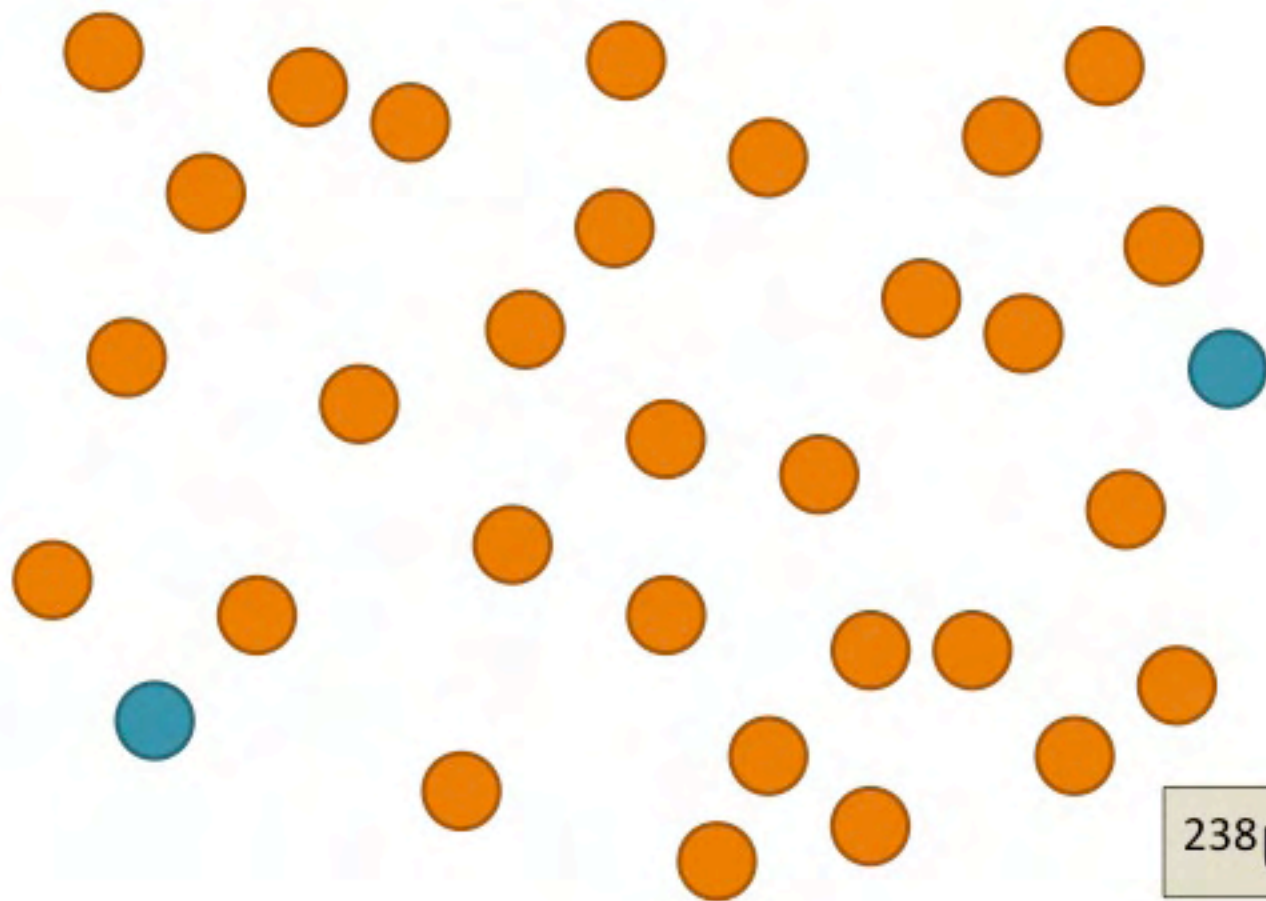


^{238}U (4)

^{206}Pb (28)

$$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb} = 1/7$$

$T = 4$ demie-vies

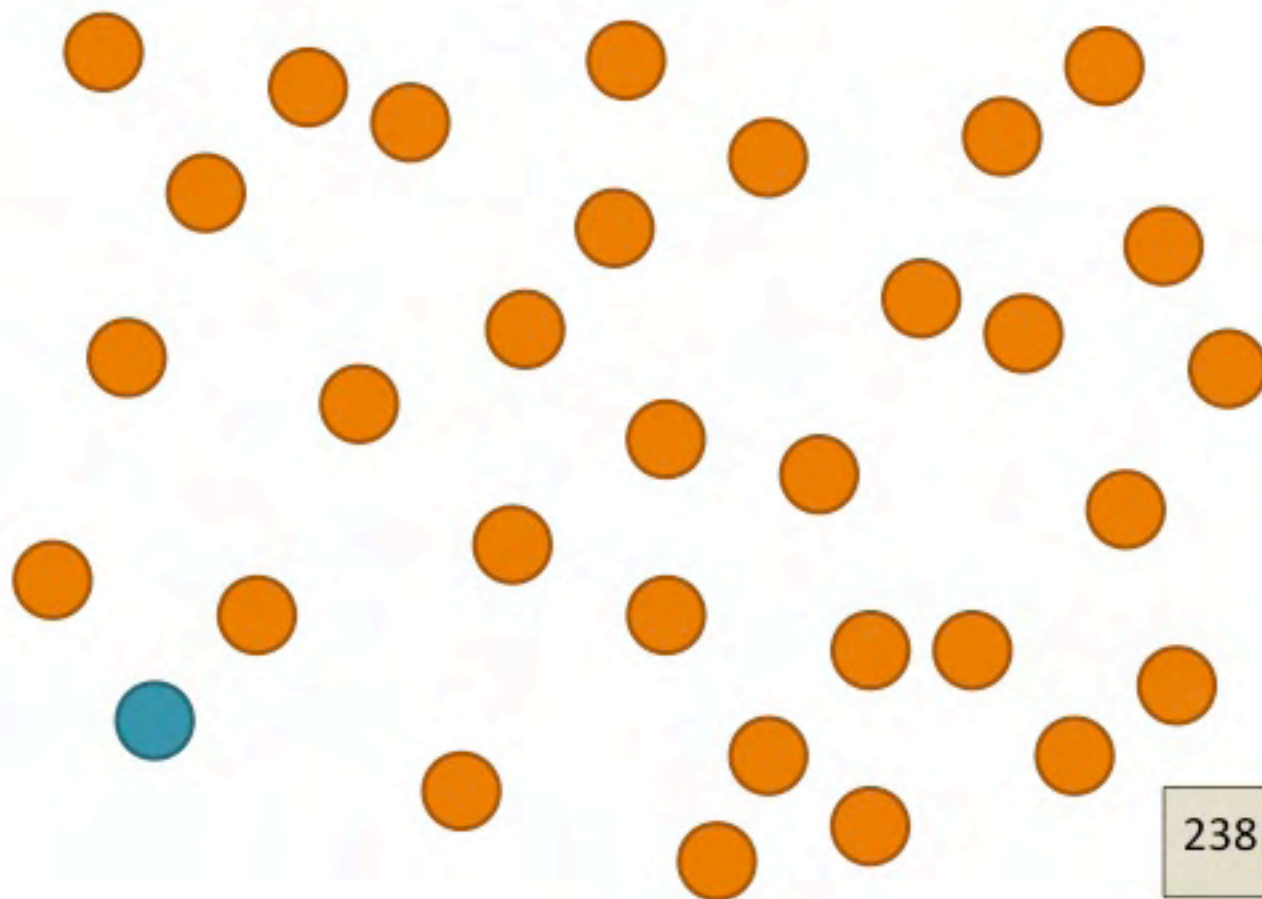


^{238}U (2)

^{206}Pb (30)

$$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb} = 1/15$$

***T = 5** demie-vies*

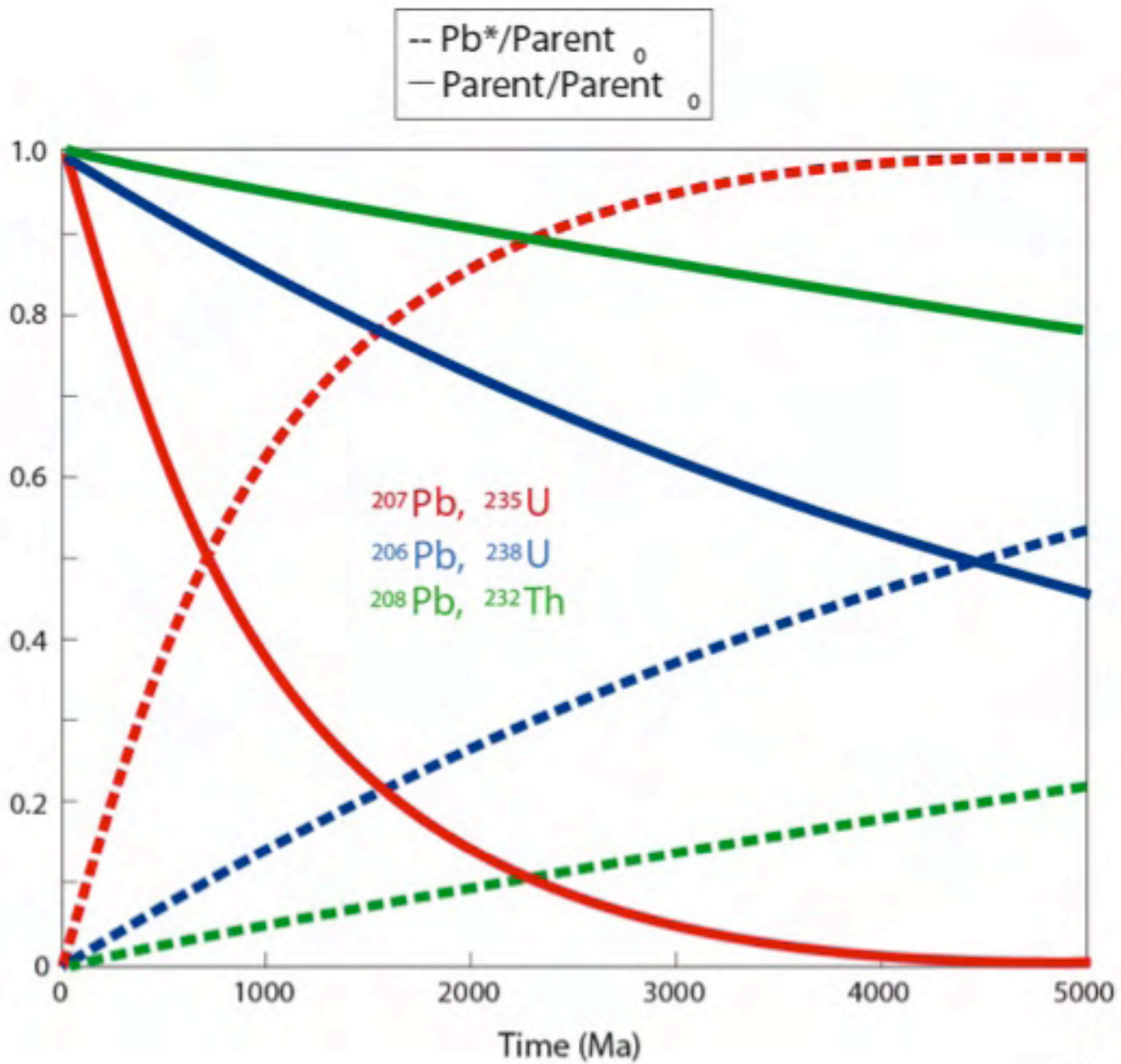


^{238}U (1)

^{206}Pb (31)

$$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb} = 1/31$$

Isotope radioactif (Père)	Produit (Fils)	Demi-vie (années)
Samarium-147	Neodymium-143	106 milliard
Rubidium-87	Strontium-87	48.8 milliard
Rhenium-187	Osmium-187	42 milliard
Lutetium-176	Hafnium-176	38 milliard
Thorium-232	Plomb-208	14 milliard
Uranium-238	Plomb-206	4.5 milliard
Potassium-40	Argon-40	1.26 milliard
Uranium-235	Plomb-207	0.7 milliard
Beryllium-10	Boron-10	1.52 million
Chlore-36	Argon-36	300 000
Carbone-14	Azote-14	5715
Uranium-234	Thorium-230	248 000
Thorium-230	Radium-226	75 400



Couplages de différents systèmes

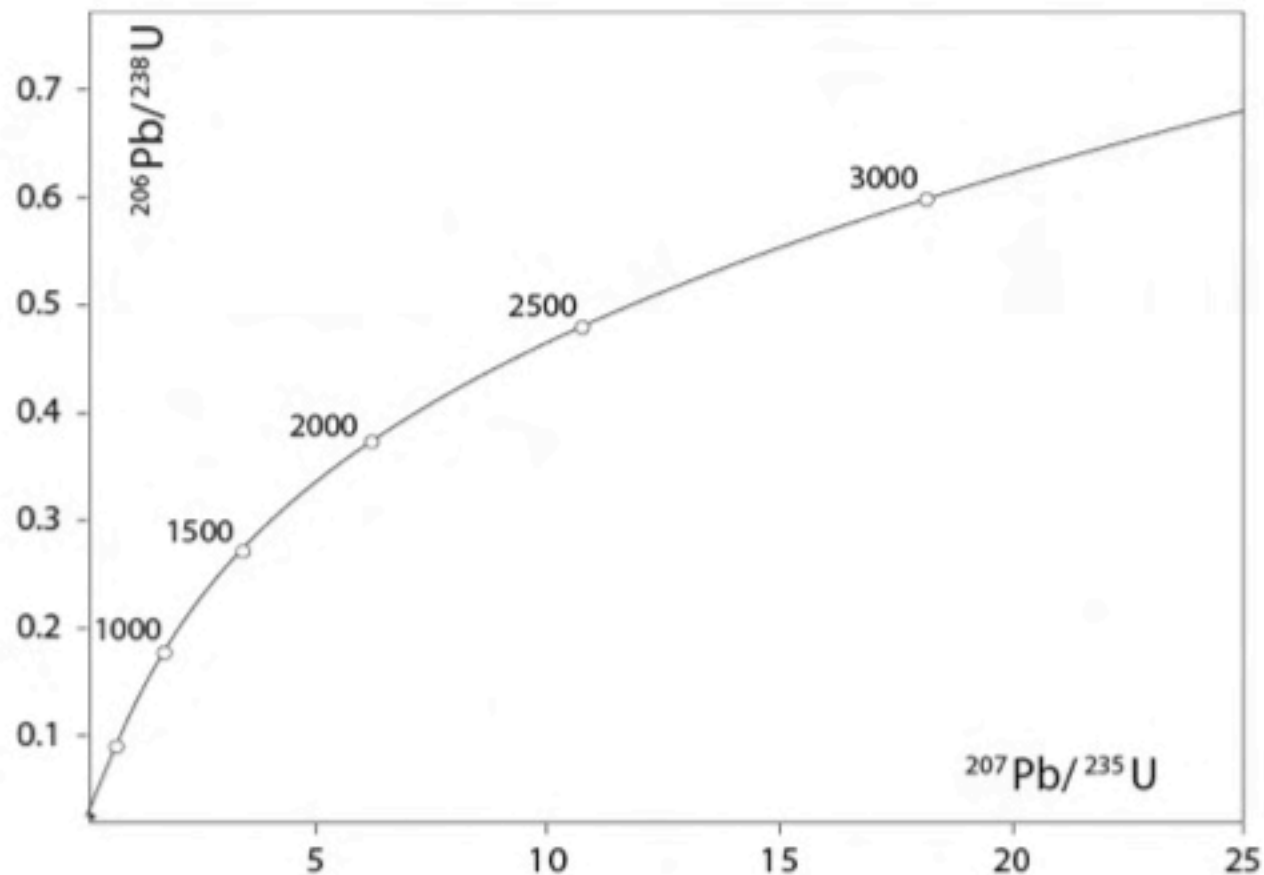
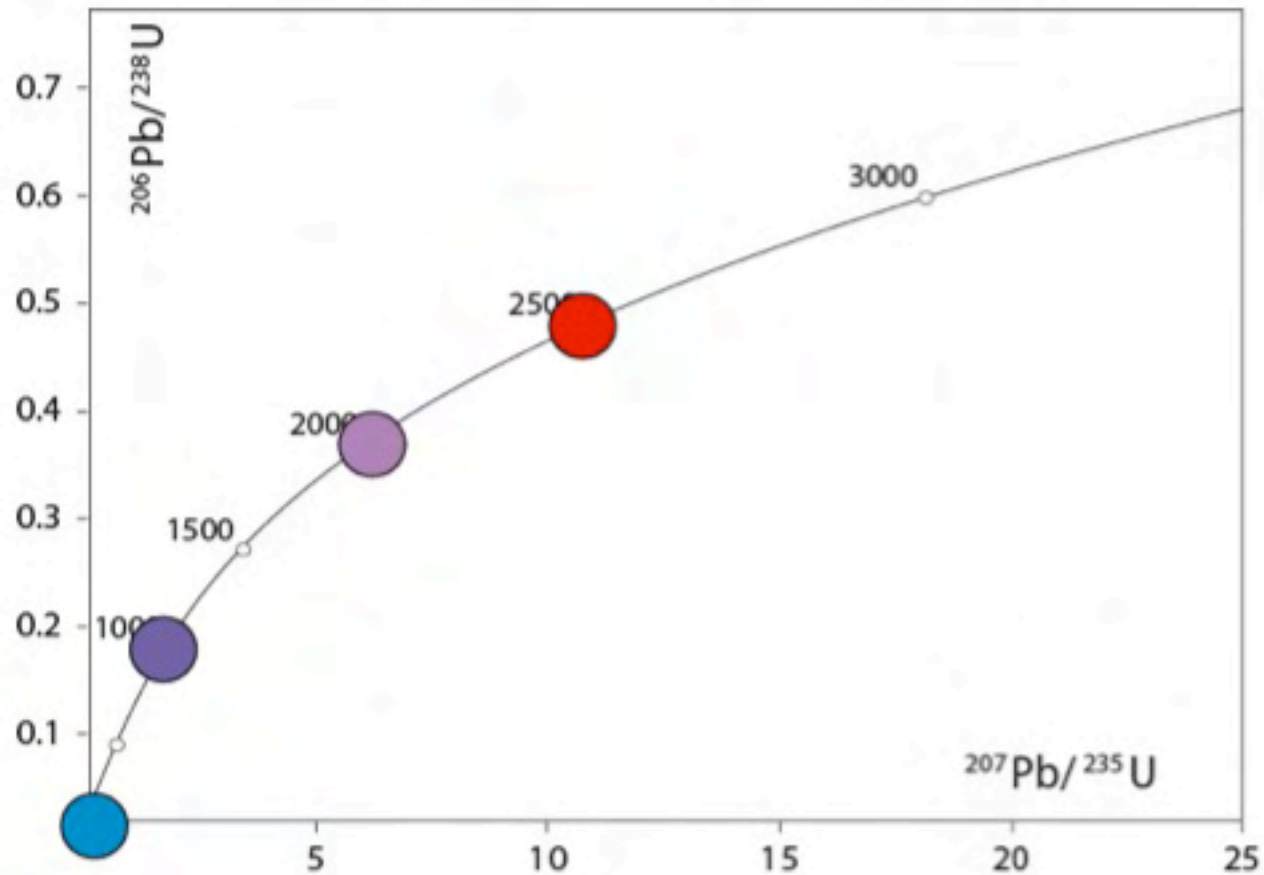
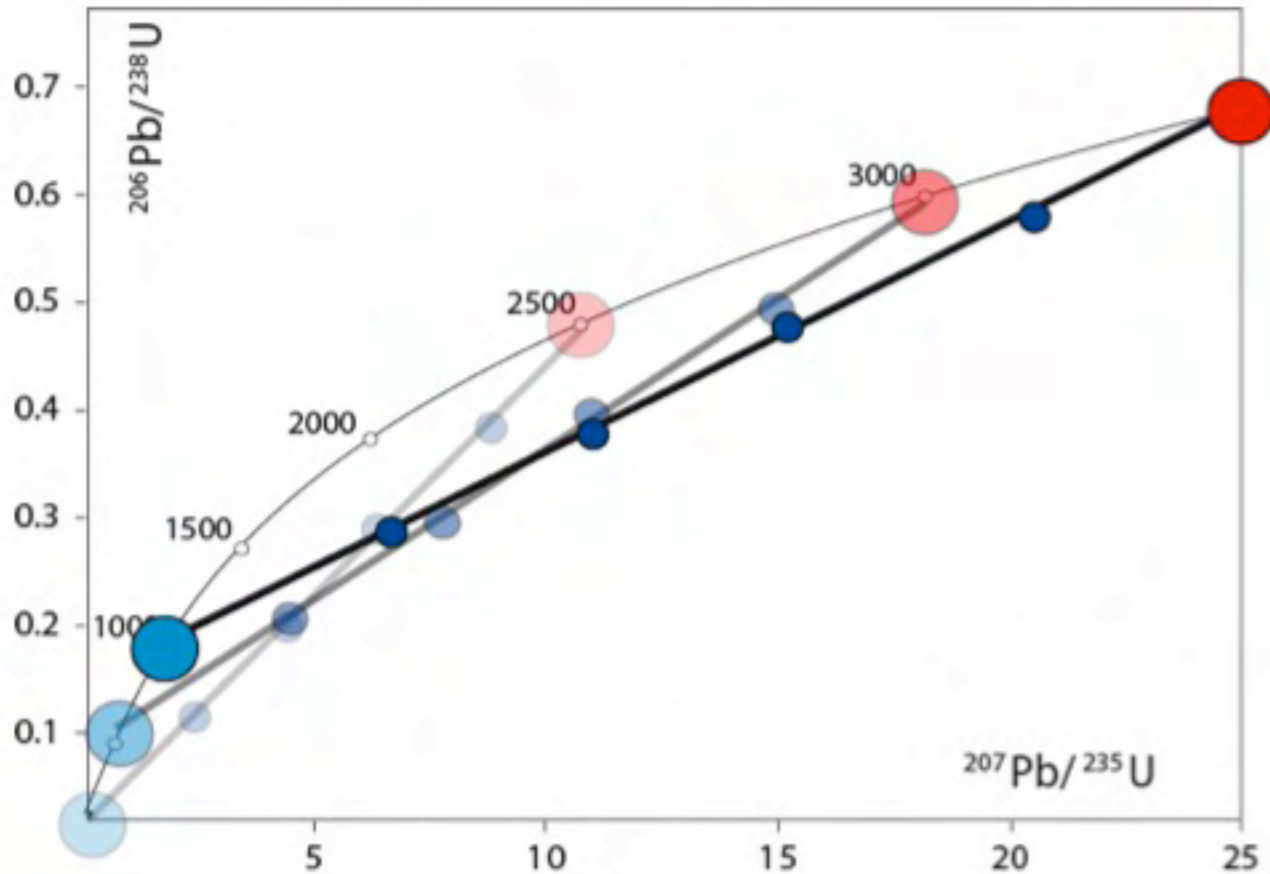


Diagramme « concordia »

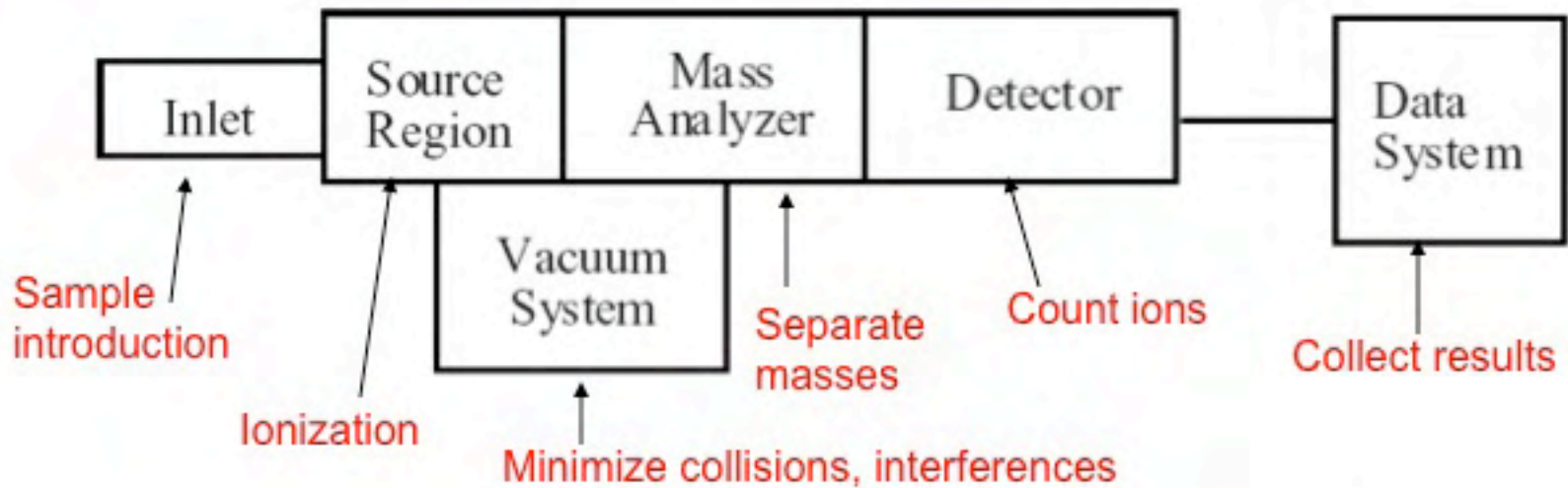
Couplages de différents systèmes



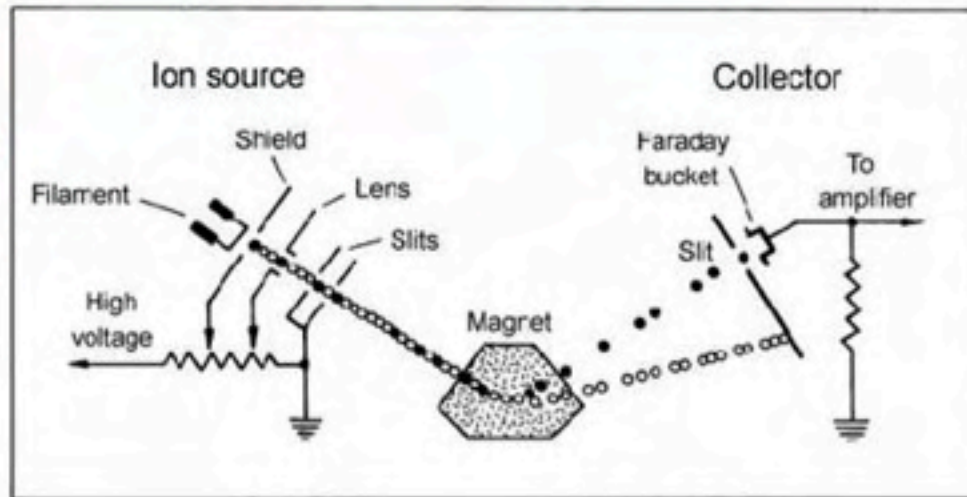
Perte de Pb: discordia



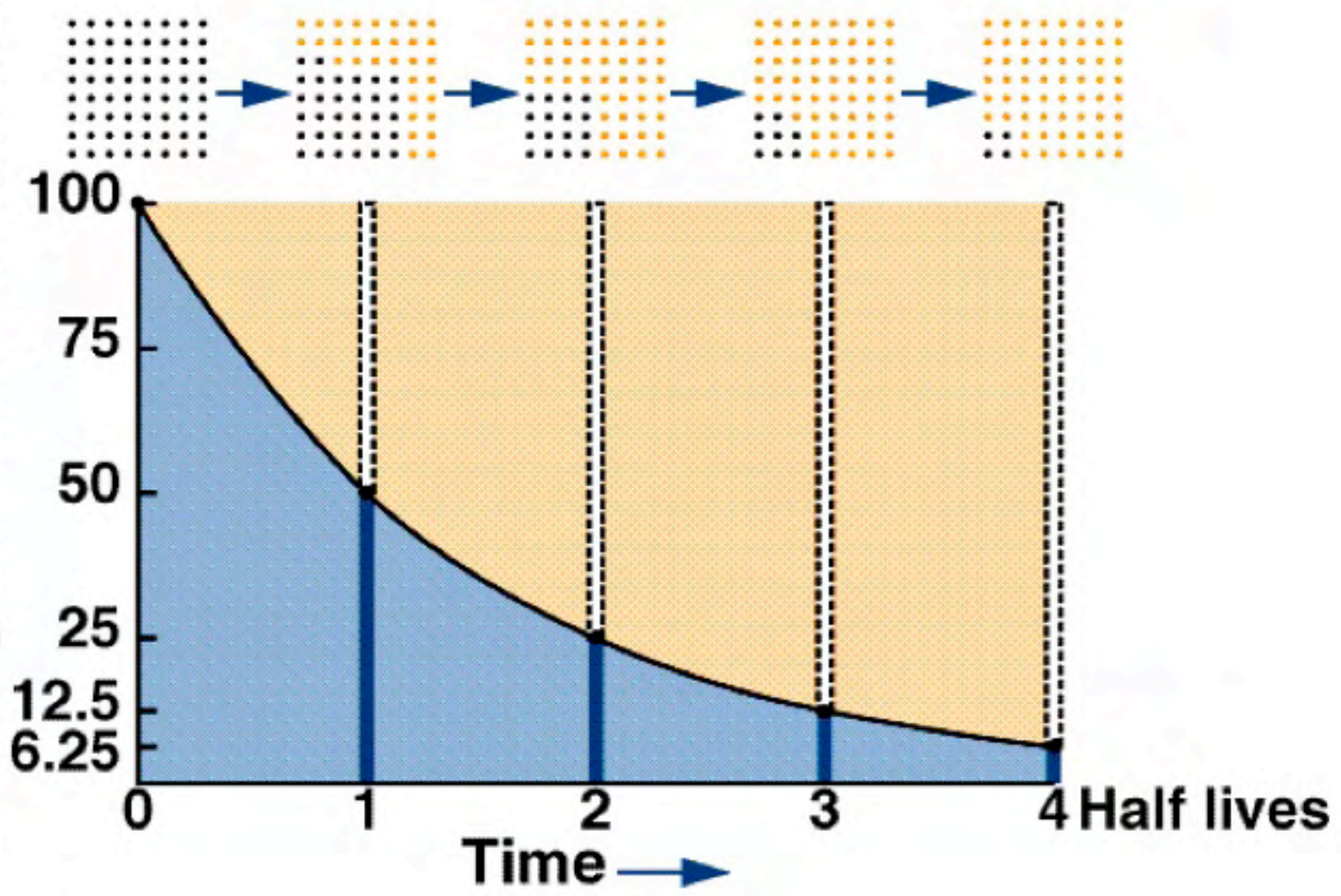
Introduction to Mass Spectrometry



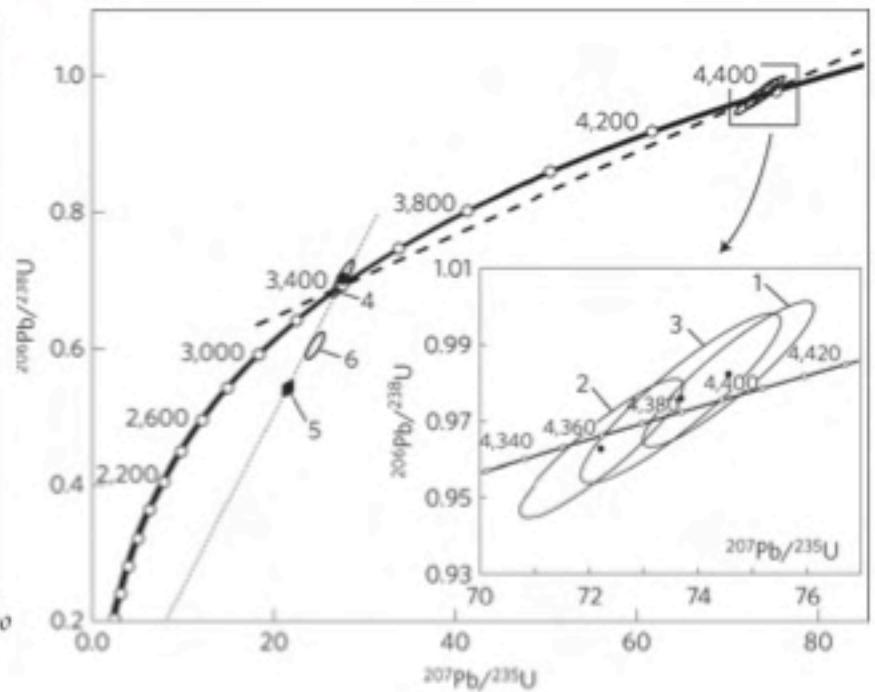
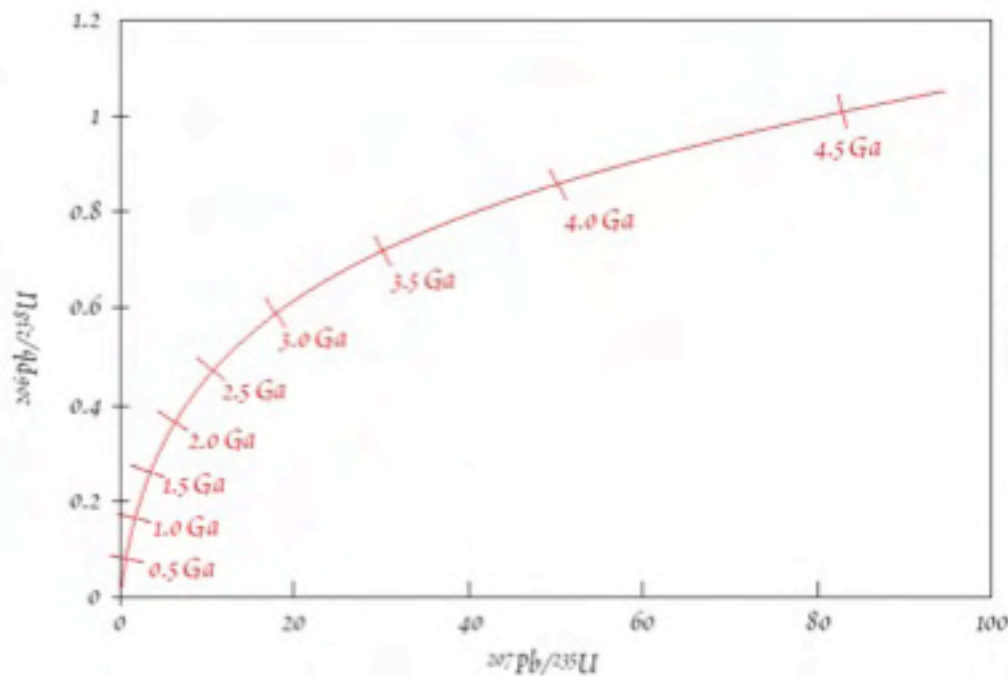
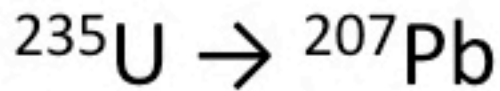
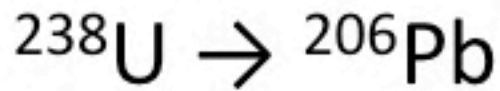
Nier-type mass spec



A % of original radioactive isotopes



Systeme U-Pb : deux paires d'isotopes





Clair Patterson

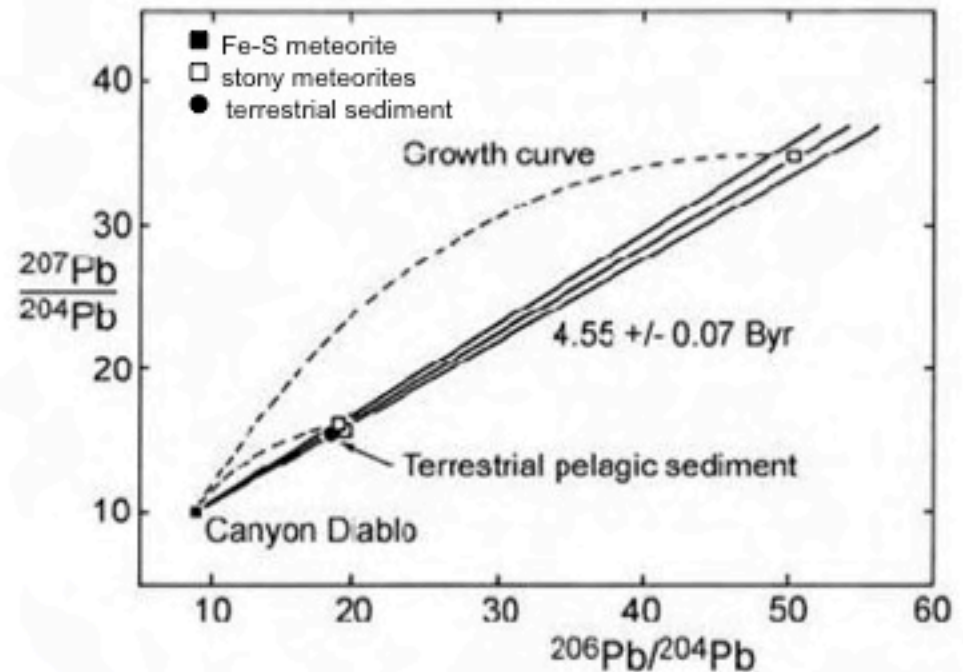
1922-1995

4.55 Milliards d'années

Âge de la Terre et du système solaire

Pollution au Pb ambiant : laboratoires ultra-propres (« salle blanches ») modernes.

Tout les matériaux terrestres définissent le même âge



La géochronologie moderne: « zirconologie »

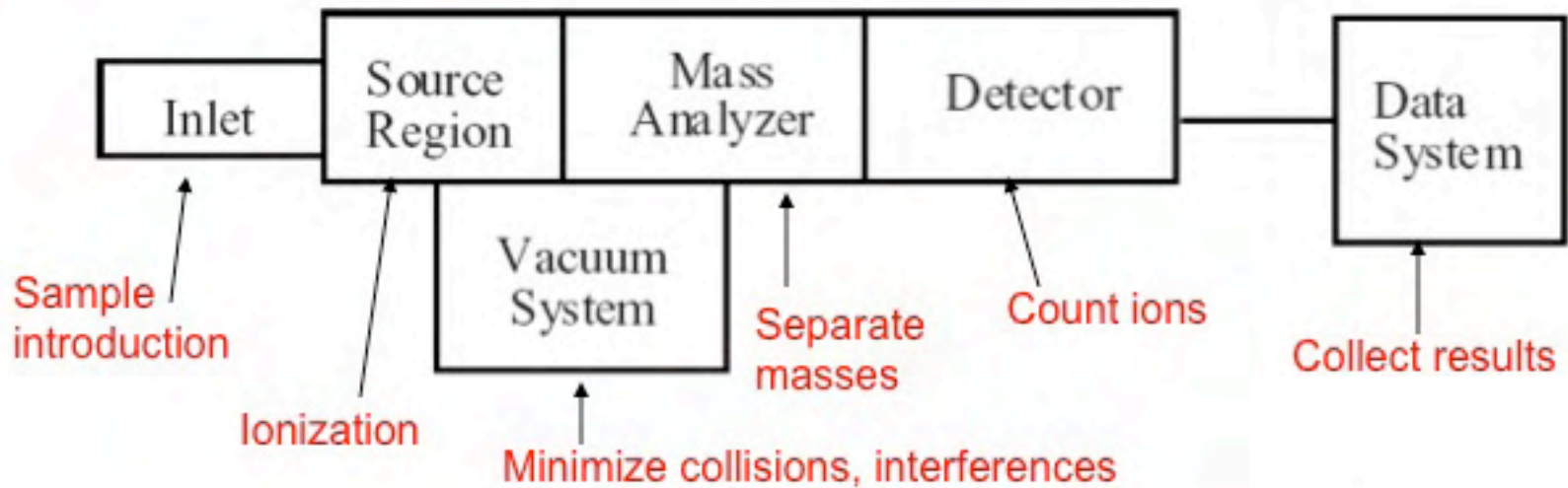


La géochronologie moderne: « zirconologie »

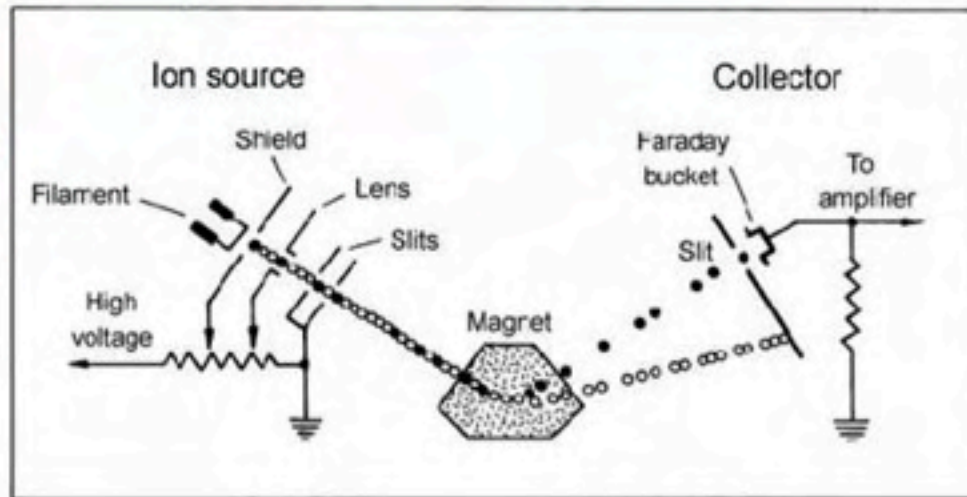




Introduction to Mass Spectrometry



Nier-type mass spec



LA-ICP-MS

Laser Ablation

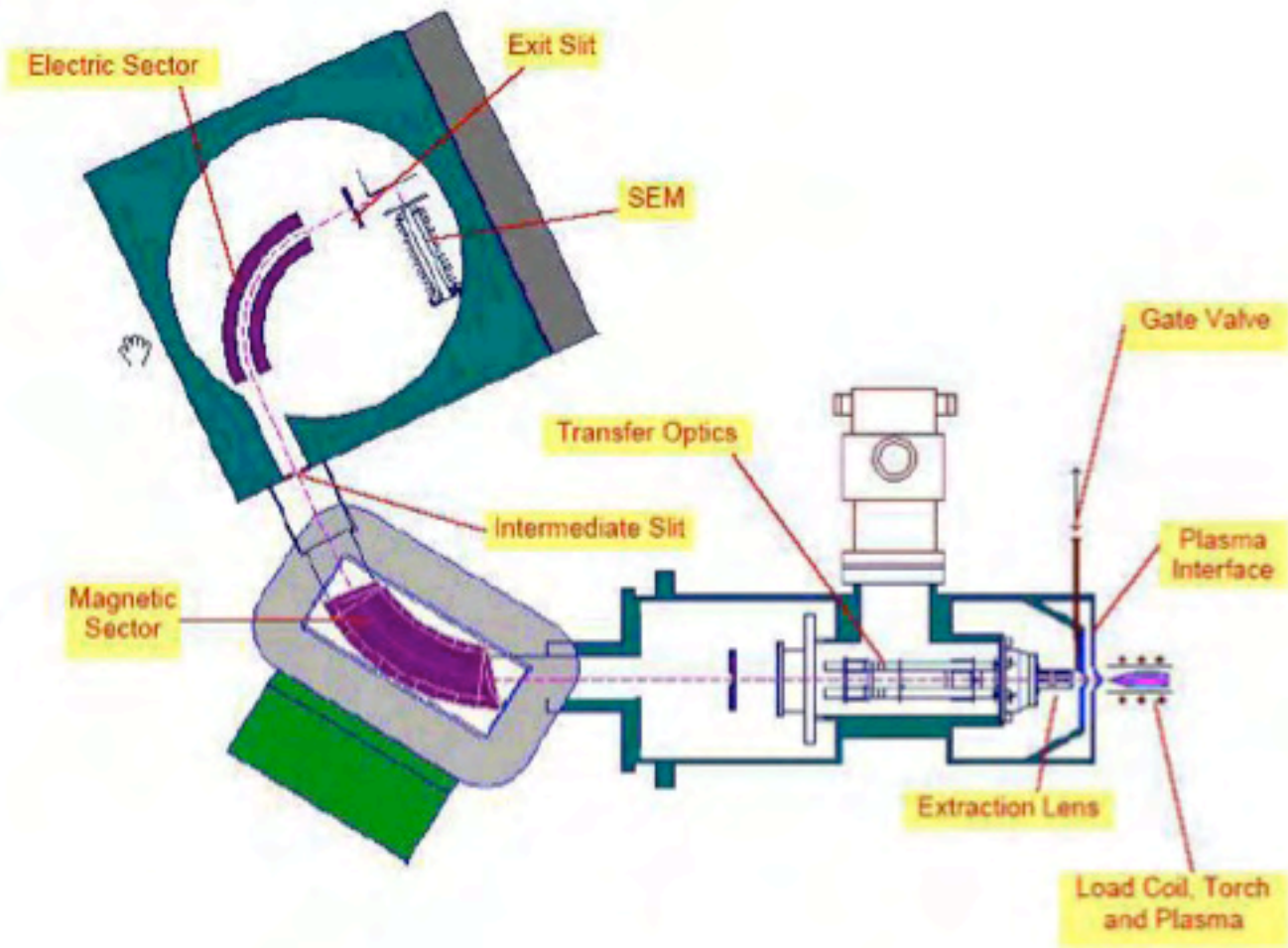
Inducively Coupled Plasma

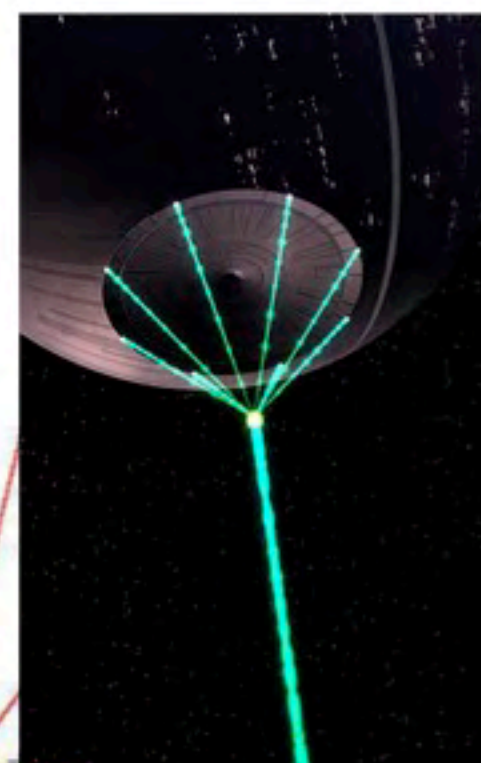
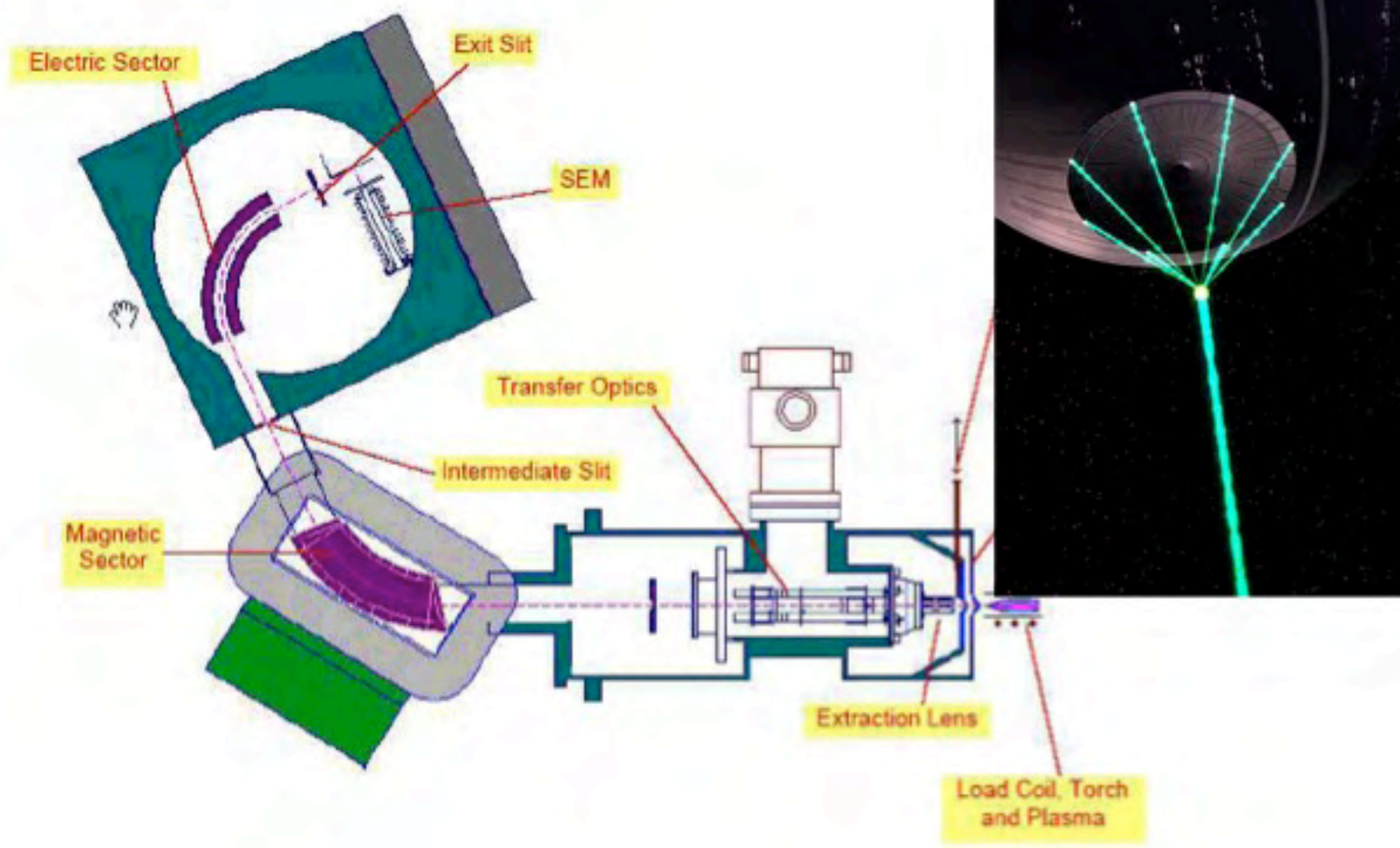
Mass spectrometry

« Spectrométrie de masse à source plasma par ablation laser »



- HR-LA-ICP-MS
- MC-LA-ICP-MS
- SF-LA-ICP-MS
- QQQ-LA-ICP-MS





Radiogenic isotope ratios **historically measured using (ID-)TIMS** and more recently **MC-ICP-MS**

- ▶ « Bulk » methods on chemically purified samples

Long preparation

- ▶ Expensive, and long
1 analysis \geq 1h

- ▶ High precision

e.g. ≤ 50 ppm ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)



Sensitive sector-field ICPMS

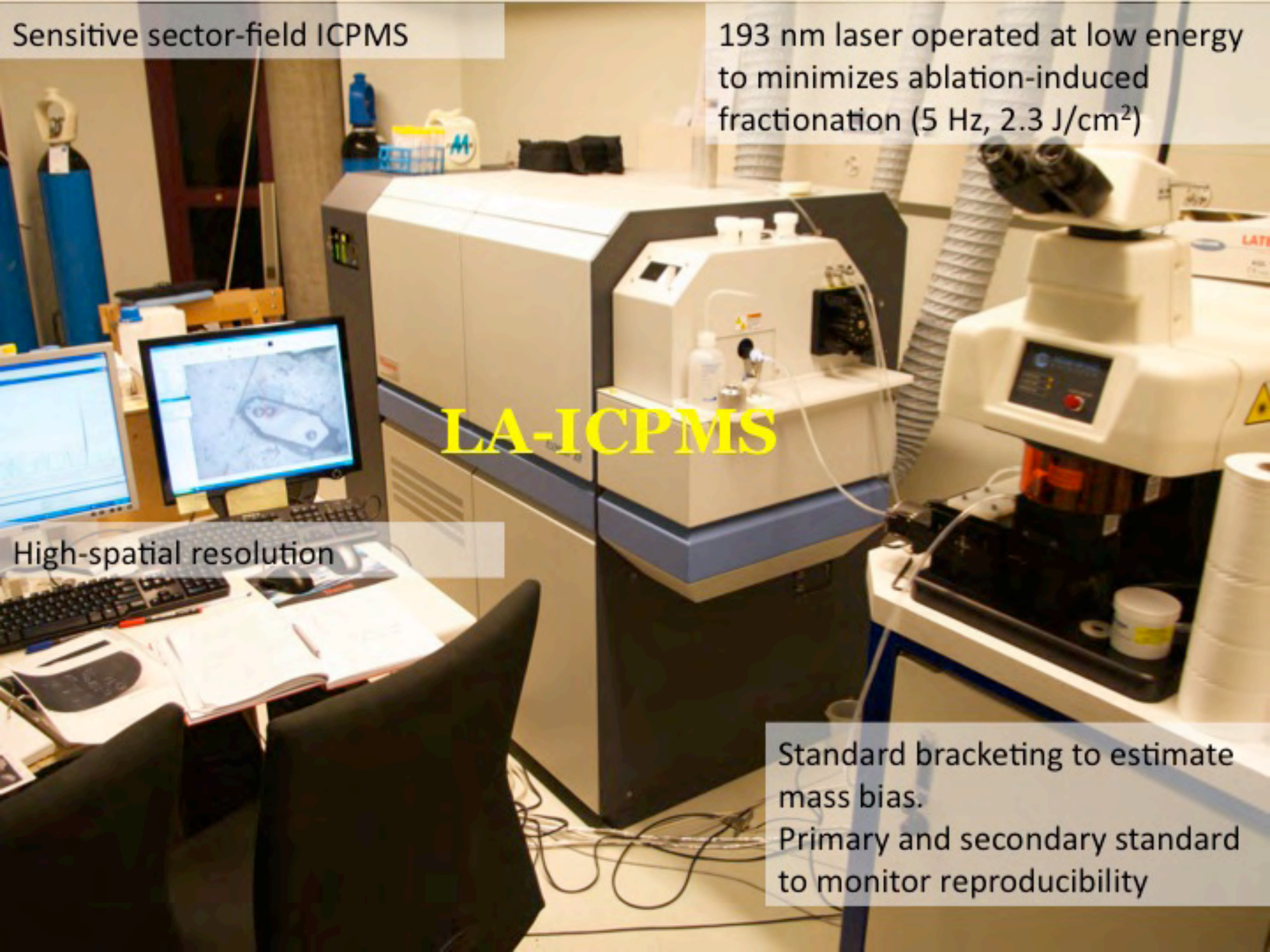
193 nm laser operated at low energy to minimize ablation-induced fractionation (5 Hz, 2.3 J/cm²)

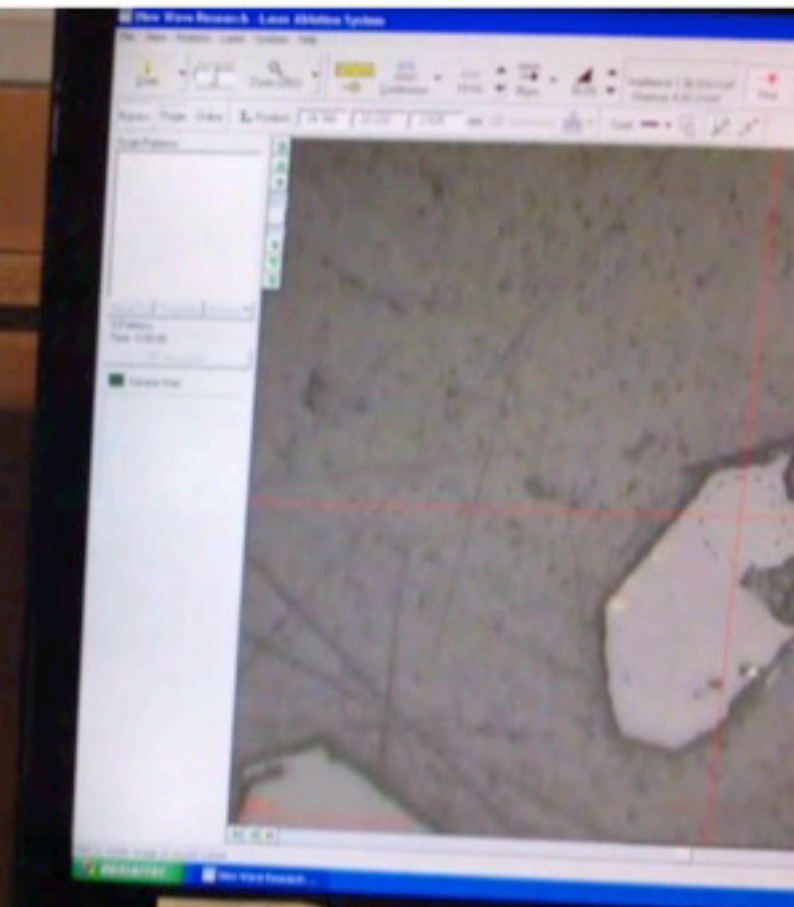
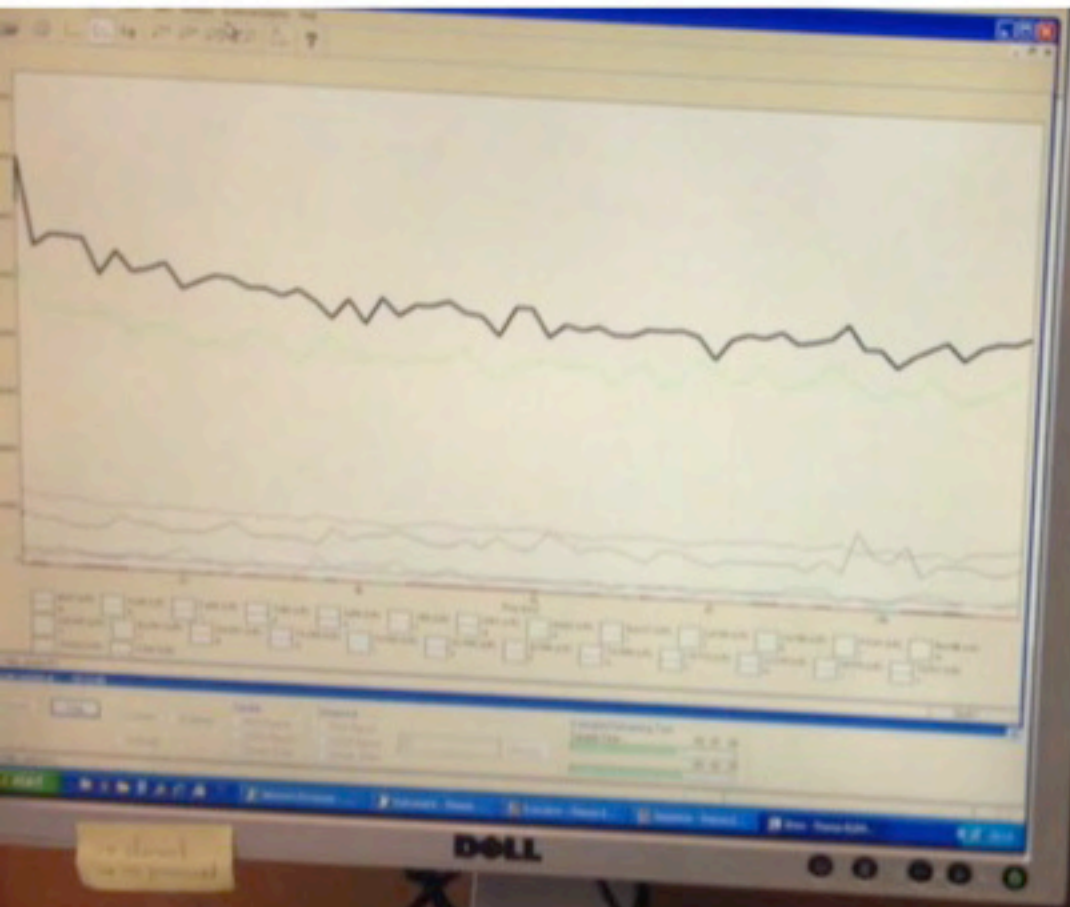
LA-ICPMS

High-spatial resolution

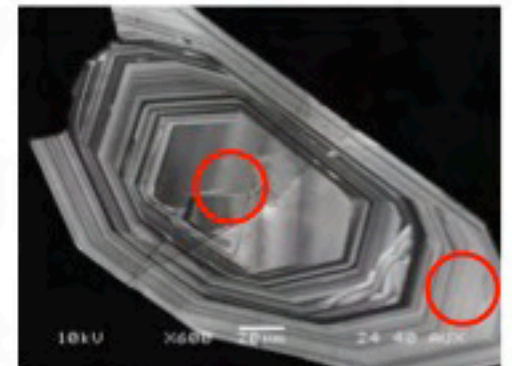
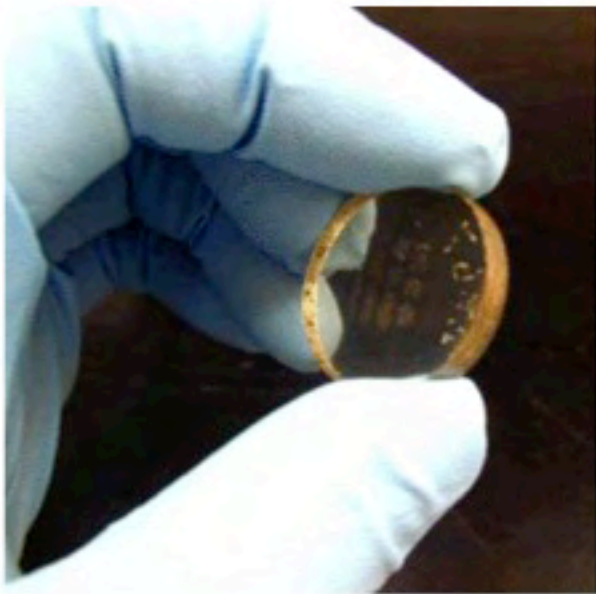
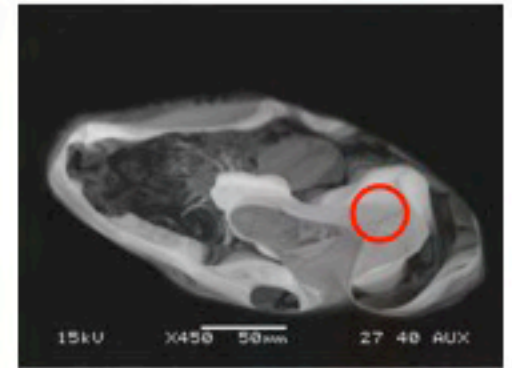
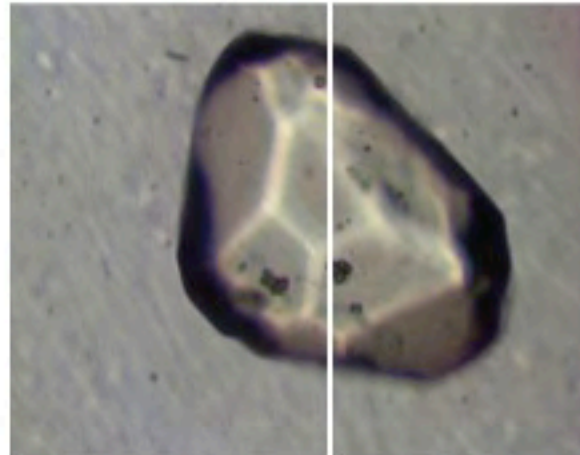
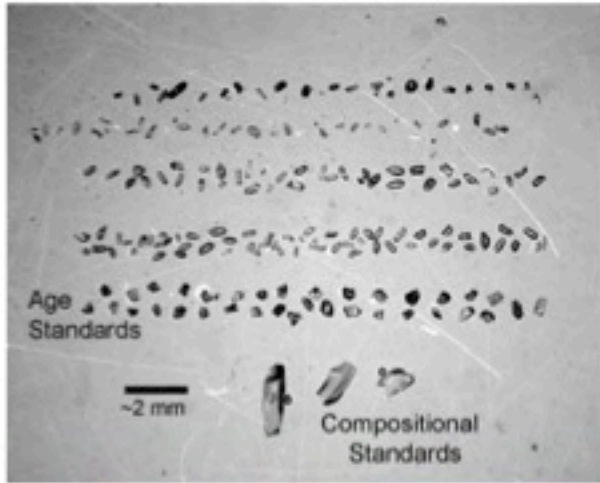
Standard bracketing to estimate mass bias.

Primary and secondary standard to monitor reproducibility

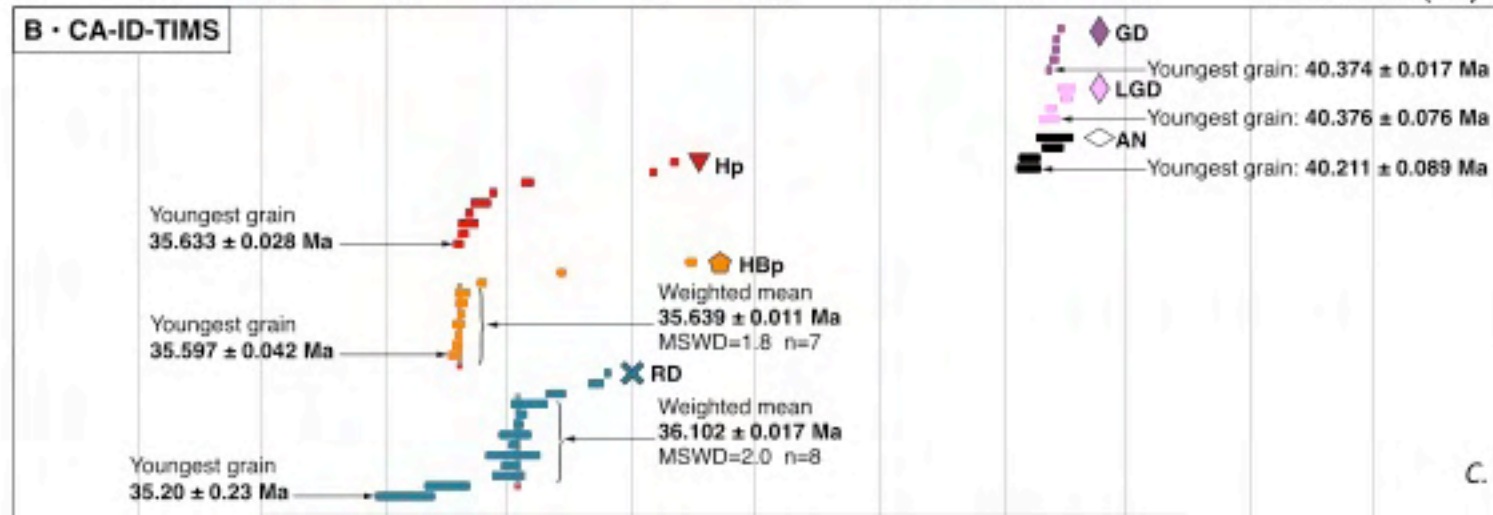
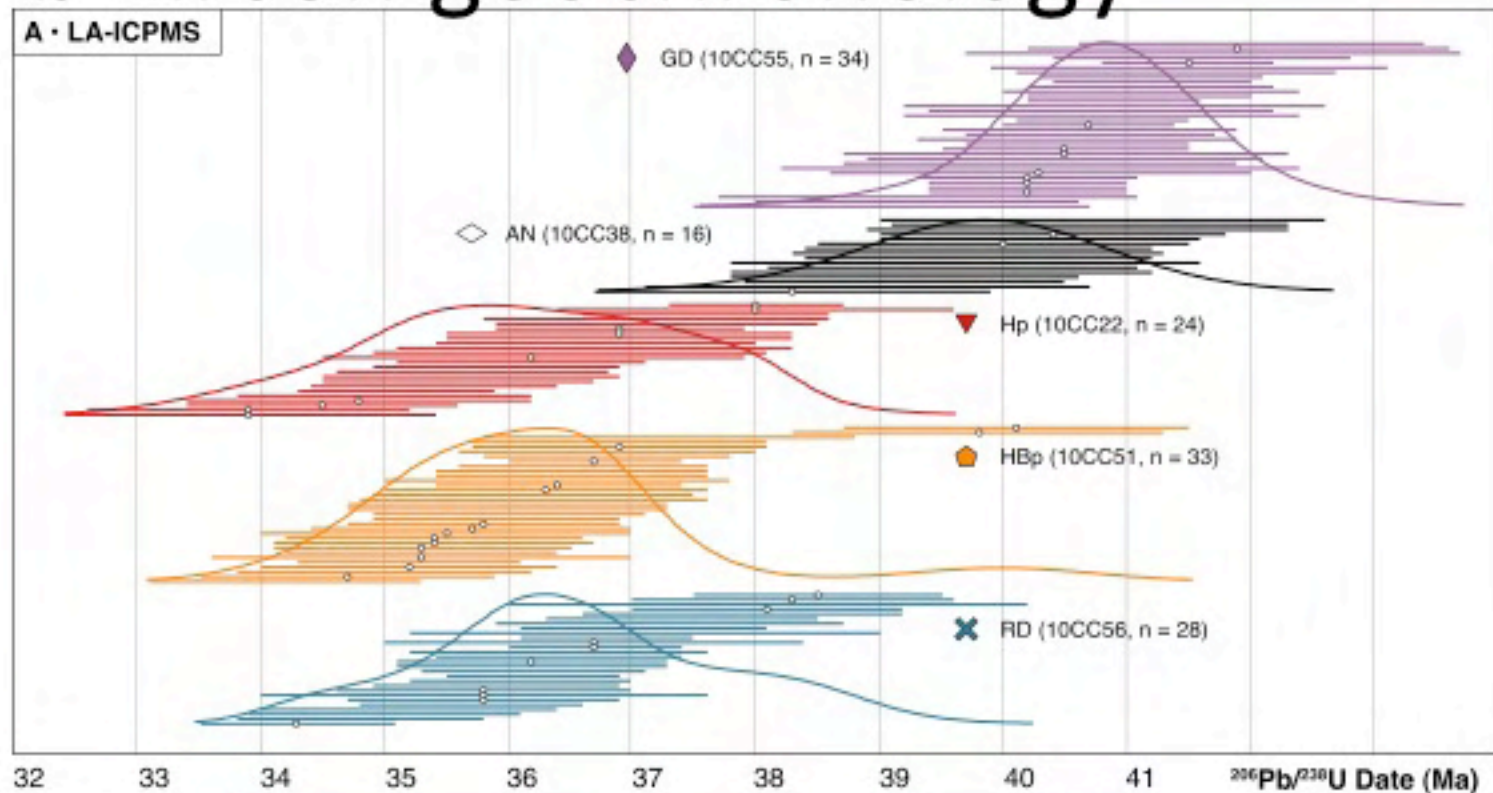




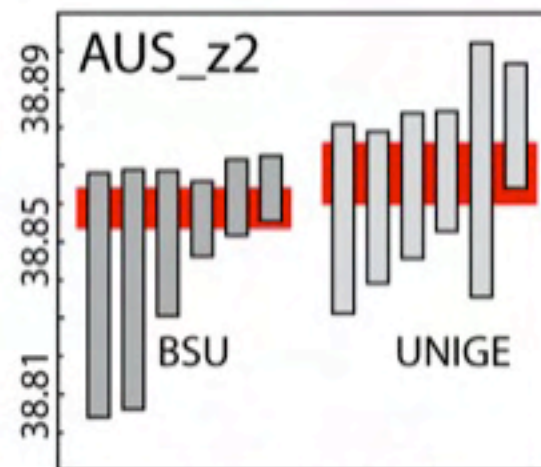
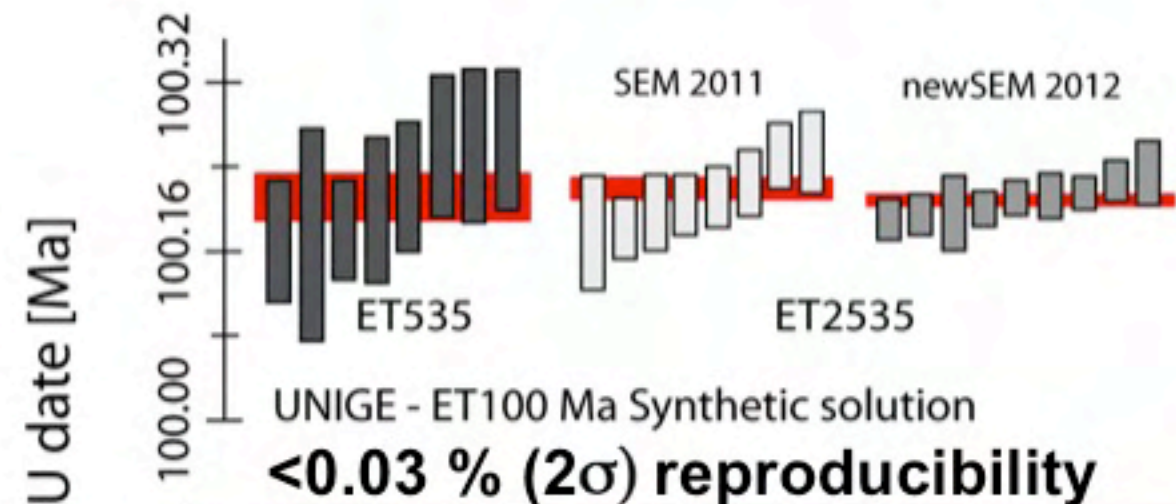
Datations in-situ U-Pb



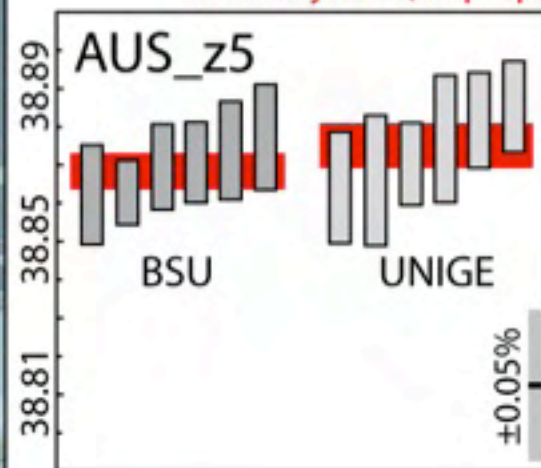
U-Pb zircon geochronology



Accuracy and reproducibility

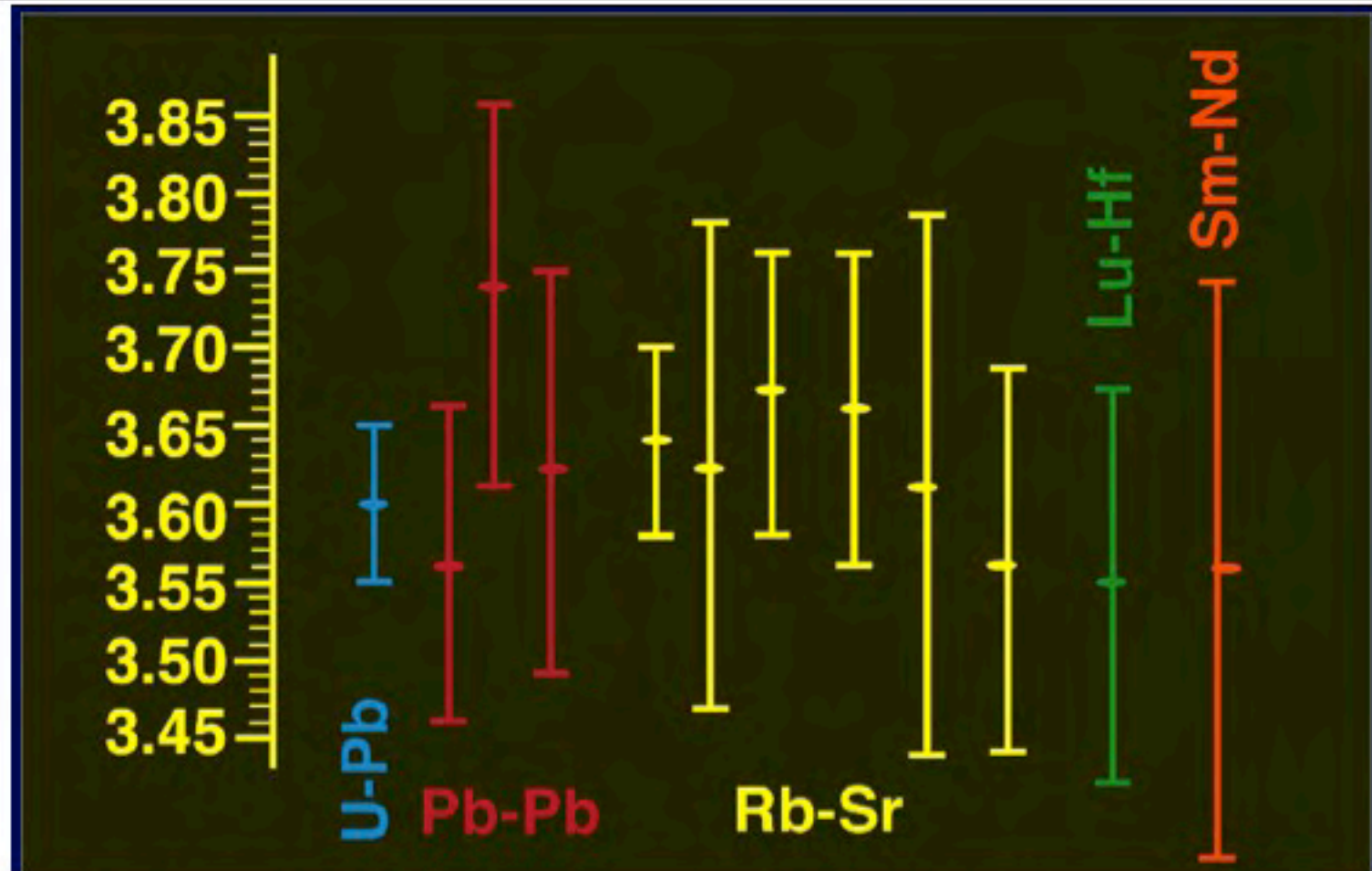


Kennedy et al., in prep.



<0.05 % (2σ) interlab-reproducibility

Different Methods in Comparison



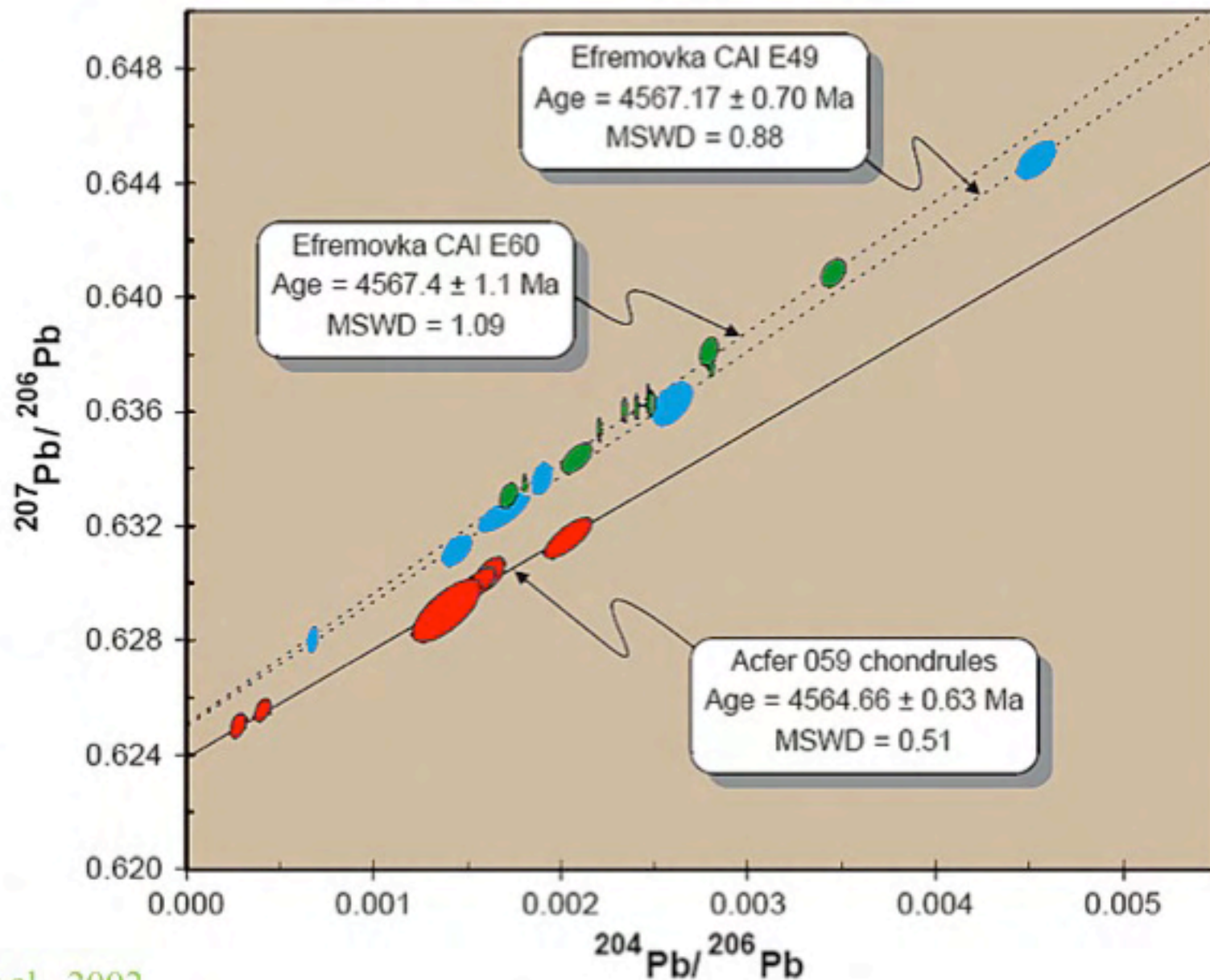
Age of the Amitsoq-Gneiss in Western Greenland: Different methods give different results – with different uncertainties (error bars). In general, isotopes with shorter half-lives can be expected to yield smaller absolute errors (Source: Univ. Heidelberg).

Oldest Rocks

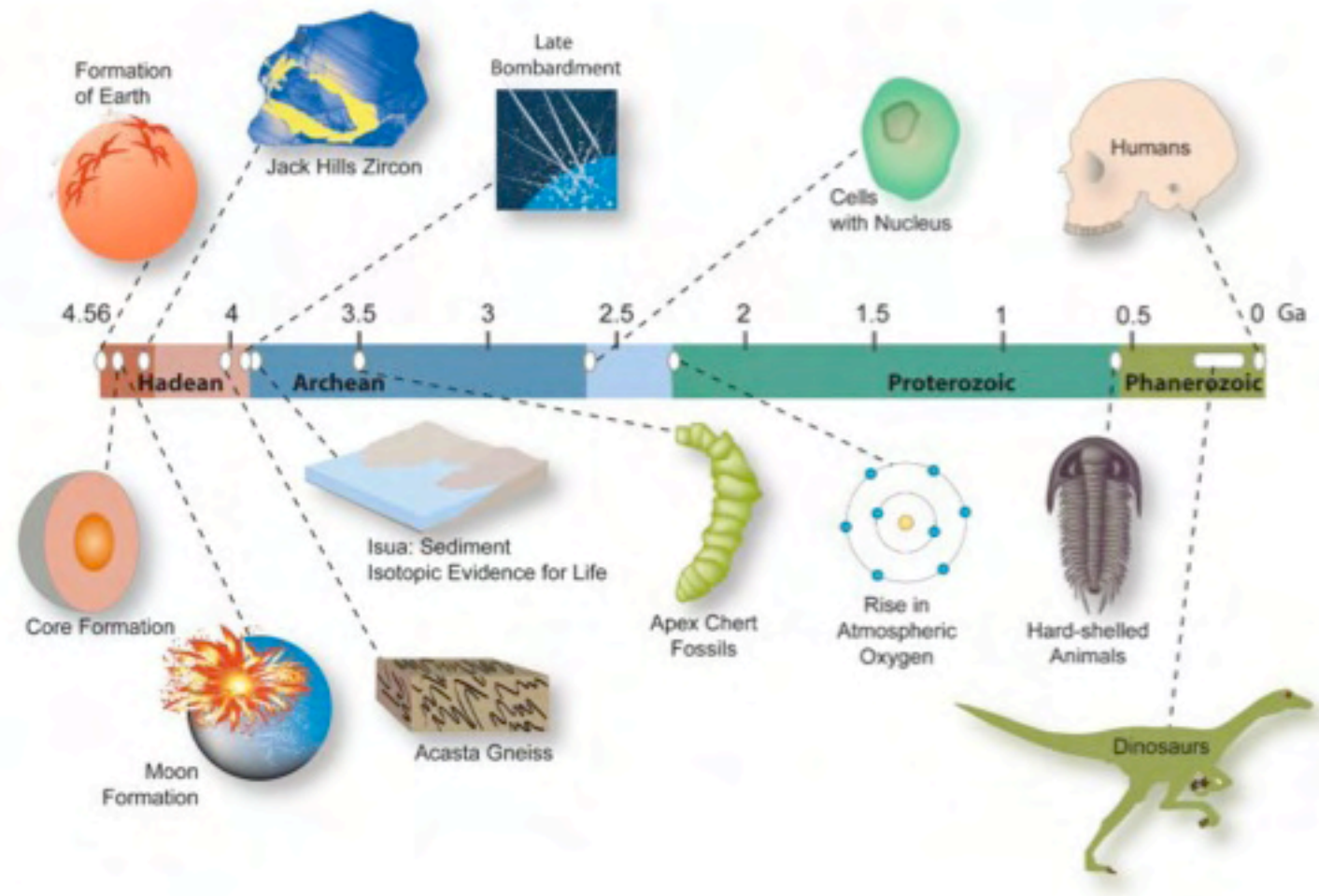


The Canadian Acasta Gneiss (German.: „Gneis“, here a piece from the Natural History Museum in Vienna) is up to 4.0 Gyr old. The age of the Nuvvuagittuq greenstone belt (right, also in Canada, credit: NASA) is under heavy debate. It contains some Neodym-142, which is the result of the decay of Samarium-146. Because of its short half-life of just 68 million years it should only be present in such a concentration in rocks that are up to 4.4 Gyr old. Lu-Hf Dating, on the other hand, gives an age of „just“ 3.8 Gyr.

Systeme solaire



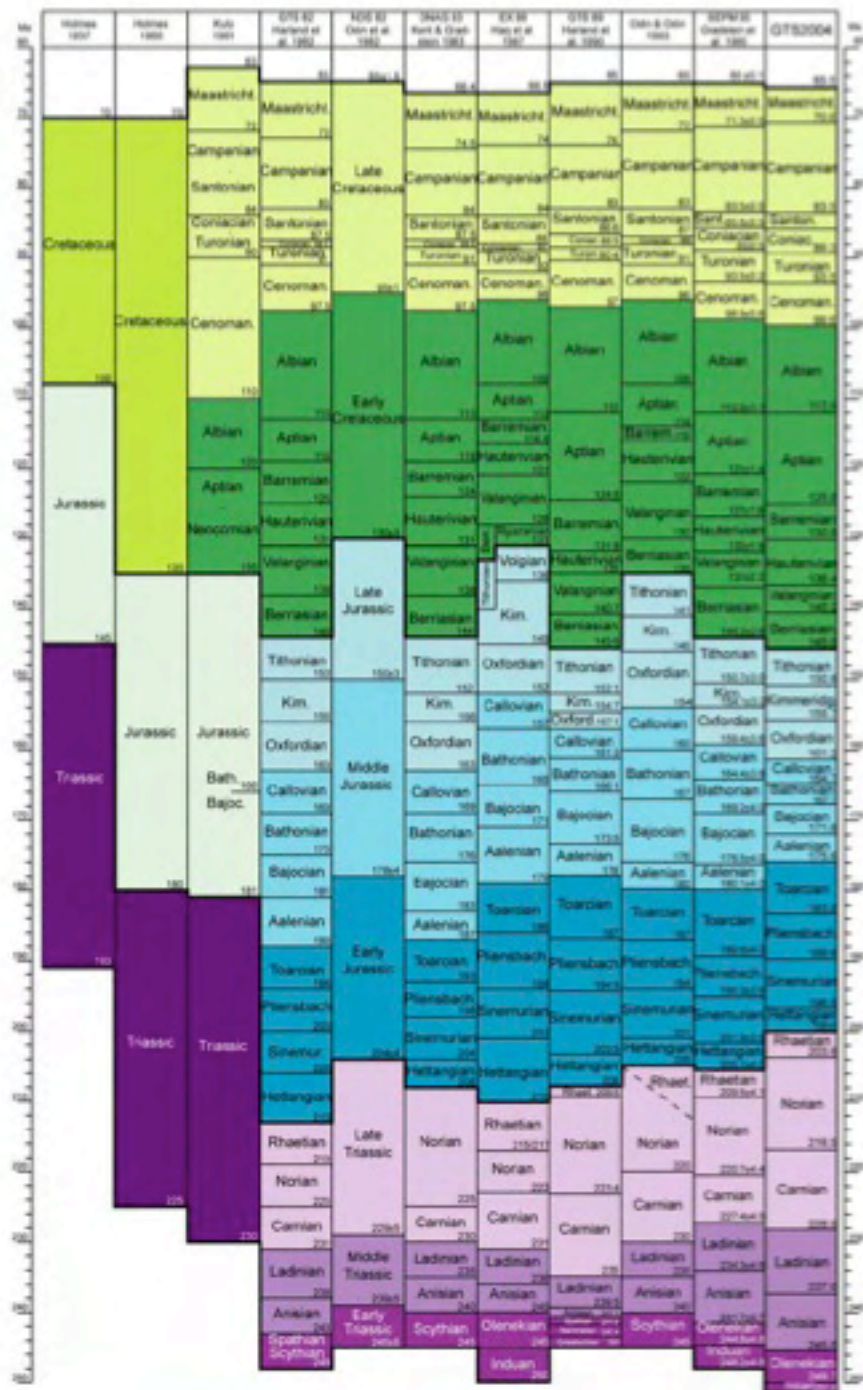
A Brief History of Time



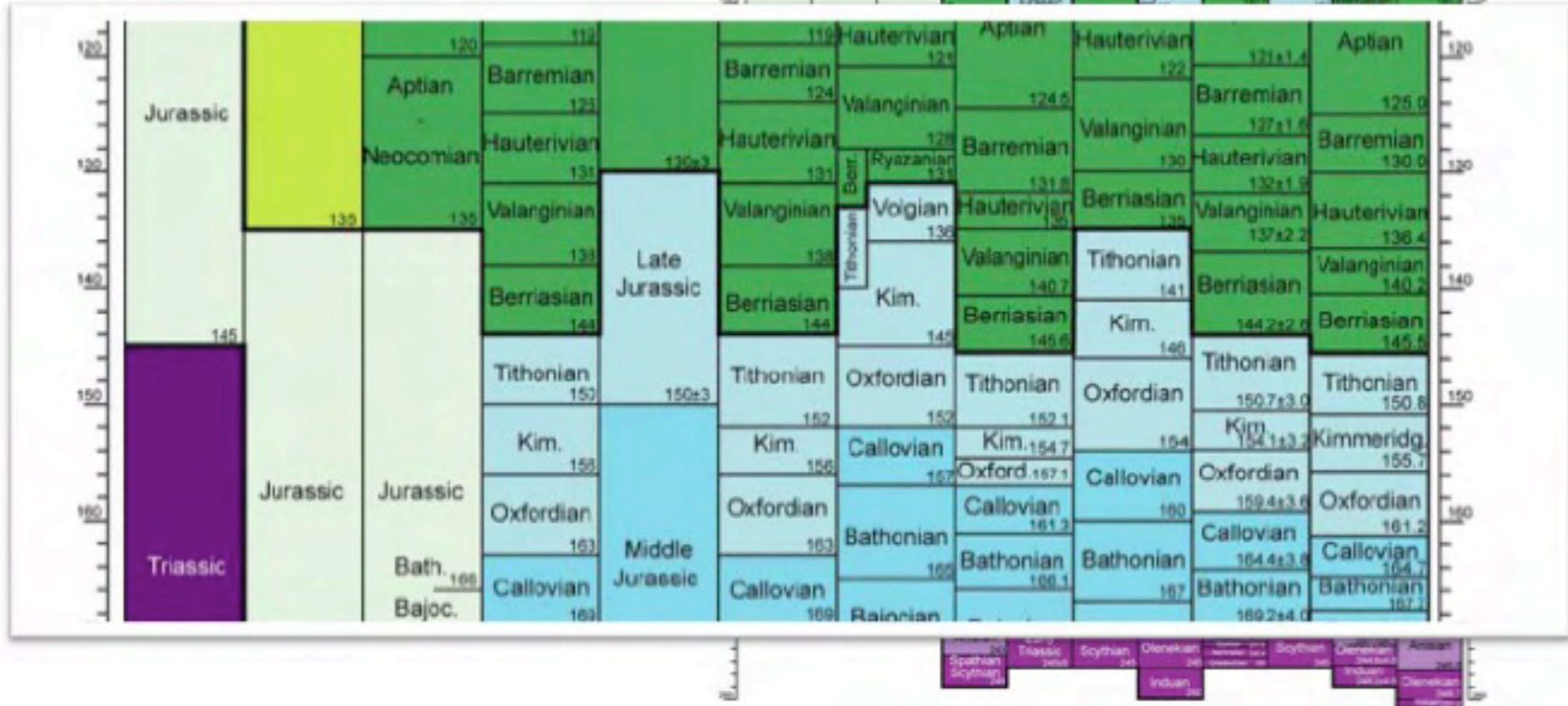
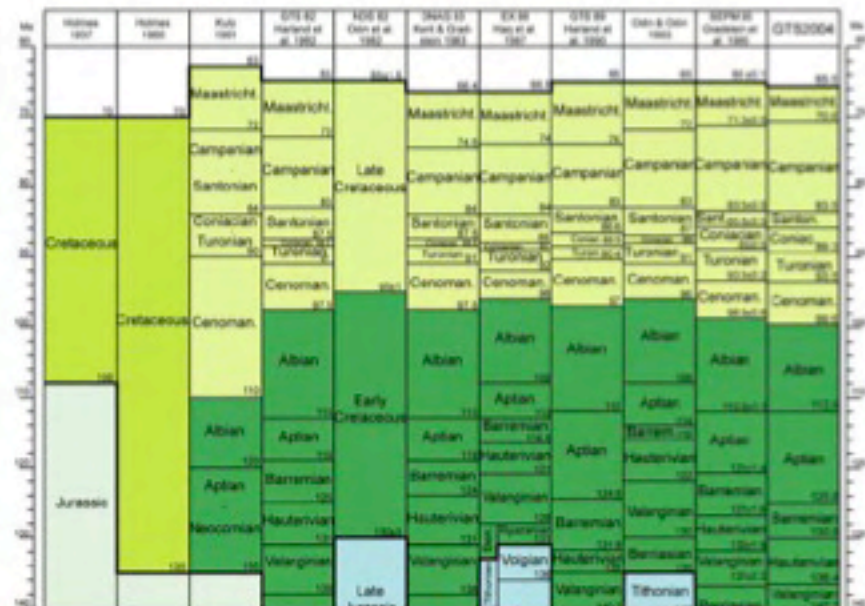
Andrew Valley

Some important points in Earth history (A. Vallee).

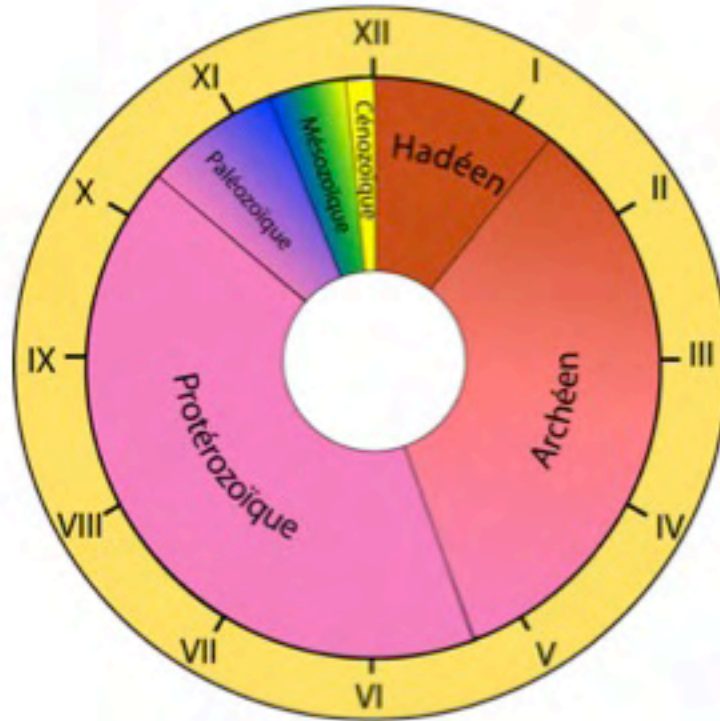
On peut alors
recaler les
échelles
relatives...



On peut alors recaler les échelles relatives...



Le Précambrien, c'est long...



A Year of Geologic Time

1 second \approx 200 years

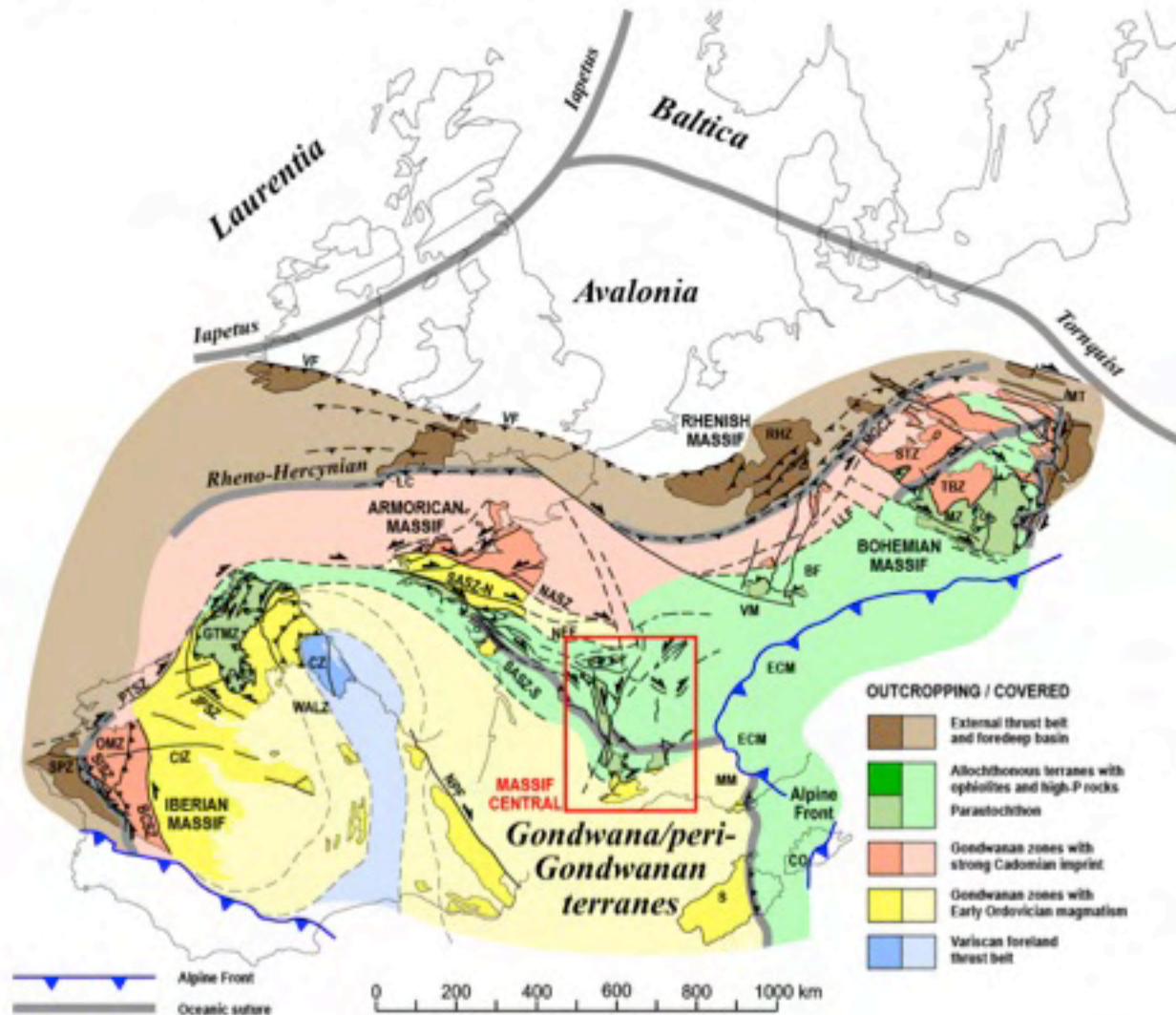
0:00 AM, Jan 1	Formation of Earth
Late January	Formation of Core-Mantle-Crust
Mid February	Life Begins, Oldest Know Rocks
Late March	First Photosynthetic Organisms
Mid July	Evolution of Cells with Nucleus
Mid November	First Organisms with Shells
Late November	First Land Plants/Fish
Mid December	Dinosaurs became Dominant
Dec 26	Extinction of Dinosaurs
Evening of Dec 31	Human-like Animals
11:59:45-11:59:50	Rome Ruled the Western World
11:59:59	Modern Geology Started with Hutton



Des histoires de géologie



Petites et grandes histoires...



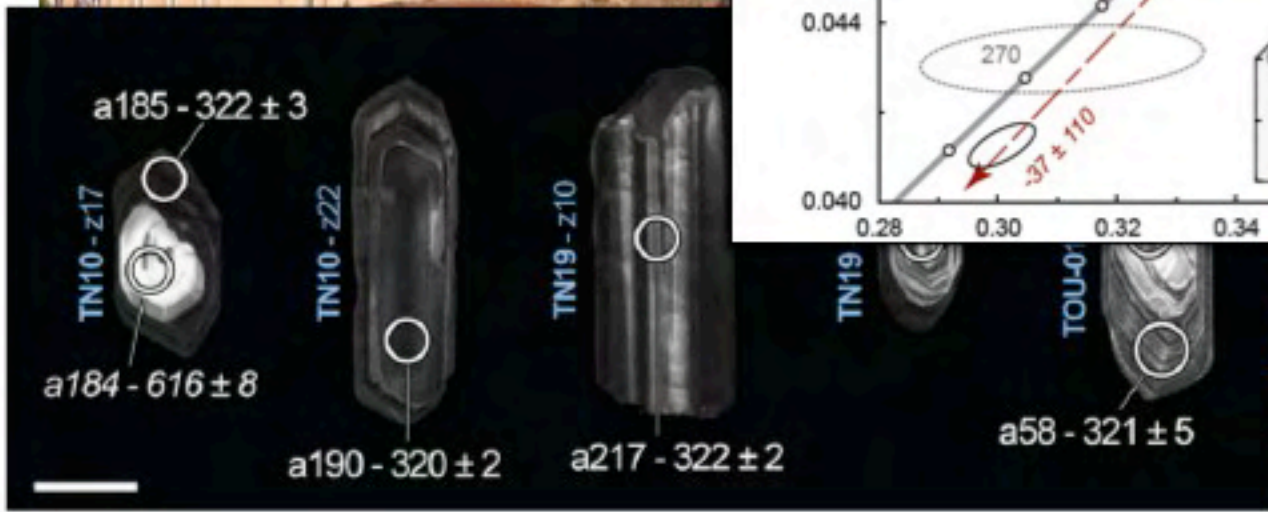
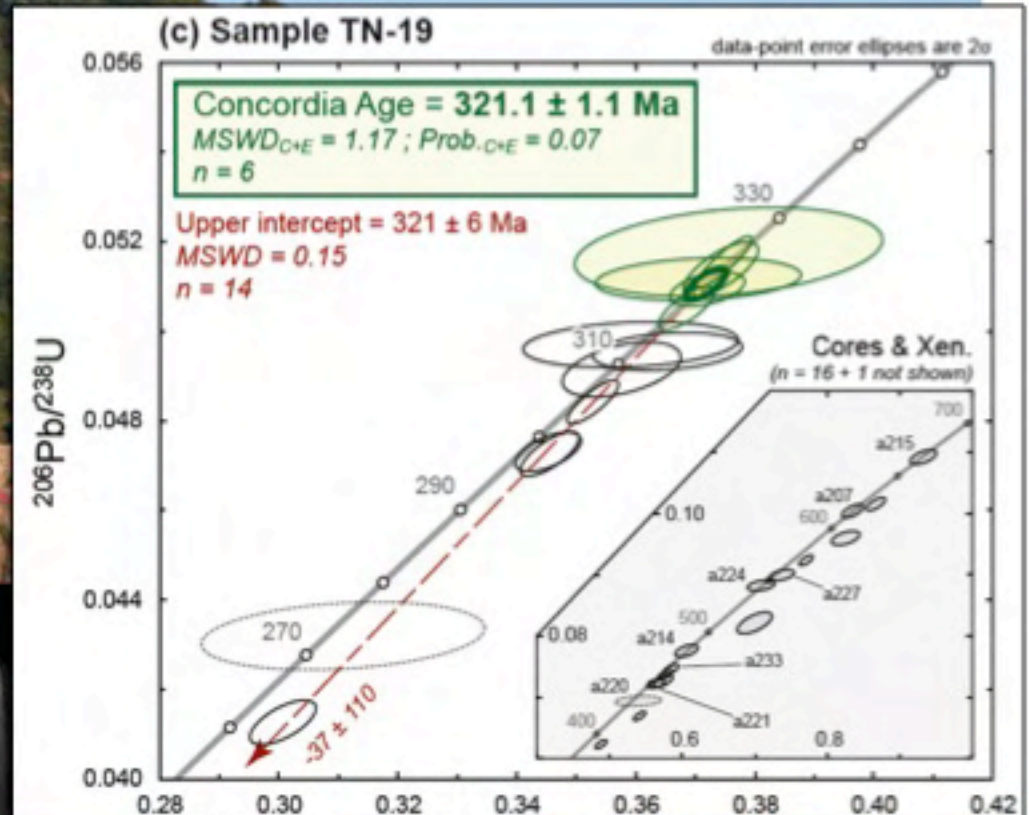
Région de Tournon (07)



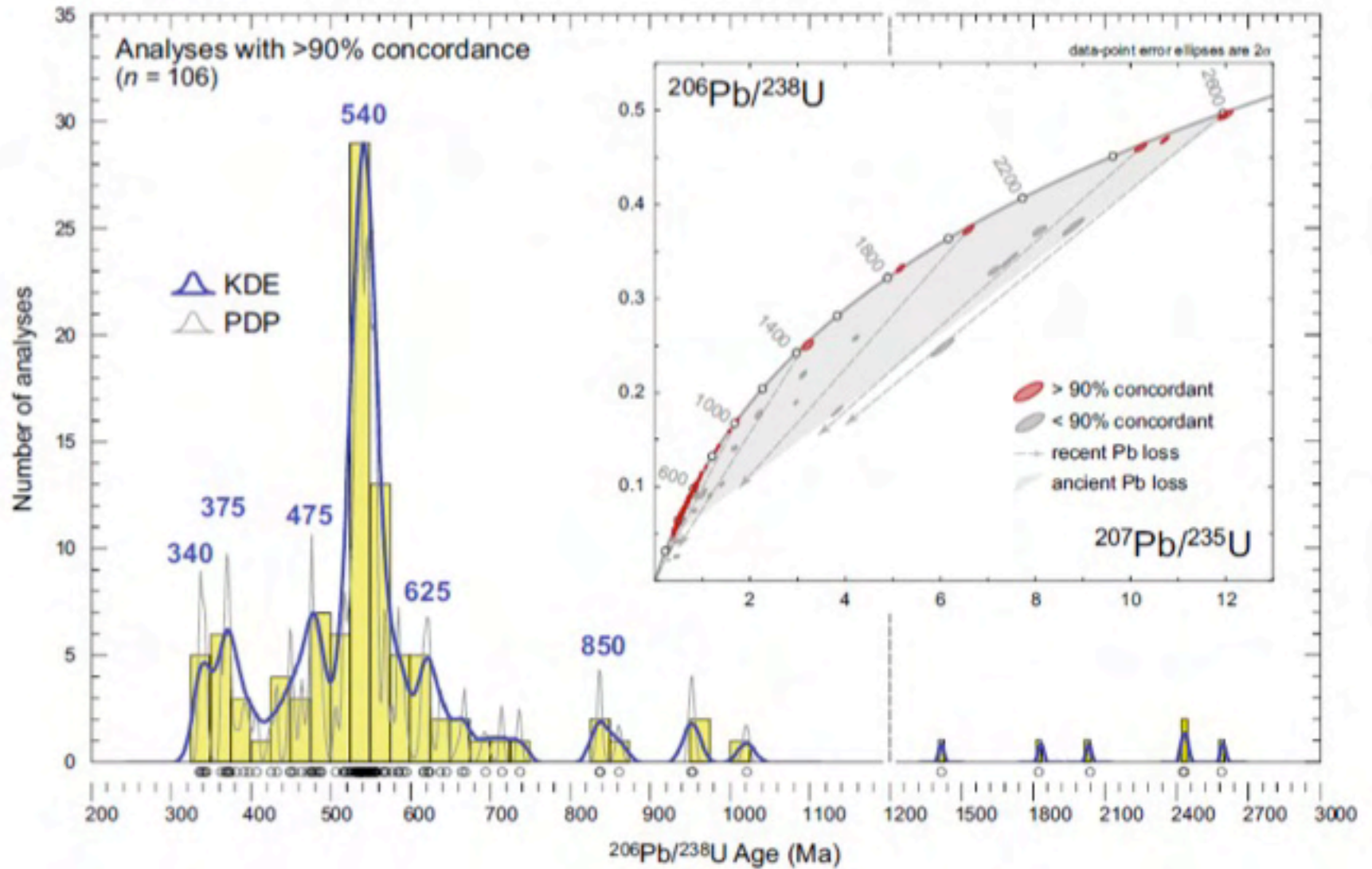
Région de Tournon (07)



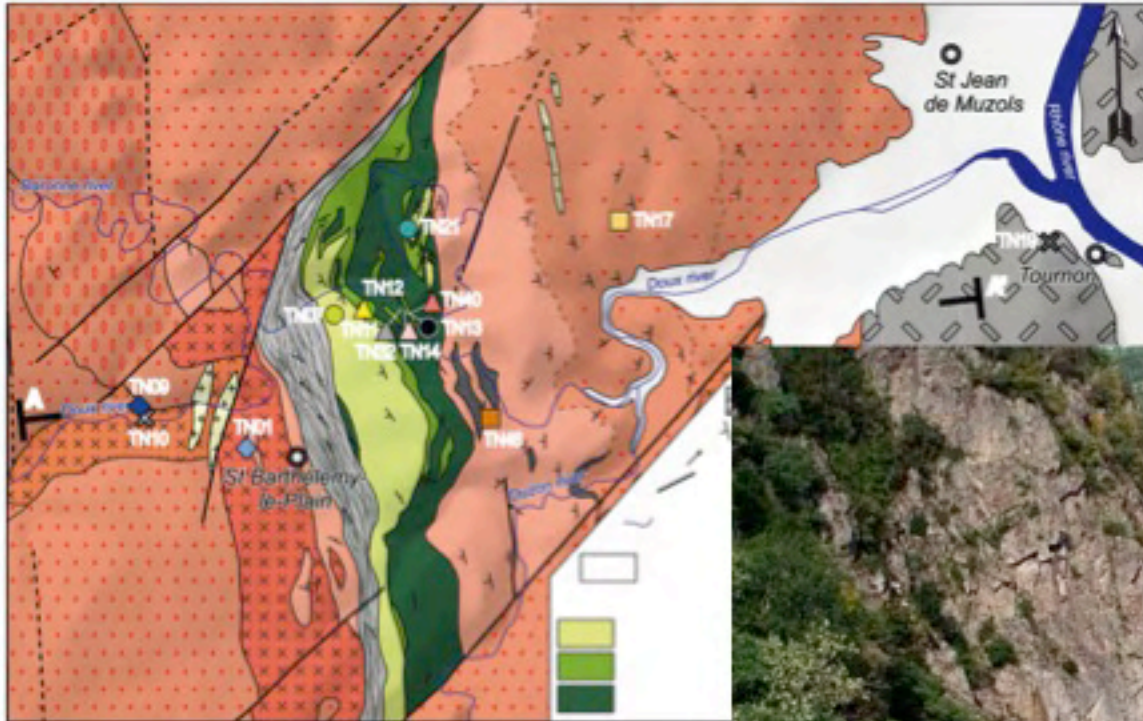
Région de Tournon (07)



La préhistoire de la chaîne Varisque !



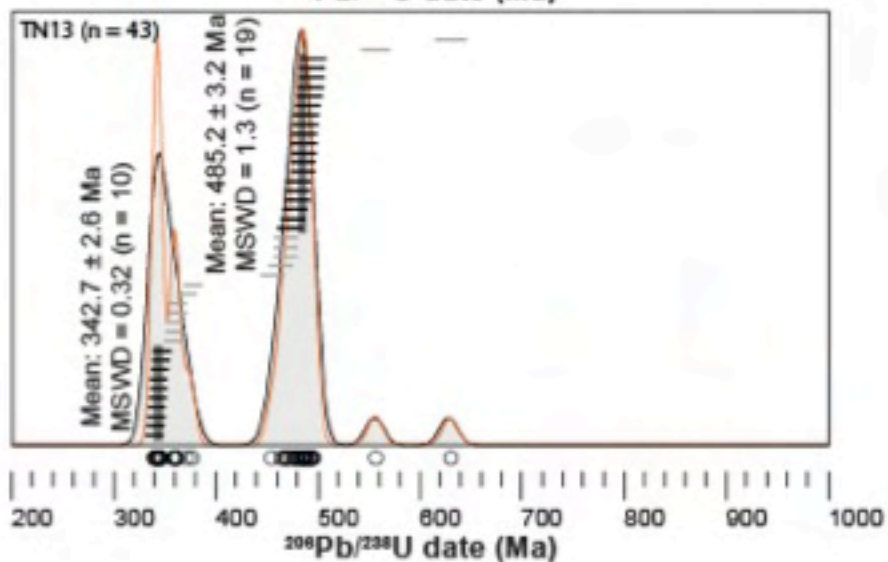
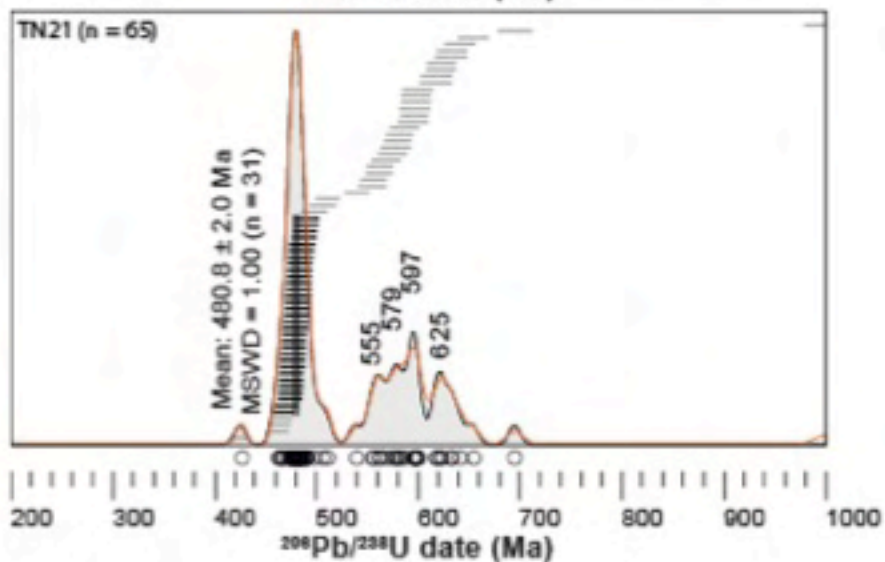
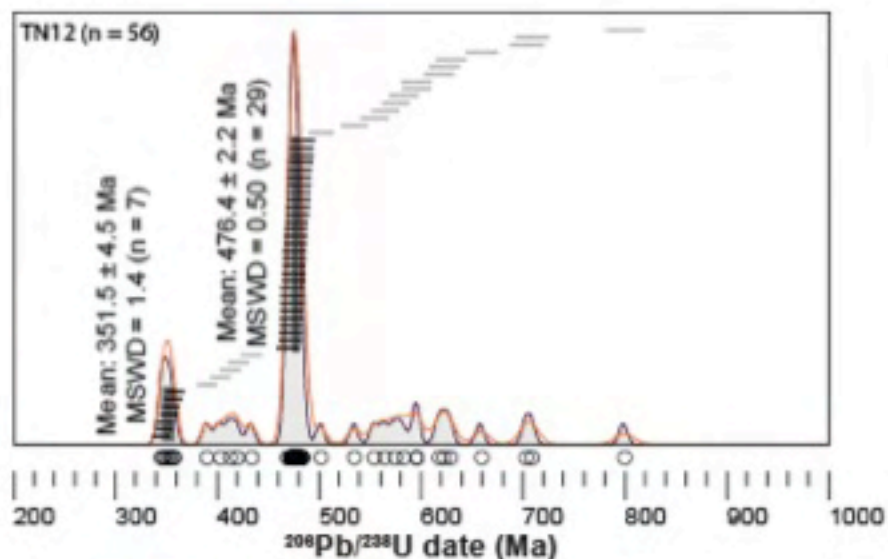
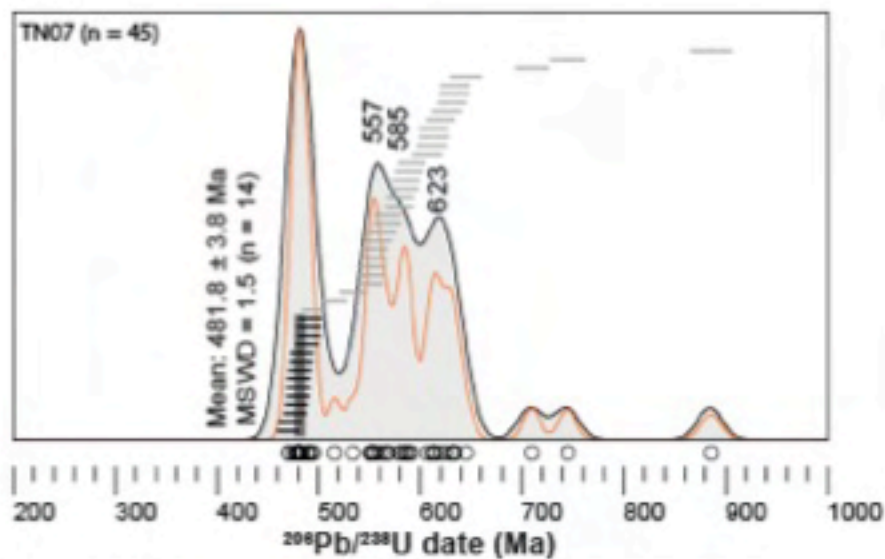
Un peu plus loin...



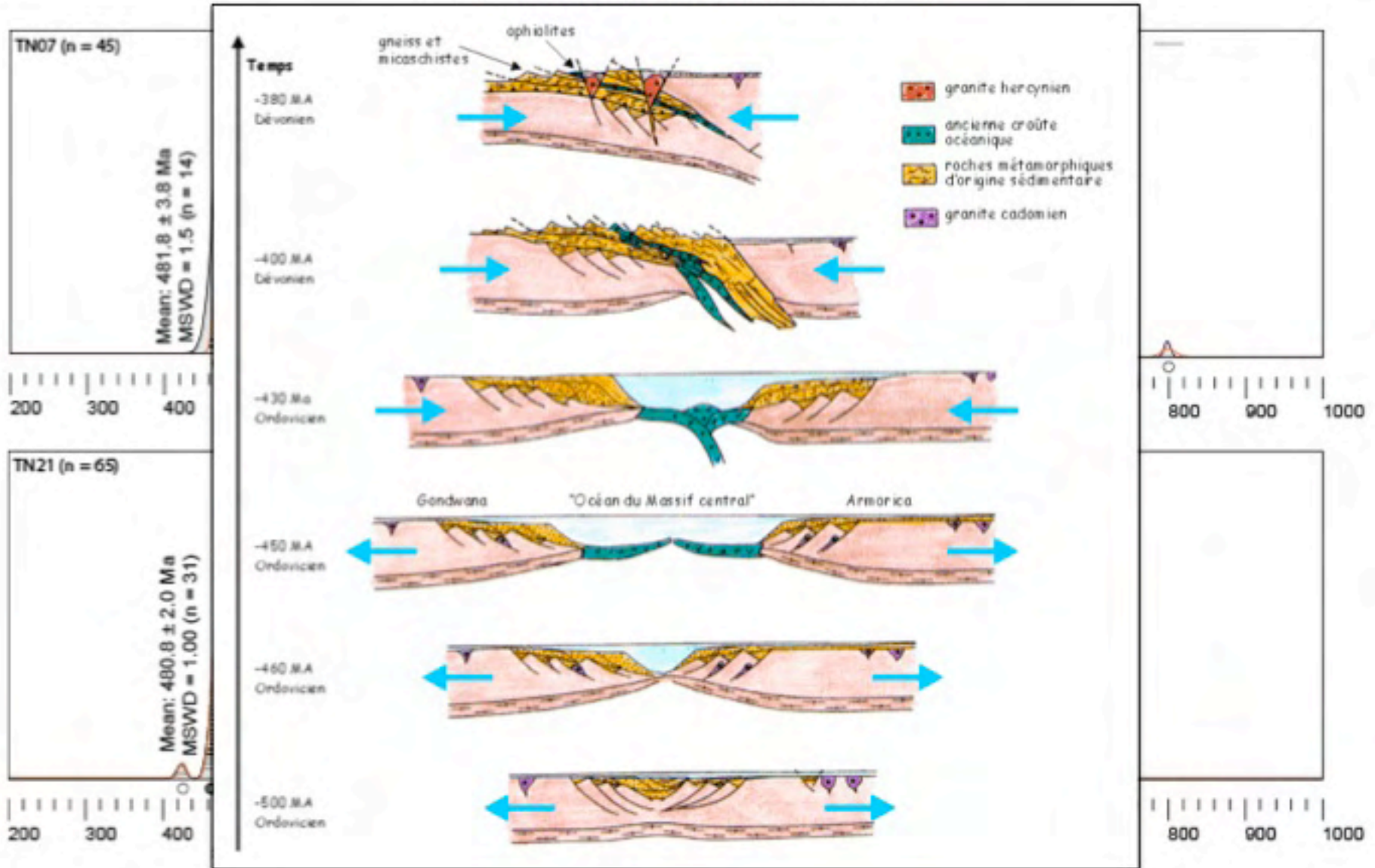
Divers gneiss...



.. Nous racontent toute l'histoire du Massif Central !

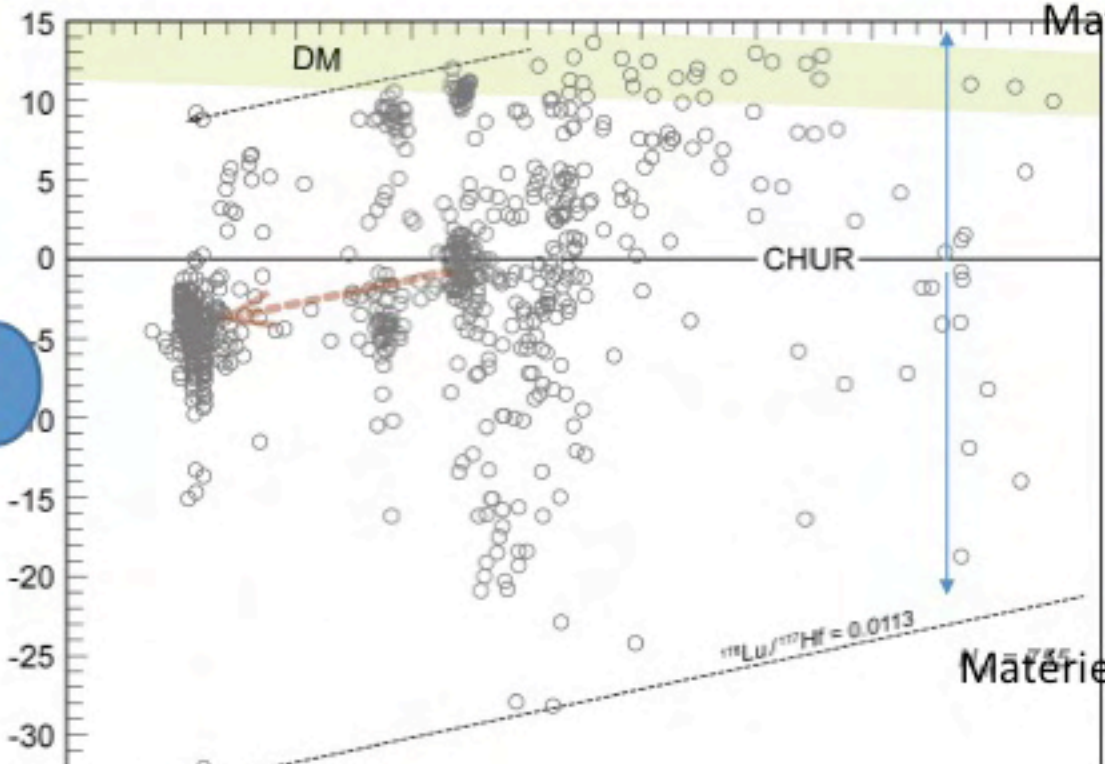


.. Nous racontent toute l'histoire du Massif Central !



^{176}Hf
 ^{177}Hf

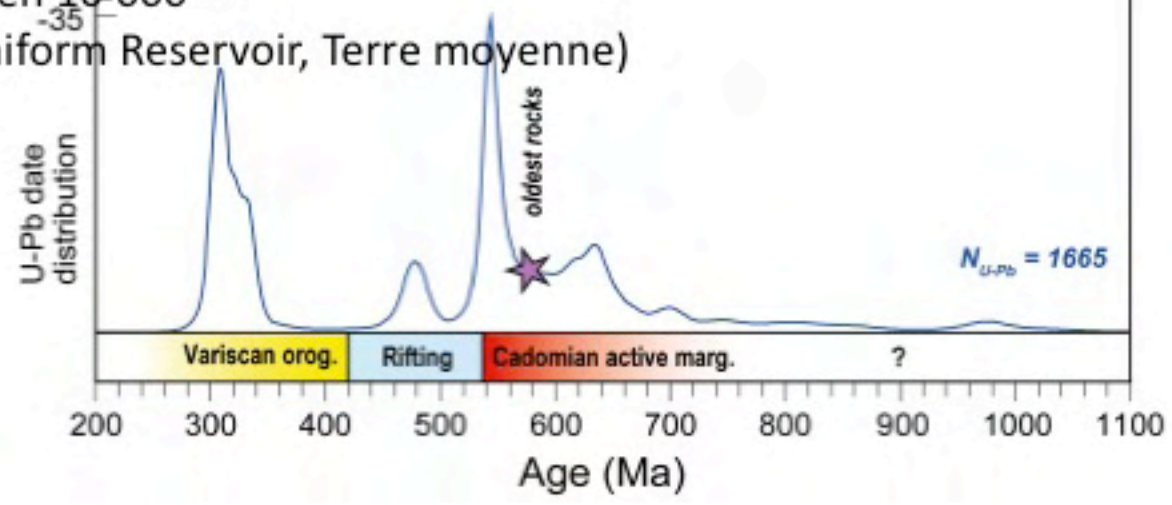
Matériel issu de la



$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} \approx 0.282$

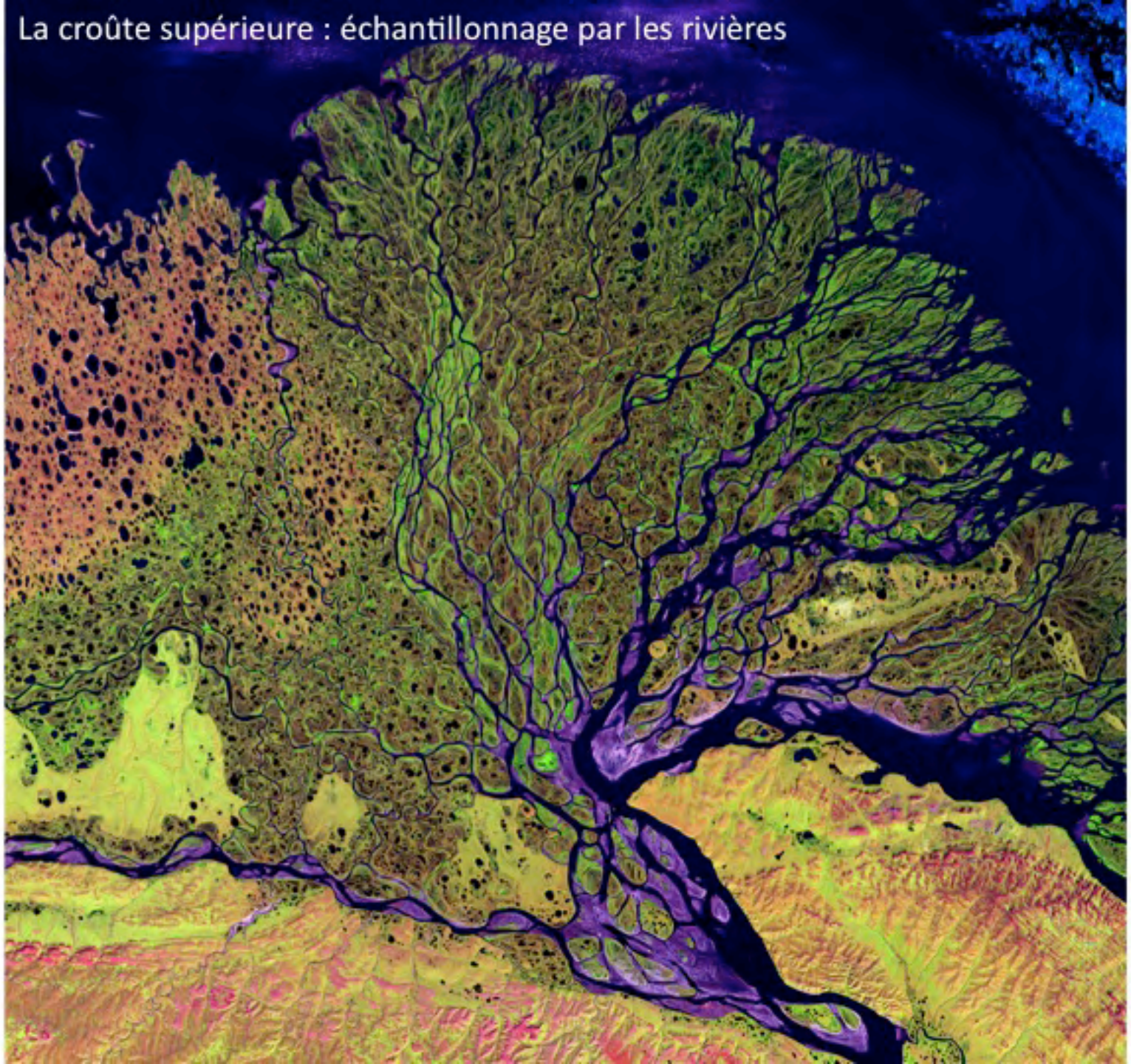
Matériel issu de fusion

Ecart à une référence, en 10 000^{ème}
(CHUR = CHondritic Uniform Reservoir, Terre moyenne)

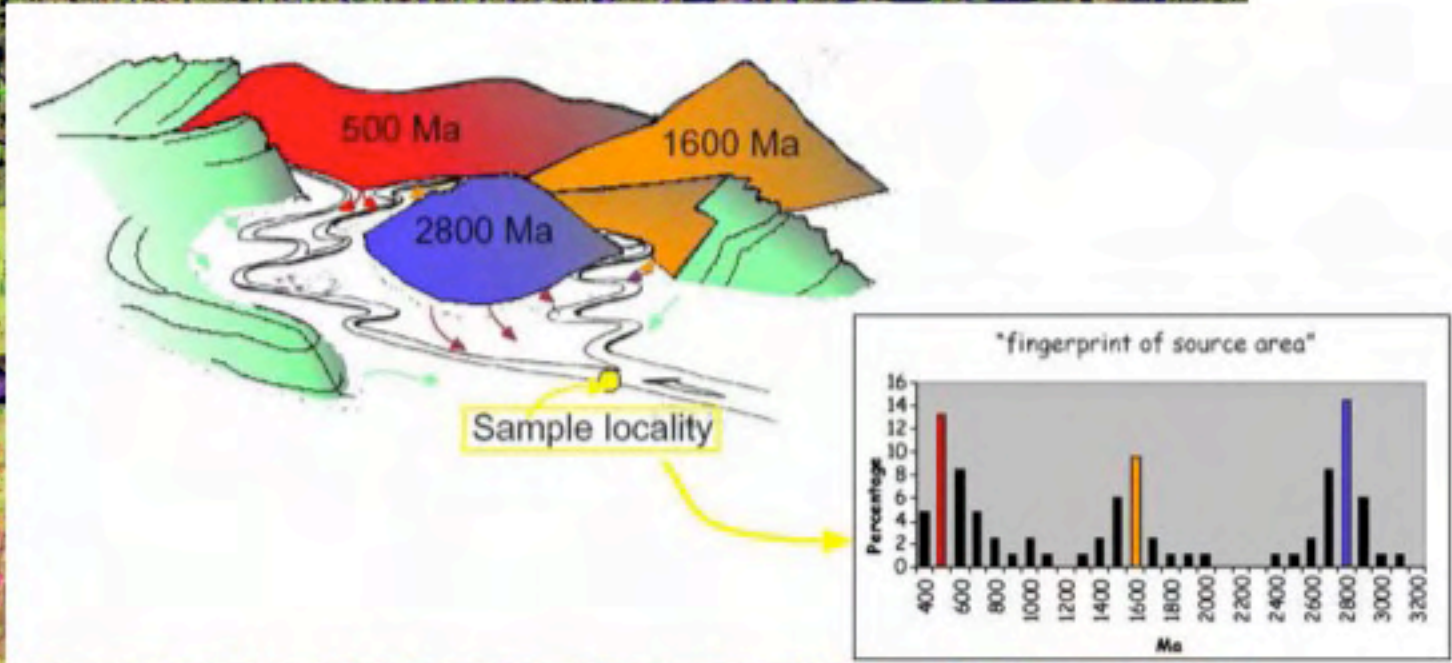


$N_{\text{U-Pb}} = 1665$

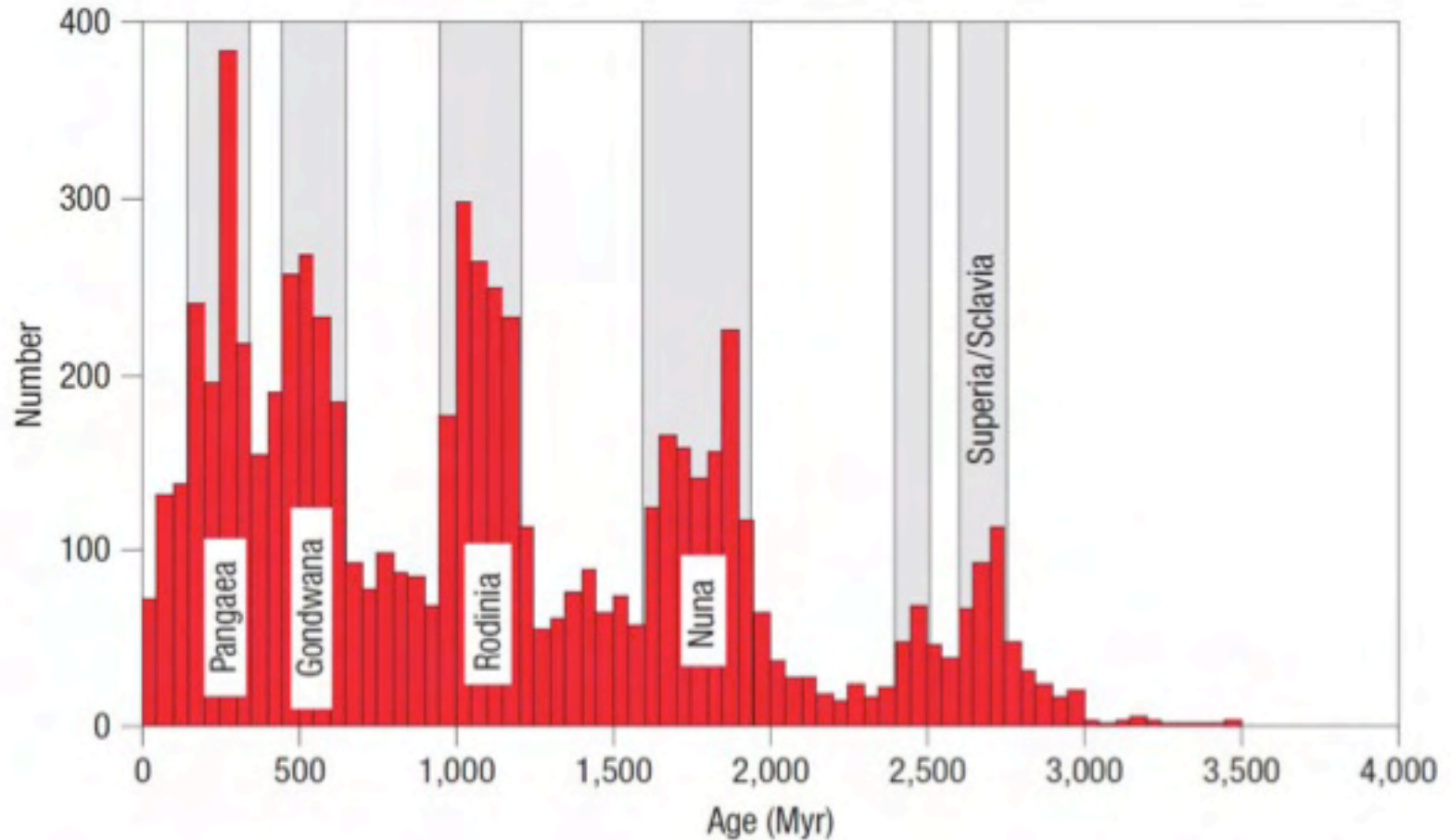
La croûte supérieure : échantillonnage par les rivières



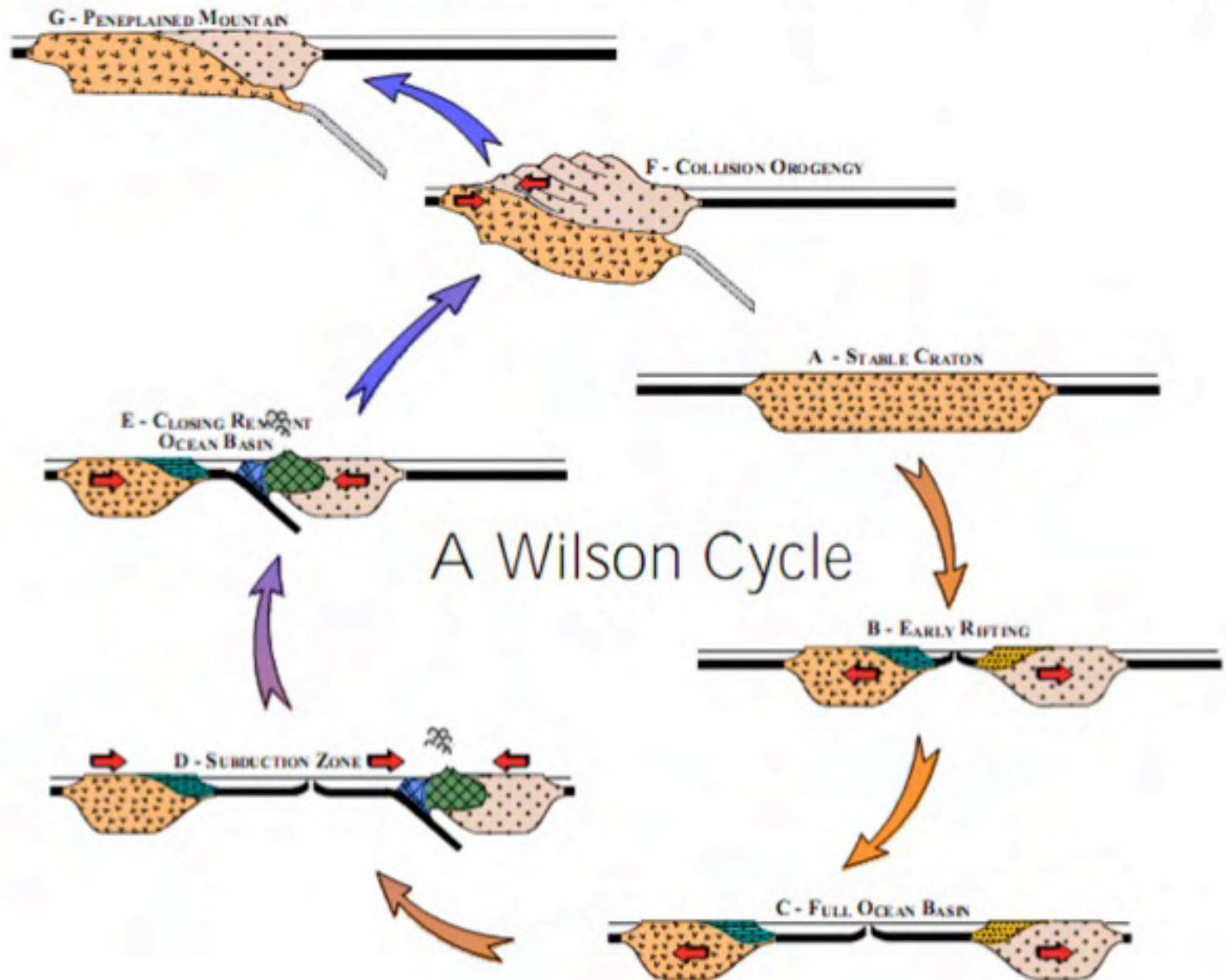
La croûte supérieure : échantillonnage par les rivières



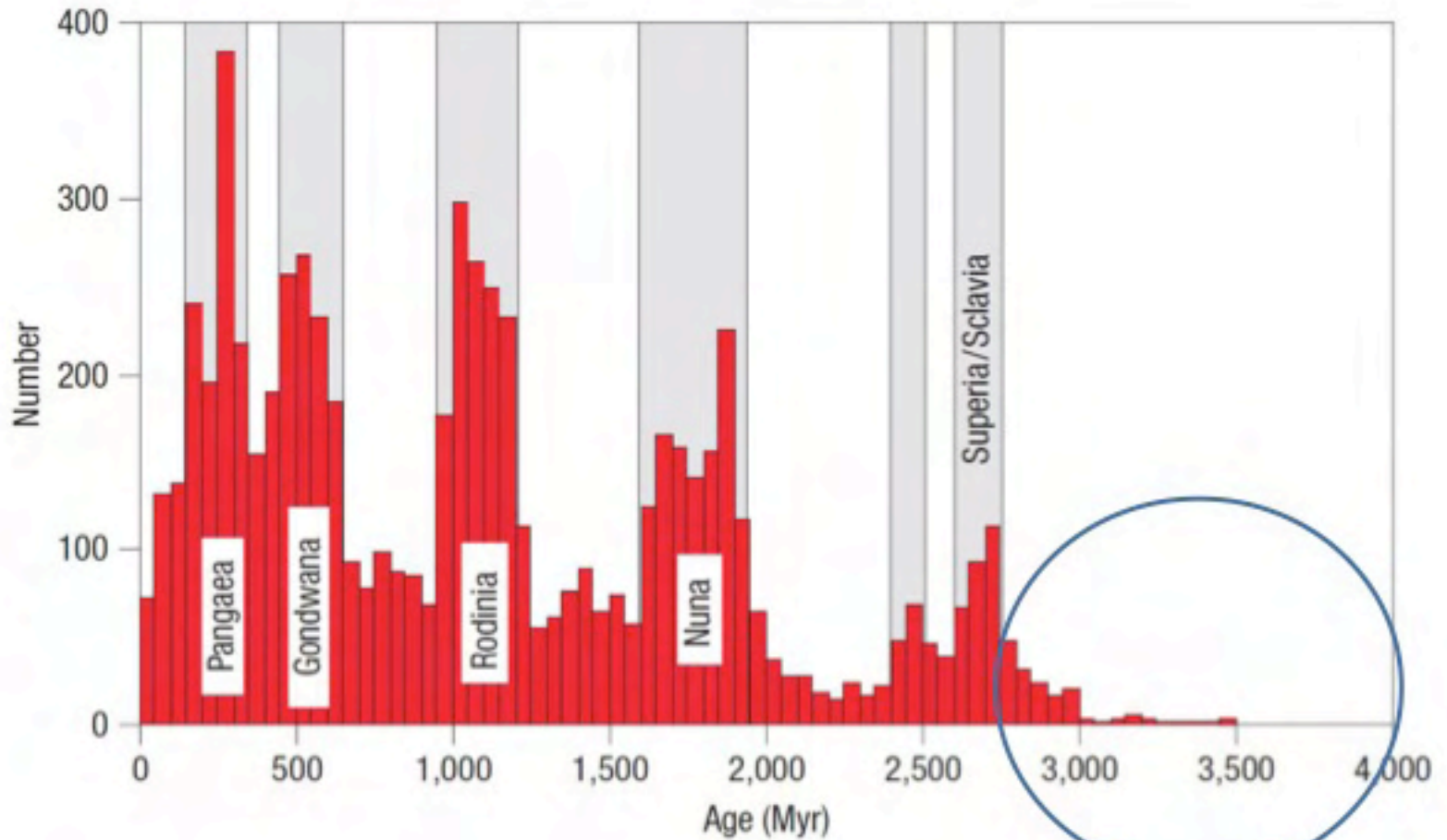
Pics d'âge à l'échelle globale



Supercontinents et tectonique des plaques

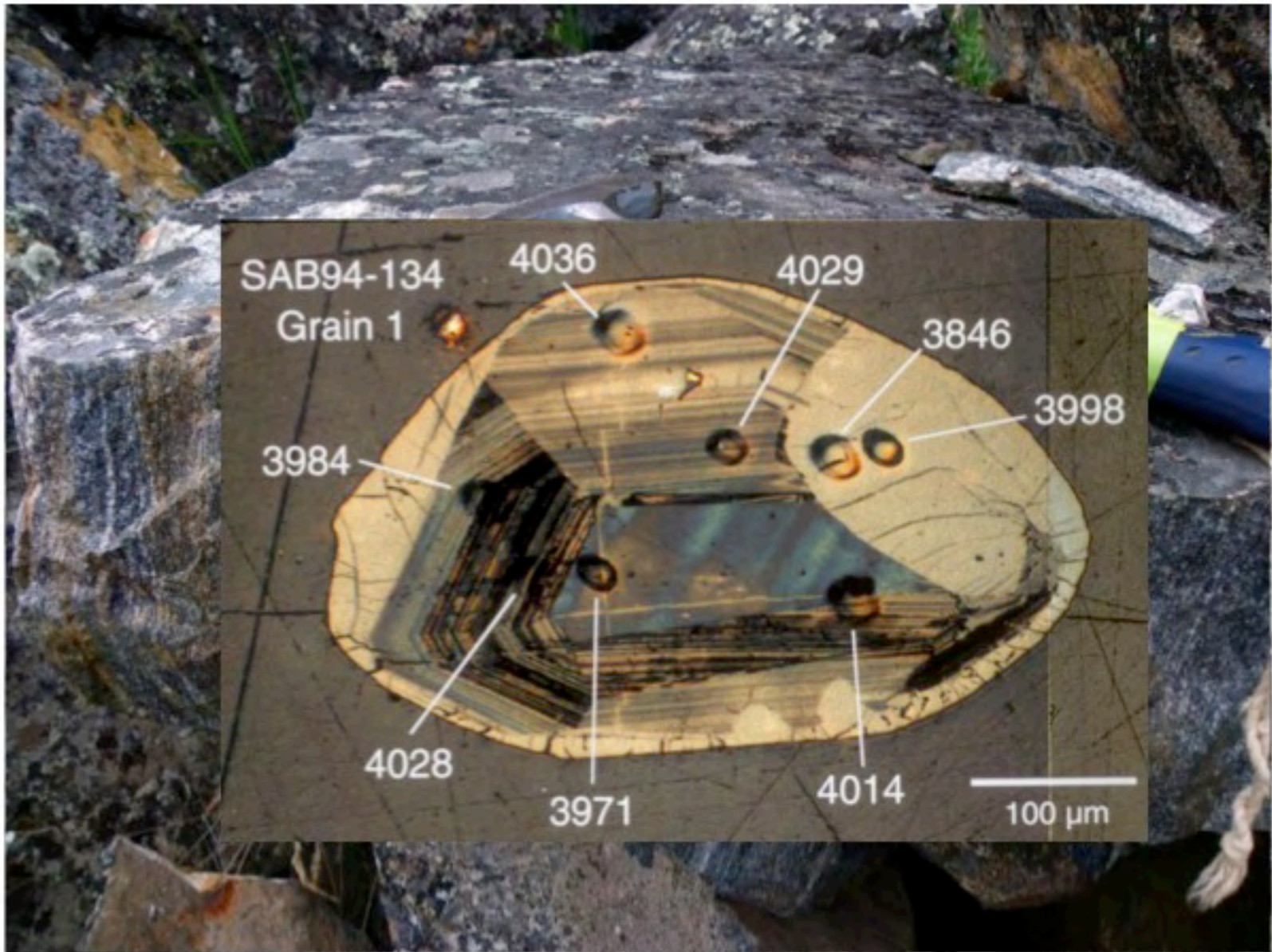


Et avant ?

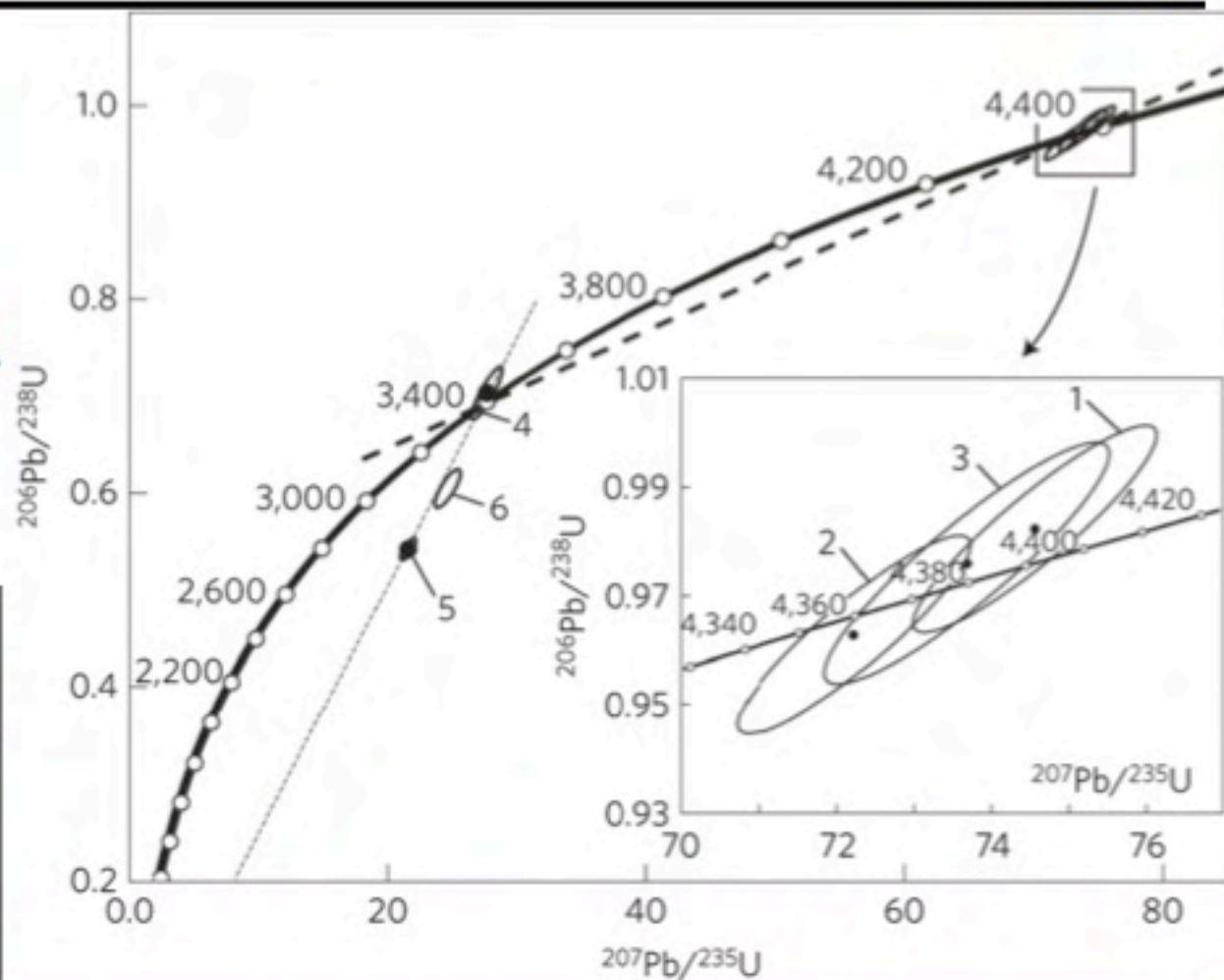
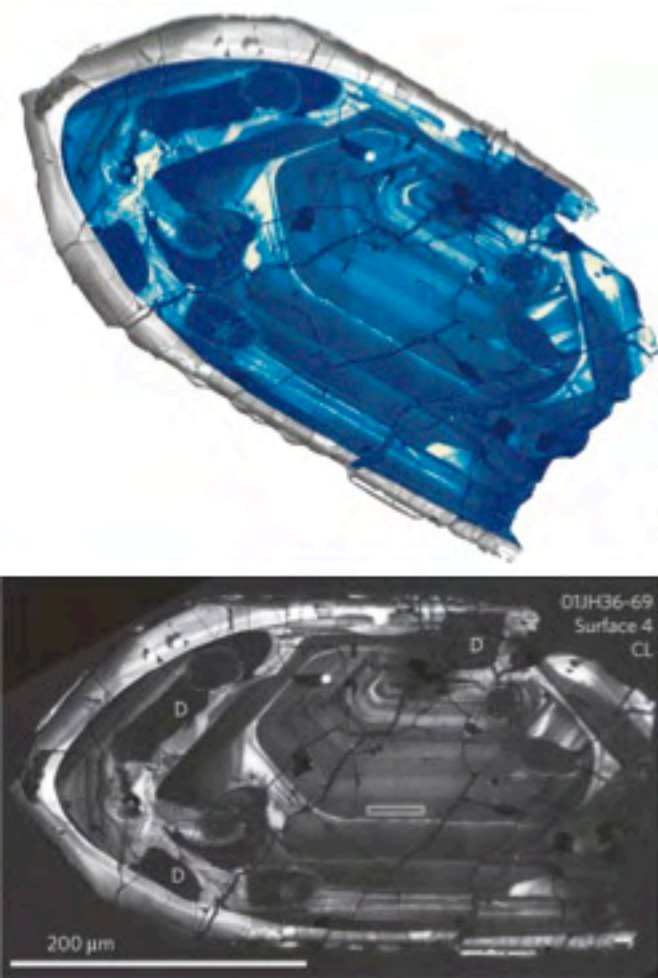






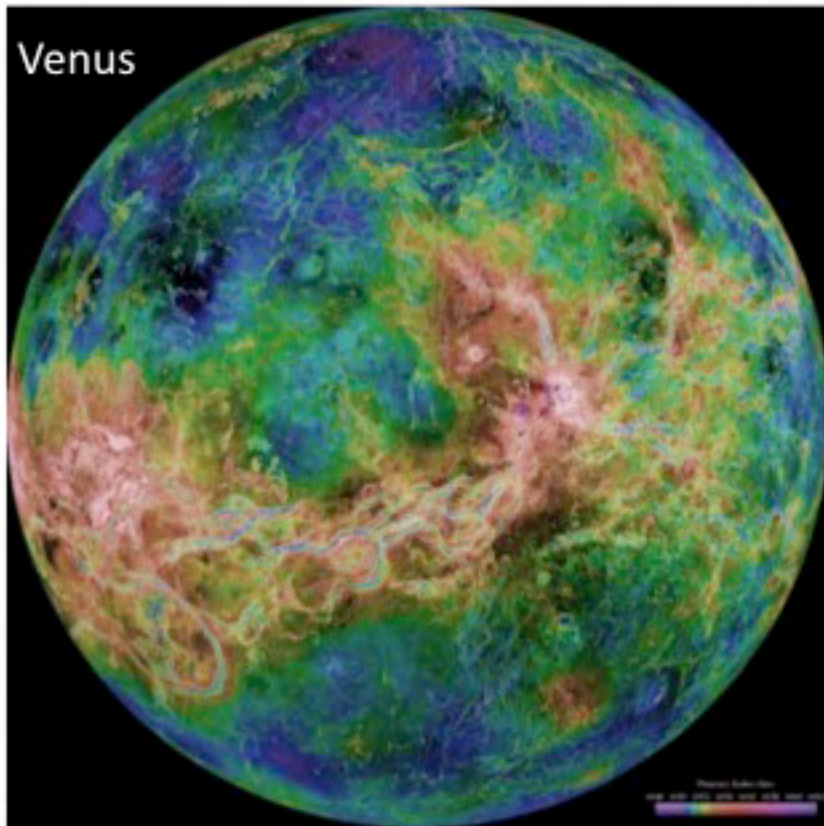


Oldest mineral



Right: Concordia and Discordia of an 4.4 Ga old zircon crystal (left) from the Jack Hills in Australia (Valley et al., 2014, Nature Geoscience).

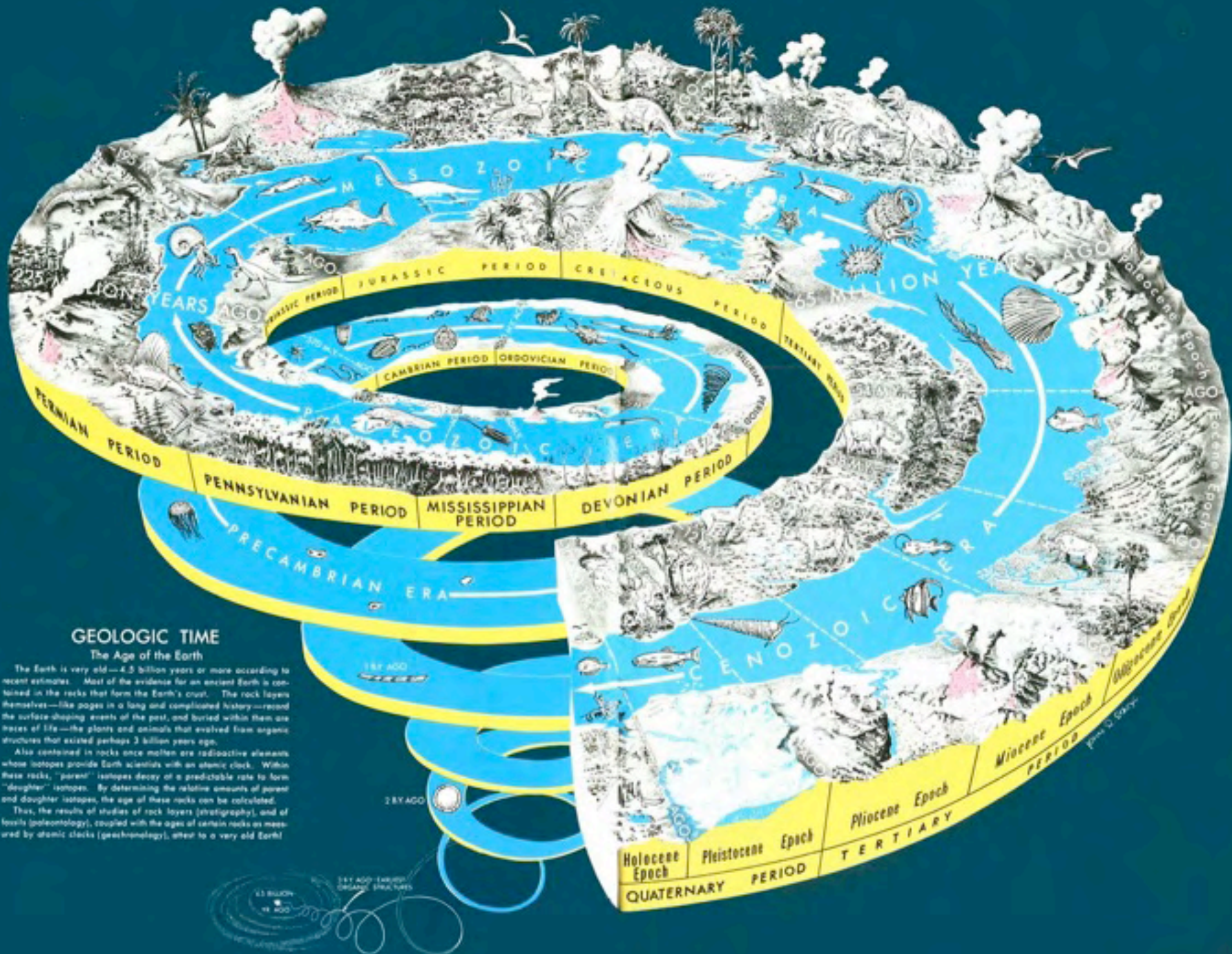
Une planète tellurique sans tectonique des plaques?



Pourquoi pas ?

La Terre à l'Archéen ?





GEOLOGIC TIME

The Age of the Earth

The Earth is very old—4.5 billion years or more according to recent estimates. Most of the evidence for an ancient Earth is contained in the rocks that form the Earth's crust. The rock layers themselves—like pages in a long and complicated history—record the surface-shaping events of the past, and buried within them are traces of life—the plants and animals that evolved from organic structures that existed perhaps 3 billion years ago.

Also contained in rocks once molten are radioactive elements whose isotopes provide Earth scientists with an atomic clock. Within these rocks, "parent" isotopes decay at a predictable rate to form "daughter" isotopes. By determining the relative amounts of parent and daughter isotopes, the age of these rocks can be calculated.

Thus, the results of studies of rock layers (stratigraphy), and of fossils (paleontology), coupled with the ages of certain rocks as measured by atomic clocks (geochronology), attest to a very old Earth!



Merci !



Les gneiss Lewisien (NW de l'Écosse) : le seul fragment Archéen d'Europe de l'Ouest