

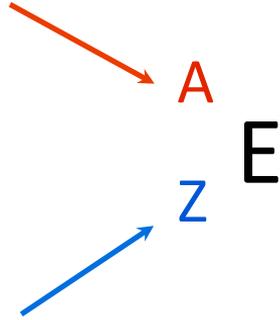
*ST-H La mesure du temps, outils et méthodes*

# **Chapitre 2 - La datation absolue**

# **1. L'utilisation des radio-isotopes**

# Rappels sur la radioactivité

nombre de masse = nombre de protons  $Z$  + nombre de neutrons  $N$



numéro atomique = nombre de protons (= d'électrons)

Un même élément a toujours le même nombre de protons  $Z$  mais le nombre de neutrons peut varier => isotopes ayant des masses différentes.

$^{12}_6\text{C}$ ,  $^{13}_6\text{C}$  et  $^{14}_6\text{C}$  sont les 3 isotopes du carbone

$^{12}\text{C}$  99 %

$^{13}\text{C}$  1 %

$^{14}\text{C}$   $10^{-10}$  %

isotopes stables

isotope radioactif

# Les modes d'émissions radioactives

Utilisés en géologie

## émission $\alpha$

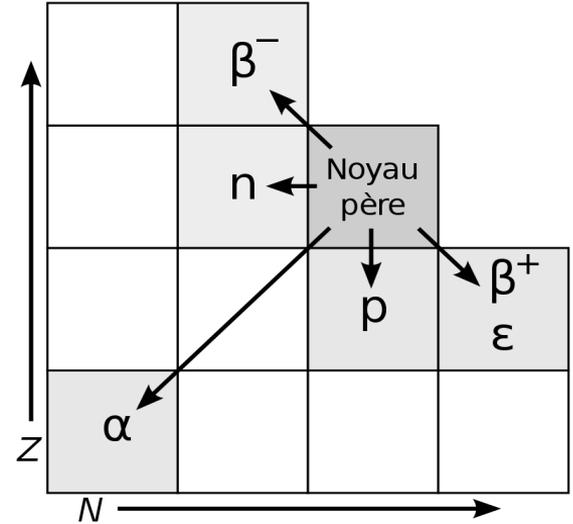
un noyau émet 2 protons + 2 neutrons (= 1 noyau d'hélium = particule  $\alpha$ )

## émission $\beta^-$

un neutron se dissocie en un proton et un électron qui est alors éjecté

## capture électronique $\epsilon$

un noyau incorpore un électron de son cortège. Cet électron réagit avec un proton et donne un neutron et un neutrino. Alors  $Z$  devient  $Z-1$  et il y a libération de rayons.



# Loi de décroissance radioactive

Probabilité qu'un atome se désintègre pendant  $dt$  vaut  $\lambda dt$   
avec  $\lambda$  = constante de désintégration = constante radioactive

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda \cdot P$$

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

$P$  teneur actuelle en élément père

$P_0$  teneur initiale en élément père

période  $T$  = durée nécessaire à la réduction de moitié de la quantité de l'élément père

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

# Loi de décroissance radioactive

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

or :  $F = F_0 + (P_0 - P)$

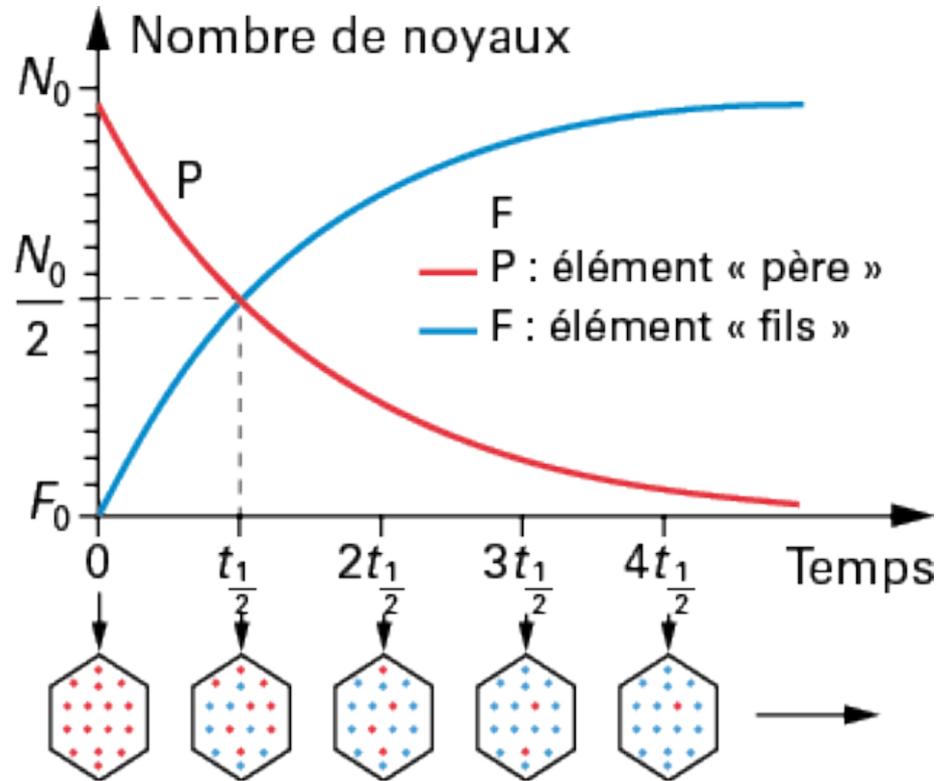
F teneur actuelle en élément fils

$F_0$  teneur initiale en élément fils

D'où :  $F = F_0 + (P_0 \cdot e^{\lambda t} - P)$

$$F = F_0 + P (e^{\lambda t} - 1)$$

relation (2)



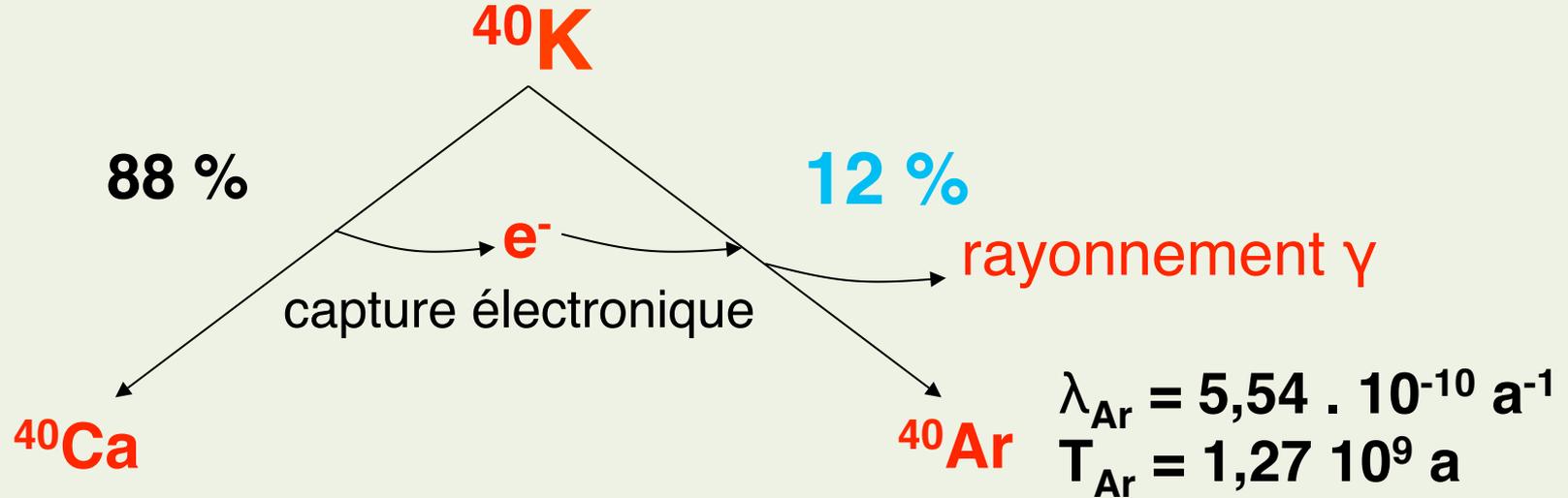
# Le choix des isotopes

couple père/fils	rayonnement	période (a ou an)	$\lambda$ (a <sup>-1</sup> )	minéraux datés
<sup>238</sup> U / <sup>206</sup> Pb concordia	$\alpha$ et $\beta$	4,468.10 <sup>9</sup>	1,55125.10 <sup>-10</sup>	minerais d'uranium et thorium zircons
<sup>235</sup> U / <sup>207</sup> Pb	$\alpha$ et $\beta$	0,7038. 10 <sup>9</sup>	9,8485.10 <sup>-10</sup>	
<sup>232</sup> Th / <sup>208</sup> Pb	$\alpha$ et $\beta$	13,9. 10 <sup>9</sup>	4,99.10 <sup>-11</sup>	
<sup>87</sup> Rb / <sup>87</sup> Sr isochrone	$\beta$	48,8. 10 <sup>9</sup>	1,42.10 <sup>-11</sup>	biotite, muscovite, feldspath, amphibole, pyroxène
<sup>40</sup> K / <sup>40</sup> Ar	capture électronique + rayons $\gamma$	1,25. 10 <sup>9</sup>	5,54.10 <sup>-10</sup>	
<sup>14</sup> C / <sup>14</sup> N	$\beta$	5730	1,209.10 <sup>-4</sup>	bois, os, coquille

## **2. Applications**

# Le couple $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$

Le potassium peut se désintégrer de 2 manières :



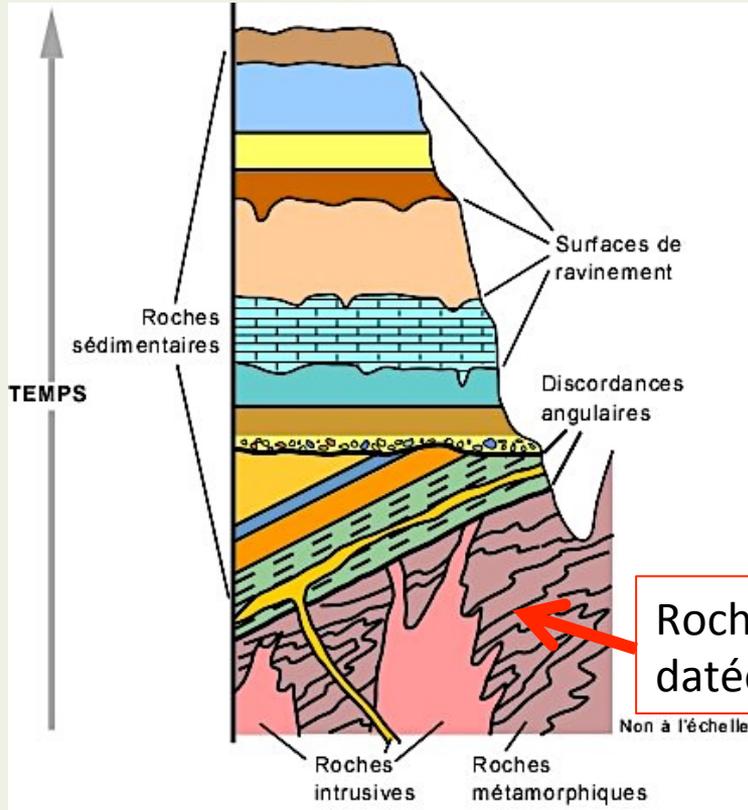
L'équation  $F = F_0 + P (e^{\lambda t} - 1)$  devient alors :

$$^{40}\text{Ar} = \underbrace{^{40}\text{Ar}_0}_{=0} + 0,12 \cdot ^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1) \quad \text{1 seule inconnue !}$$

Mais attention aux éventuelles fuites d'argon lors de l'histoire géologique.

## Exercice 1

# Datation du grand canyon (Colorado)



Roche métamorphique datée ici

# Exercice 1

$${}^{40}\text{Ar} = 0,12 \cdot {}^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{{}^{40}\text{Ar}}{0,12 \cdot {}^{40}\text{K}} = (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda t = \ln\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{0,12 \cdot {}^{40}\text{K}} + 1\right)$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{{}^{40}\text{Ar}}{0,12 \cdot {}^{40}\text{K}} + 1\right)$$

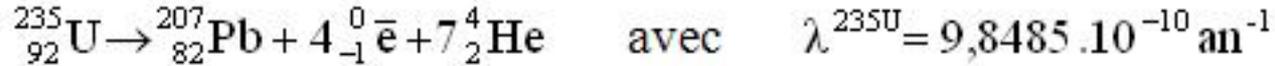
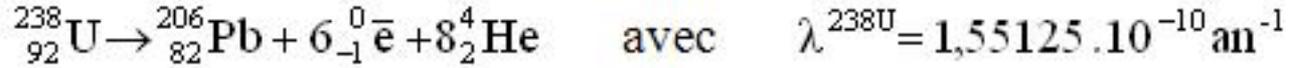
Application numérique :

$$\lambda = 5,54 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}.$$

$$t = \frac{1}{5,54 \cdot 10^{-10}} \ln\left(\frac{0,085}{0,12} + 1\right)$$

$$t = 970 \text{ Ma}$$

# La Concordia



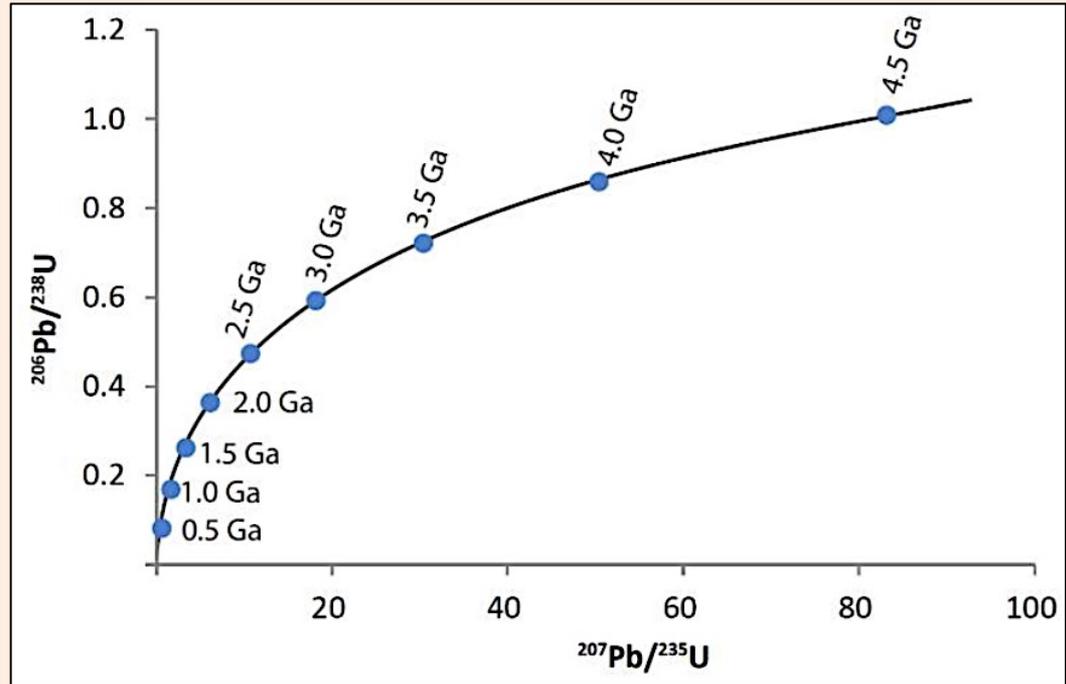
Dans les zircons,  ${}^{206}\text{Pb}_0 = {}^{207}\text{Pb}_0 = 0$

Donc :

$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{238}t} - 1)$$

et

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}\right)_t = (e^{\lambda_{235}t} - 1)$$

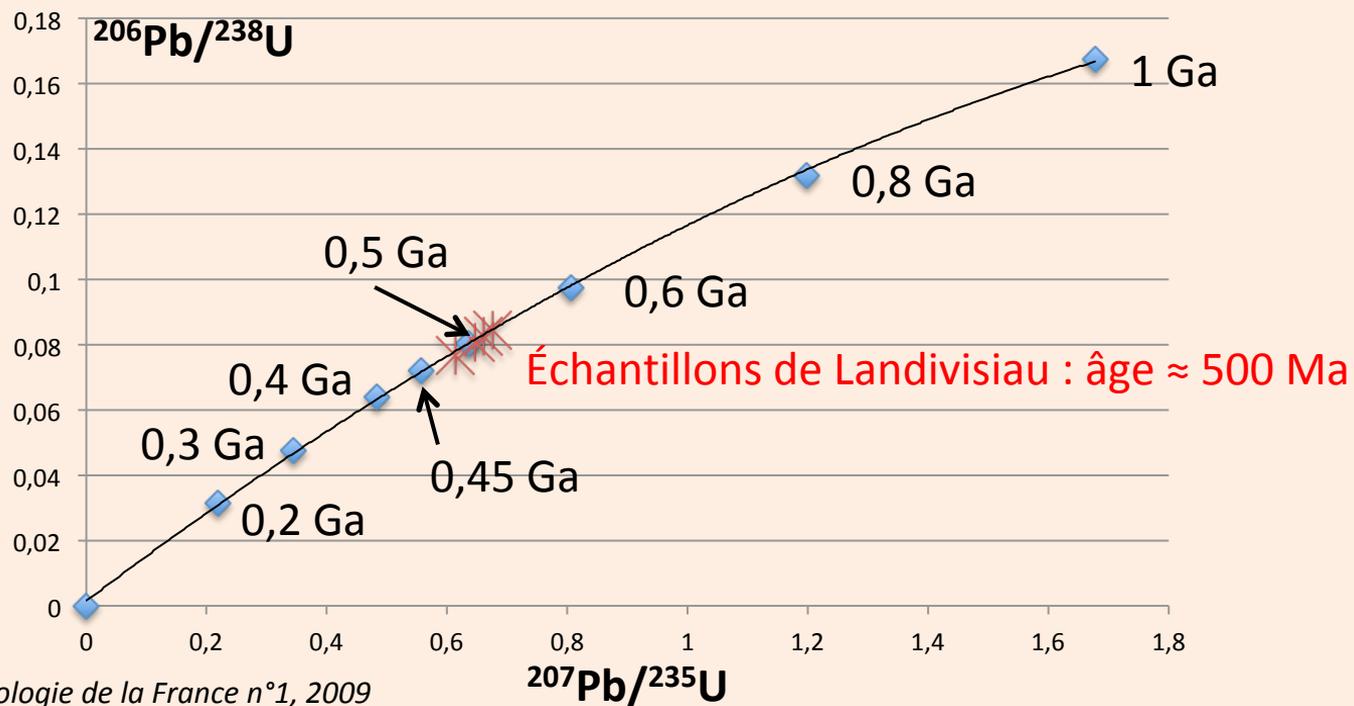


# Exercice 2 – Orthogneiss de Landivisiau

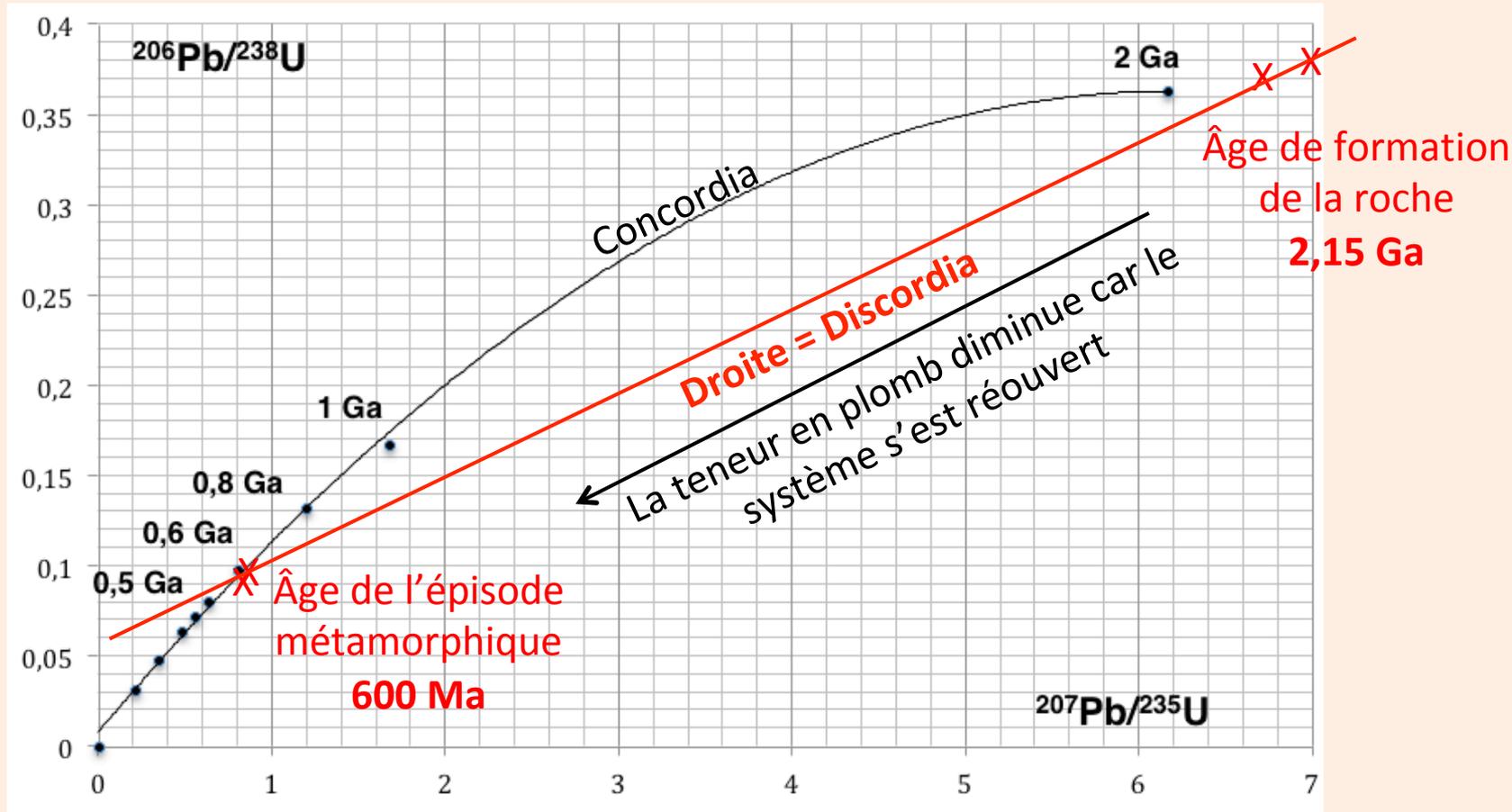
1,00E+09    8,00E+08    6,00E+08    5,00E+08    4,50E+08    4,00E+08    3,00E+08    2,00E+08

1,677410243   1,198730174   0,80563079   0,63627939   0,55765658   0,48281158   0,34373762   0,21770751

0,167657961   0,132015871   0,09746174   0,08058223   0,07224009   0,06396234   0,04759808   0,0314855

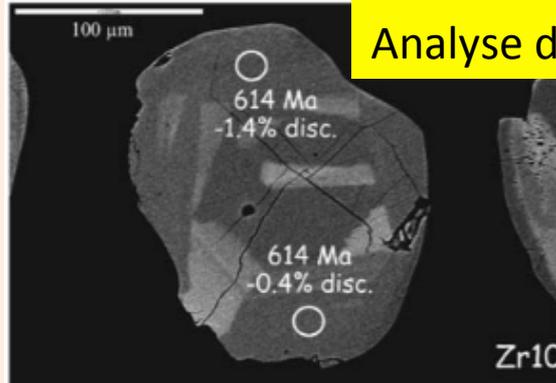
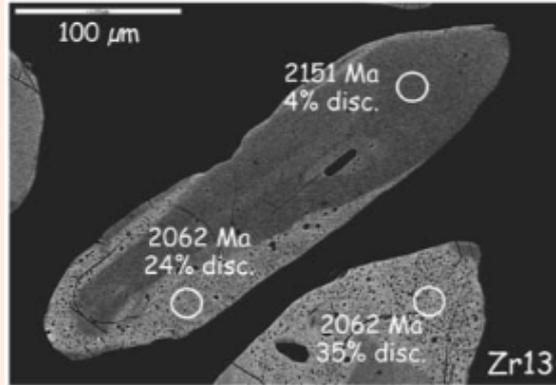


# Exercice 3 – Granulites du Hoggar

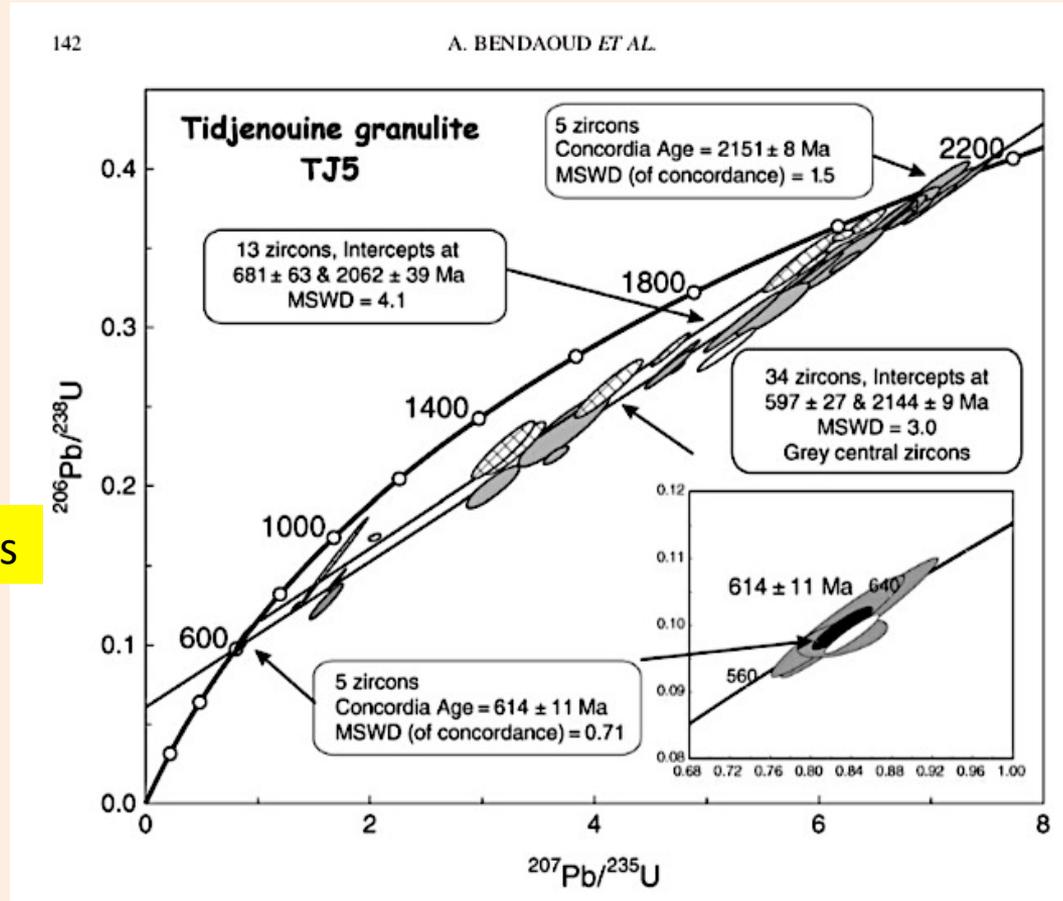


# Exercice 3 – Granulites du Hoggar

Extrait de la publication



Analyse de 2 zircons



# Exercice 4 – le carbone 14

Intérêt limité en géologie car la précision diminue à 10 périodes soit 57 300 ans.

$$\text{Relation (1) : } P = P_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$^{14}\text{C} = ^{14}\text{C}_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$e^{\lambda t} = \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}}$$

$$\lambda t = \ln \left( \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}} \right)$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}} \right) = \frac{T}{\ln 2} \ln \left( \frac{^{14}\text{C}_0}{^{14}\text{C}} \right)$$

Application numérique :

$$T = 5\,730 \text{ a}$$

$$t = (5730/\ln(2)) \times \ln(13,56/4,75)$$

$$t = 8\,671 \text{ a}$$

# La méthode des isochrones



$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$$

$$T = 48,8 \cdot 10^{19} \text{ an}$$

équation à 2 termes inconnus

**MAIS**  $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0$  identique pour les minéraux d'une même roche

L'équation précédente devient :

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right) = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right) \cdot (e^{\lambda t} - 1)$$

Terme inconnu mais constant pour tous les minéraux d'une même roche :  
c'est le rapport initial

# La méthode des isochrones

## Analyse d'une lave actuelle

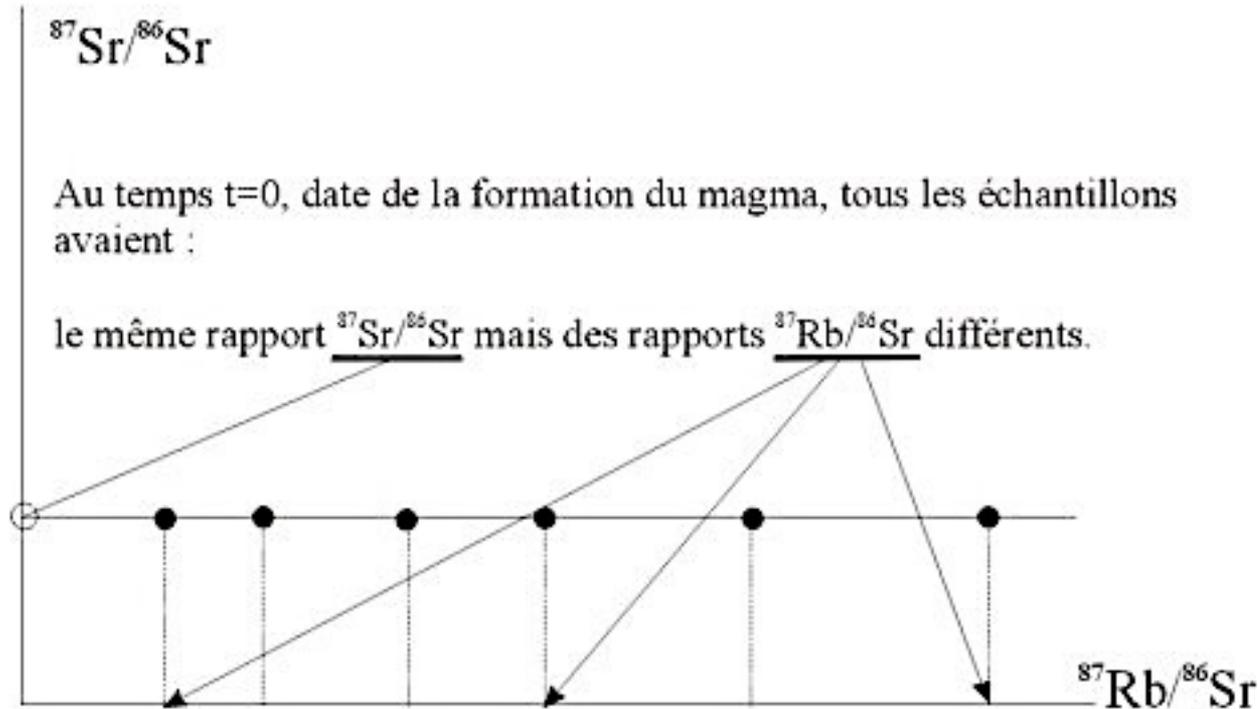
Isotopes	Orthose	Plagioclase	Biotite (mica noir)
$^{85}\text{Rb}$	404,9	10,2	396,9
$^{87}\text{Rb}$	156,1	3,9	153,1
$^{86}\text{Sr}$	39,1	55,8	3,1
$^{87}\text{Sr}$	27,7	39,5	2,2
$^{88}\text{Sr}$	327,1	467,5	25,7
<b>Rb / Sr</b>	1,42	0,025	17,74
$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$	0,70844	0,70789	0,70968
$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	3,99	0,07	49,4

Pas de distinction entre les isotopes de Sr

Répartition différente de Rb et Sr selon le minéral

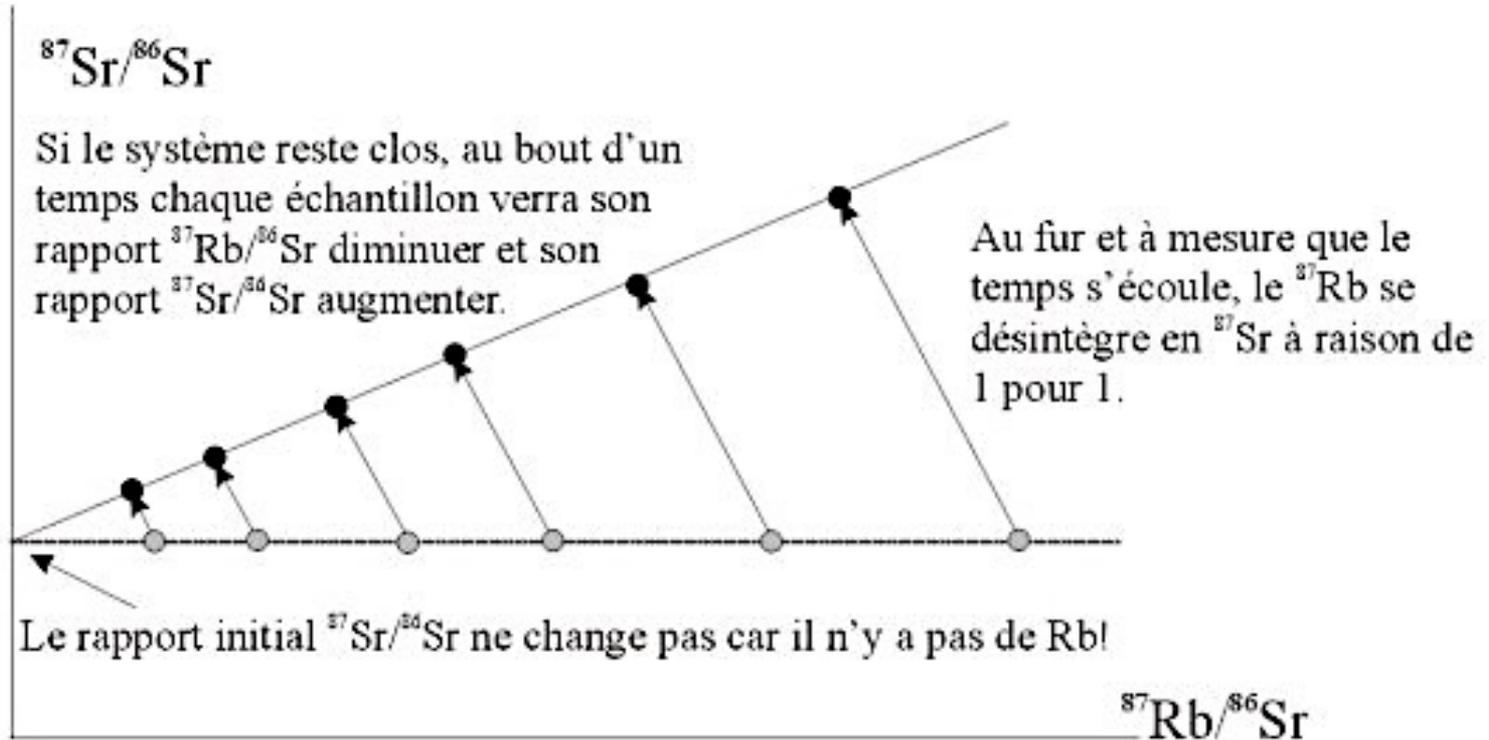
# Méthode des isochrones

On analyse différents minéraux dans un échantillon.  
Le magma initial avait un rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  identique partout.

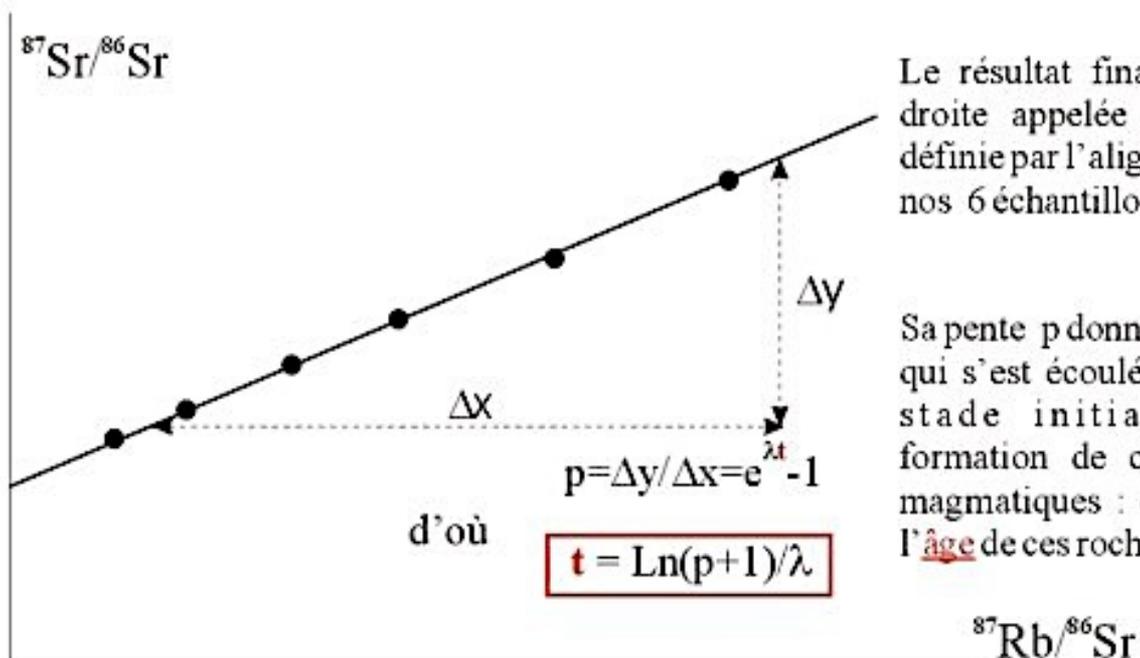


# Méthode des isochrones

La quantité de  $^{87}\text{Rb}$  diminue en donnant naissance à autant de  $^{87}\text{Sr}$



# La droite isochrone : sa pente donne l'âge



Le résultat final est une droite appelée isochrone définie par l'alignement de nos 6 échantillons.

Sa pente  $p$  donne le temps qui s'est écoulé depuis le stade initial de la formation de ces roches magmatiques : c'est donc l'âge de ces roches.

# Exercice 5

