

# Plan du cours

- I. Isotopes: généralités
  - 1) Définition
  - 2) Stabilité des nuclides
  - 3) Rapport isotopique et fractionnement
  
- II. Lois de la radioactivité
  
- III. Le couple Rb/Sr
  - 1) La méthodes des isochrones (TD: exo 1)
  - 2) Isochrones sur minéraux (TD:exo 2)
  
- IV. Le couple Sm/Nd

# Le noyau atomique

Un élément chimique  $X$  est défini par un nombre de protons  $Z$  aussi appelé numéro atomique. Le nombre de masse  $A =$  nombre total de nucléons (protons + neutrons) dans le noyau:  $A=N+Z$ . On utilise la notation:



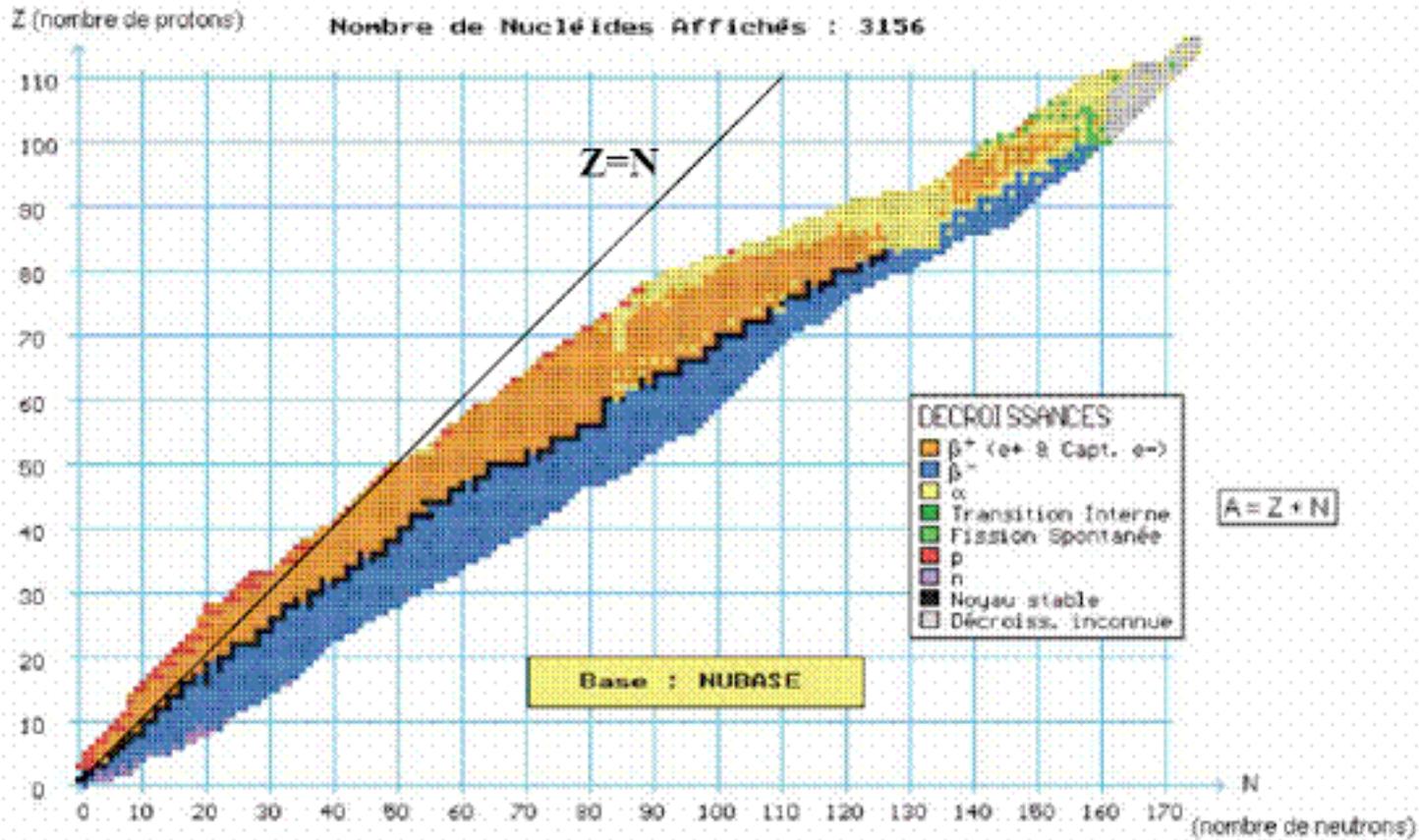
Des isotopes auront le même nombre de protons ( $Z$ ) mais des nombres de neutrons différents ( $N$ ), et donc  $A$  différent. Deux isotopes sont chimiquement identiques, car les propriétés chimiques sont déterminées par le nombre d'électrons.

## Exemple: les isotopes de l'uranium

Atome	Protons	Neutrons	Electrons	abondance
	Z	N		
${}^{234}_{92}\text{U}$	92	142	92	0,0056%
${}^{235}_{92}\text{U}$	92	143	92	0,718%
${}^{238}_{92}\text{U}$	92	146	92	99,276%

# Stabilité des noyaux

Z  
(nombre de protons)



N (nombre de neutrons)

## Rapport isotopique/fractionnement

- On définit le rapport isotopique (RI) =  $n_A/n_B$  avec généralement A = isotope lourd, B = isotope léger
- Ex:  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ; mais aussi  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ...
- Les rapports isotopiques varient beaucoup. Deux causes:
  - 1. Réaction nucléaire: quand l'isotope est radioactif. Seul le RI contenant l'isotope est affecté
  - 2. Réactions physico-chimiques sensibles aux masses des atomes: les vitesses de réaction varient avec la masse. Les RI des éléments légers sont plus sensibles car les  $\Delta m$  sont plus grands (ex: H et D). Tous les RI sont alors affectés.
- Ex:  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  et  $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$
- Les processus: évaporation, diffusion, etc...

## Lois de désintégration radioactive (1)

$$(1) \quad dP/dT = - \lambda P$$

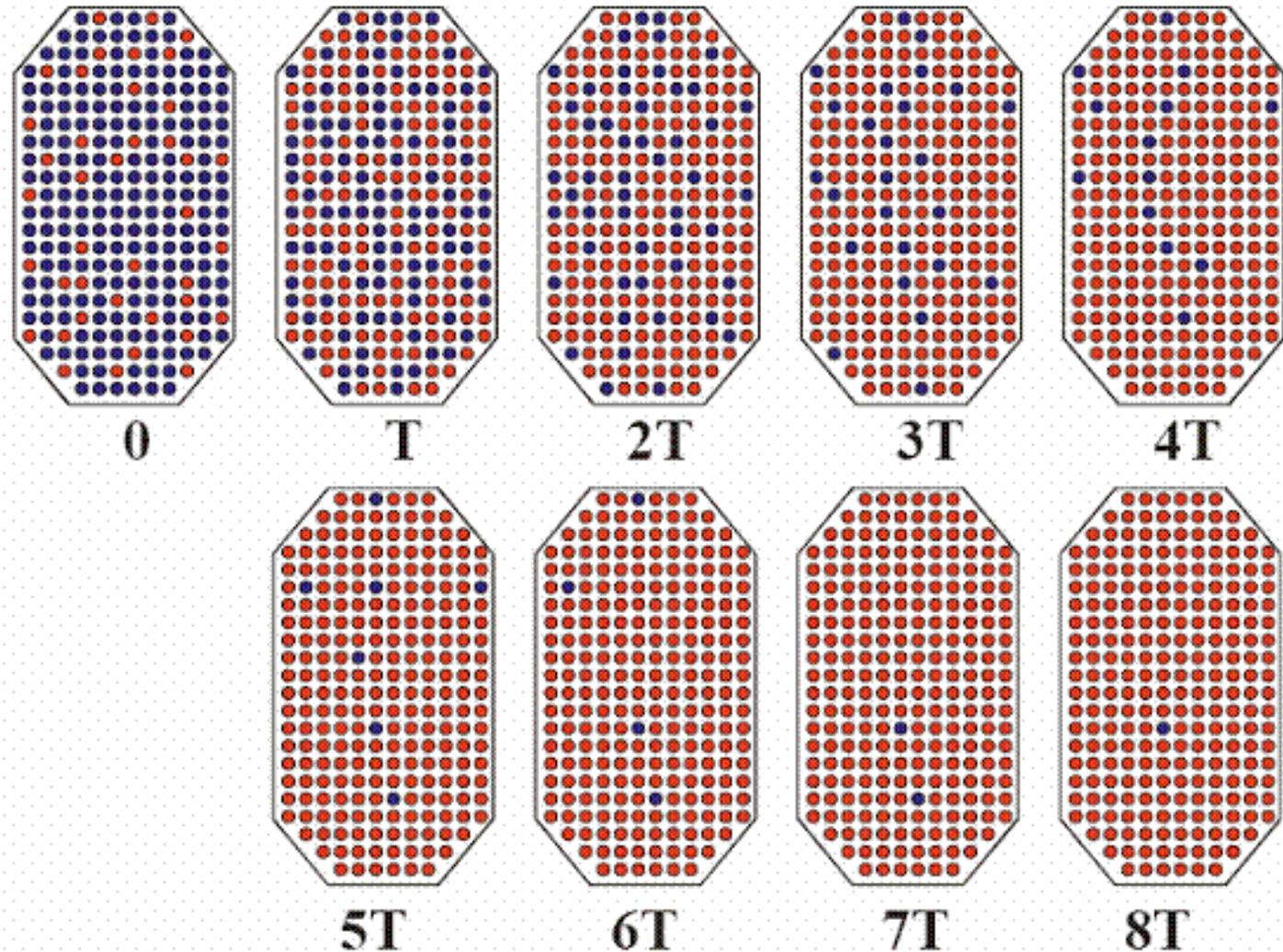
$$dP/P = - \lambda dT$$

$$\ln P/P_0 = - \lambda(T-T_0)$$

$$(2) \quad P = P_0 \exp (- \lambda T)$$

où  $P$  est le nombre de noyaux pères présents,  $P_0$  est le nombre de noyaux pères présents à  $t=0$ ,  $t$  le temps et  $\lambda$ , la constante de désintégration radioactive.

# Exemple



Système clos

A  $t=0$ , on compte 200 isotopes pères bleus de P ( $P_0$ ) et 40 isotopes rouges de F ( $F_0$ )

A  $t=T$ , il reste 100 isotopes bleus, 100 isotopes rouges ont été produits (+ 40 rouges in)

A  $t=2T$ , il ne reste plus que 50 isotopes bleus pour 150 rouges (plus 40 rouges initiaux)

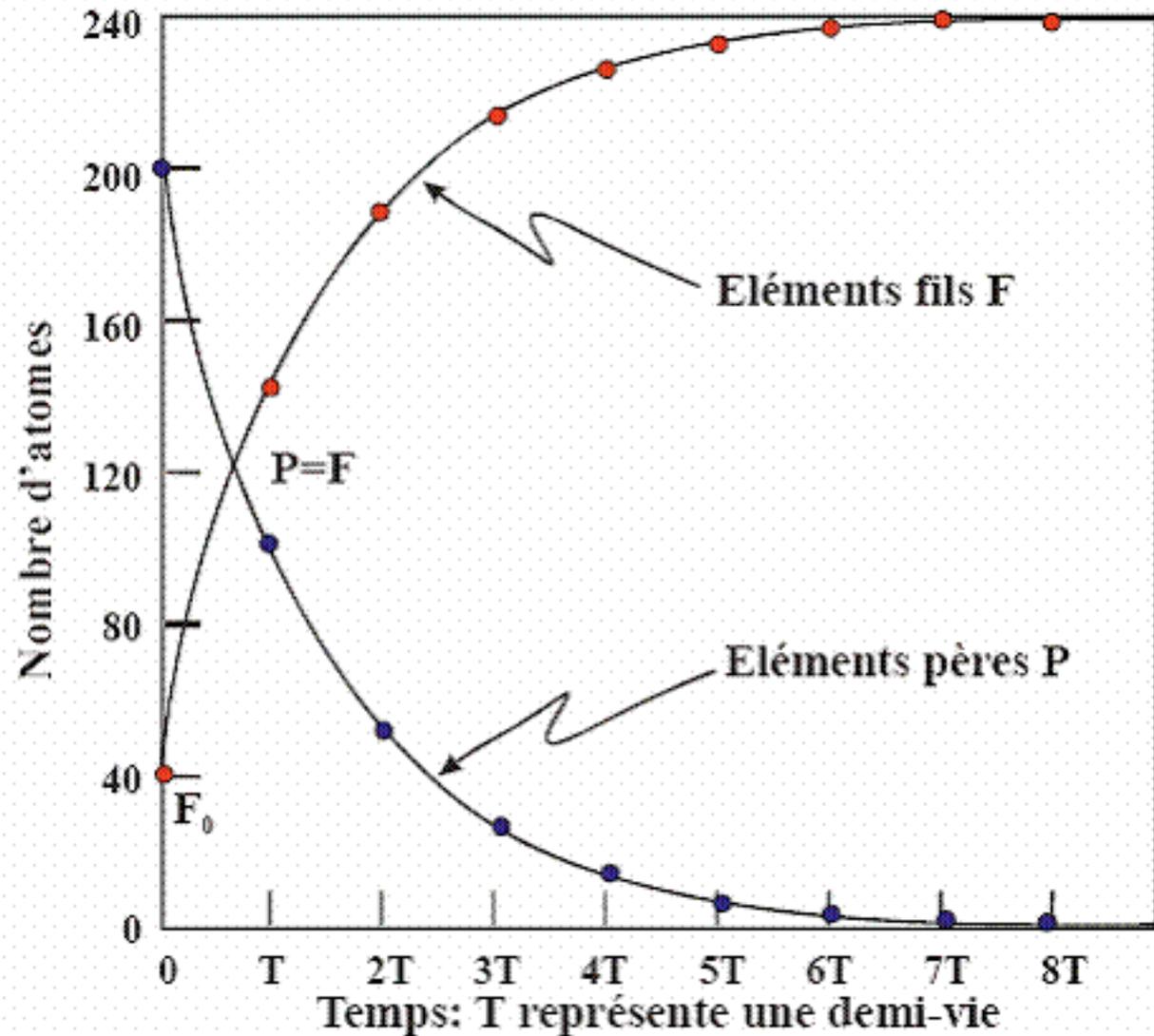
# Lois de décroissance radioactive

Période radioactive ou  
demie vie:

$$P_0/2 = P_0 e^{-\lambda t}$$

Soit:

$$t_{1/2} = \ln(2)/\lambda.$$



## Lois de désintégration radioactive (2)

Système clos:

$$P = P_0 - F$$
$$\text{Ou : } P_0 = P + F$$

En remplaçant  $P_0$  (qui n'est pas connu) par  $P + F$  dans (3), on a

$$P + F = P e^{\lambda t}$$

(4) Soit:  $F = P(e^{\lambda t} - 1)$

Si à  $t=0$ ,  $F$  différent de 0, il est alors noté  $F_0$ , et on a:  
 $F_{\text{mesure}} = F_0 + F_{\text{radiogénique}}$ . (4) devient alors:

(5)

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

Isotope père	$\lambda$	T	Isotope fils
$^{87}\text{Rb}$	$1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$	50 Ga	$^{87}\text{Sr}$
$^{147}\text{Sm}$	$6,54 \cdot 10^{-12} \text{ an}^{-1}$	105 Ga	$^{143}\text{Nd}$
$^{235}\text{U}$	$9,849 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$	0,7 Ga	$^{207}\text{Pb}$
$^{238}\text{U}$	$1,551 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$	4,5 Ga	$^{206}\text{Pb}$

## Le système Rb/Sr

- Sr: 4 isotopes stables dans la nature:
  - Sr-84abondance: 0,56%
  - Sr-86abondance: 9,86%
  - Sr-87abondance: 7%
  - Sr-88abondance: 82,58%
- 
- Rb: 1 isotope stables dans la nature, 1 radioactif:
  - Rb-85                   abondance: 72,165%
  - Rb-87                   abondance: 27,835%; demie-vie=  $4,81 \cdot 10^{10}$  ans
  - Le Rb-87 radioactif se désintègre en Sr-87, radiogénique

- L'équation de désintégration radioactive (5) devient:

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

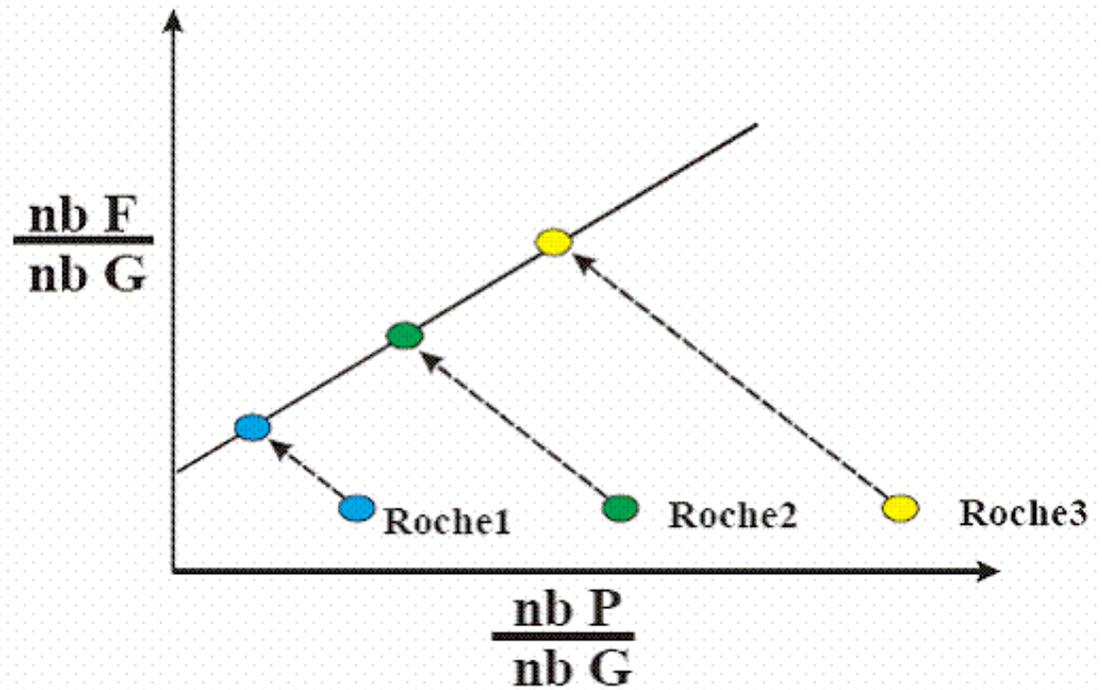
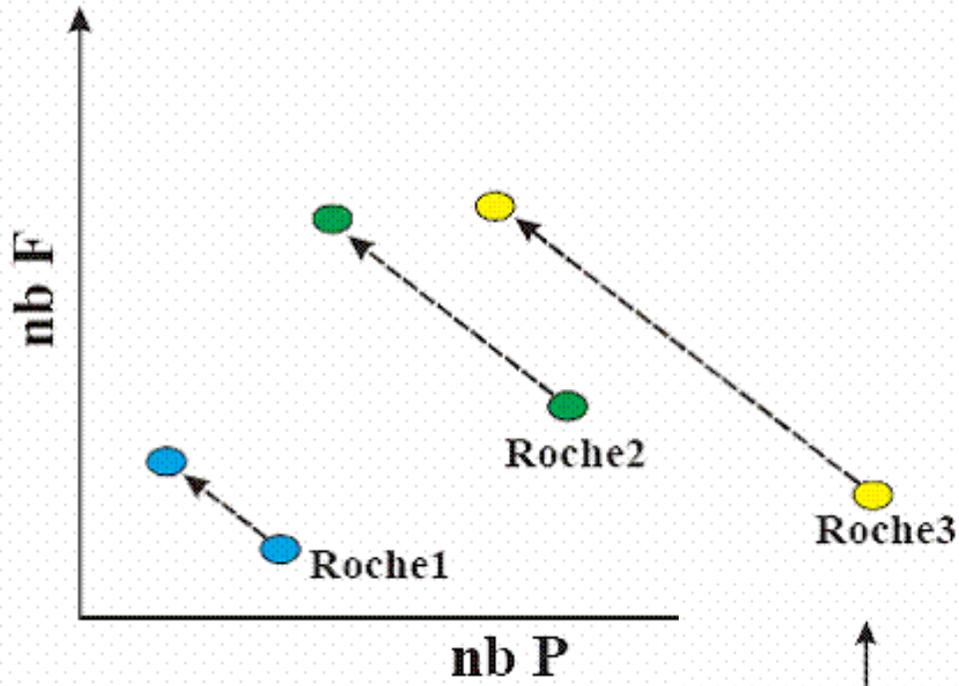
avec  $\lambda = 1.42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

- soit:

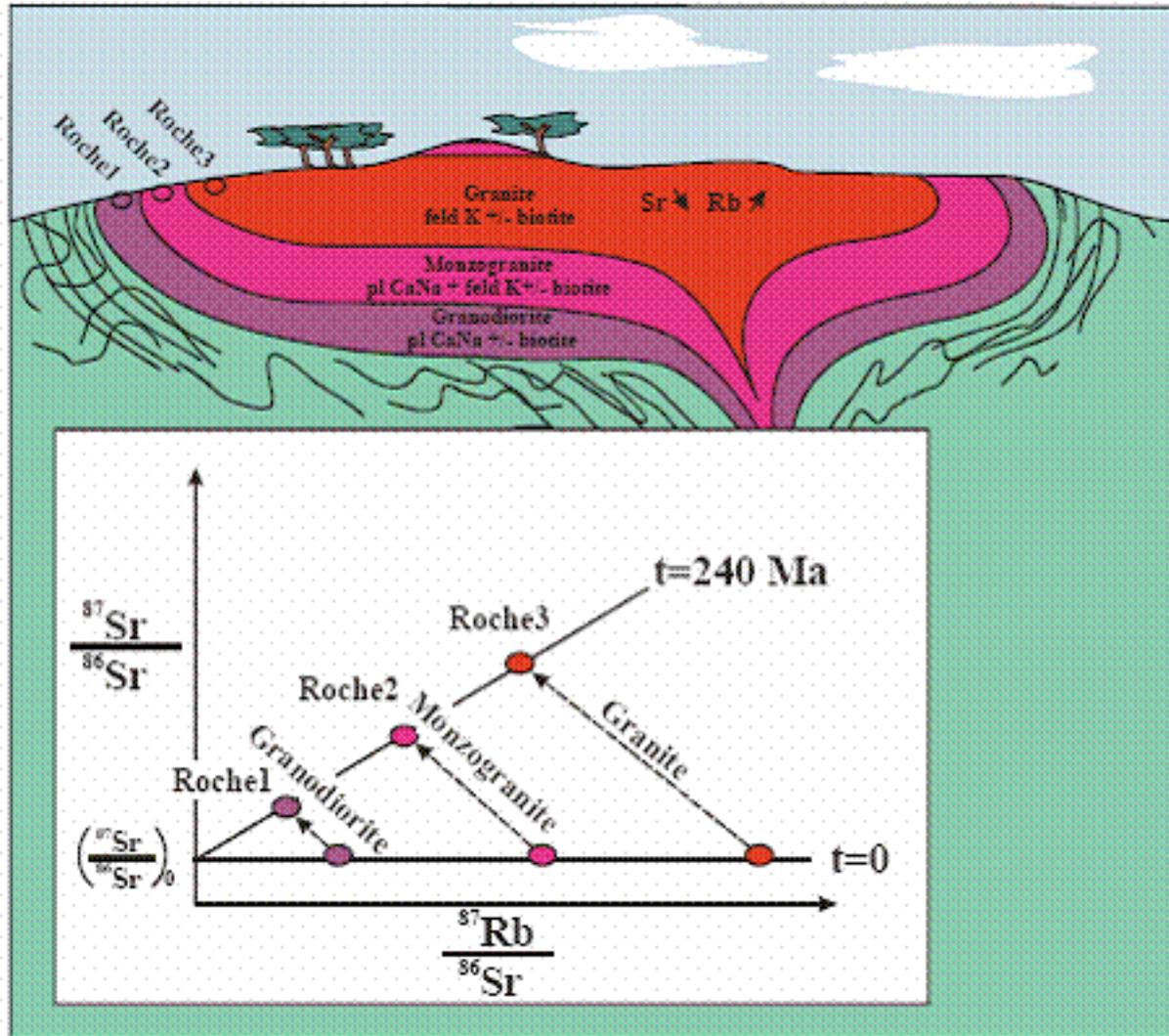
$$\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} = \frac{{}^{87}\text{Sr}_0}{{}^{86}\text{Sr}} + \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}(e^{\lambda t} - 1)$$

C'est l'équation d'une droite dans un diagramme:  ${}^{87}/{}^{86} \text{ Sr} = f({}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr})$

# Principes généraux



# Isochrones sur roche totale

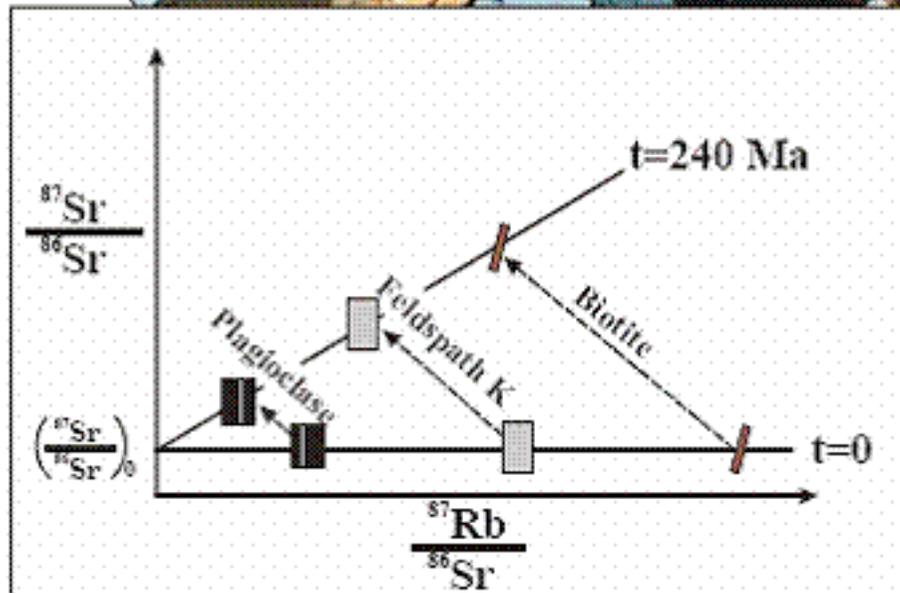
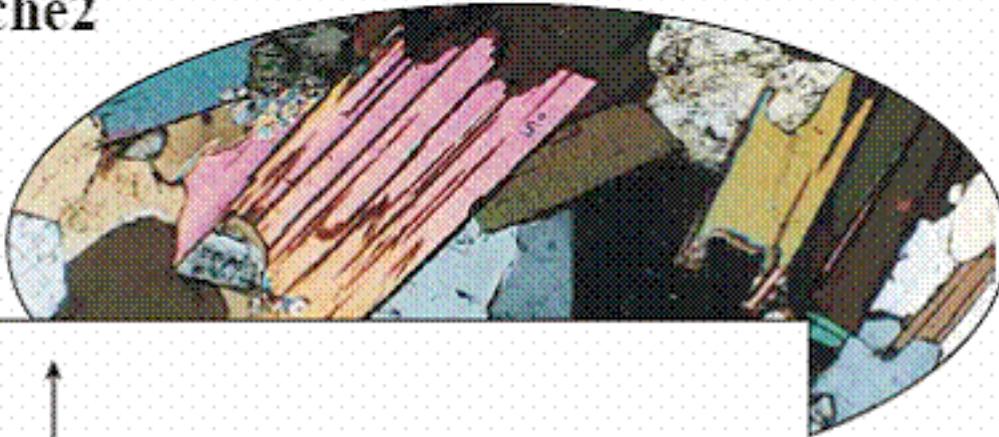


3 roches co-génétiques ayant même âge et même rapport initial en  $^{87}/^{86}$  Sr fournissent une isochrone.

La pente de cette droite donne l'âge de formation du massif: 240 Ma

# Isochrones sur minéraux

Roche2

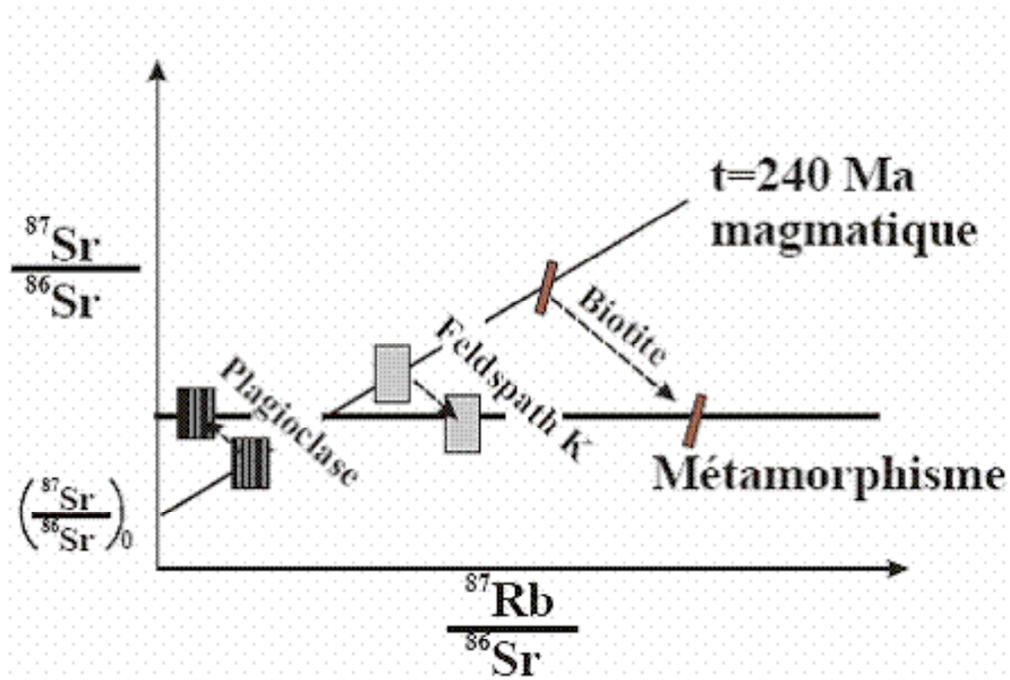


Exemple de répartition du Sr et du Rb dans les minéraux d'une roche granitique.

Plagioclase, feldspath K et biotite possèdent le même  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  pour des rapports  $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$  différents.

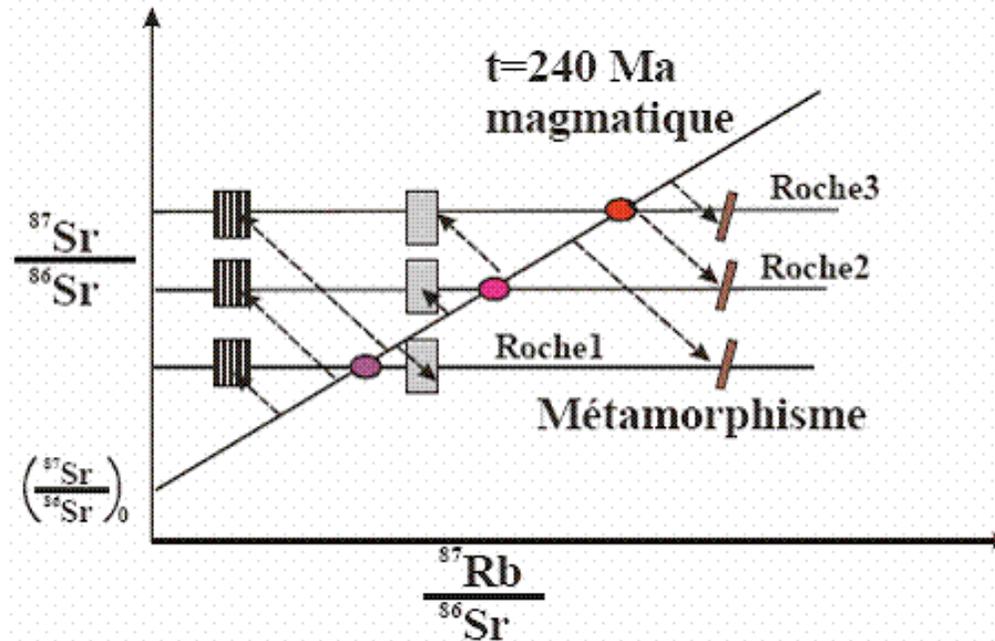
La pente de cette droite donne le même âge que l'isochrone sur roche totale

# Datation d'un épisode métamorphique



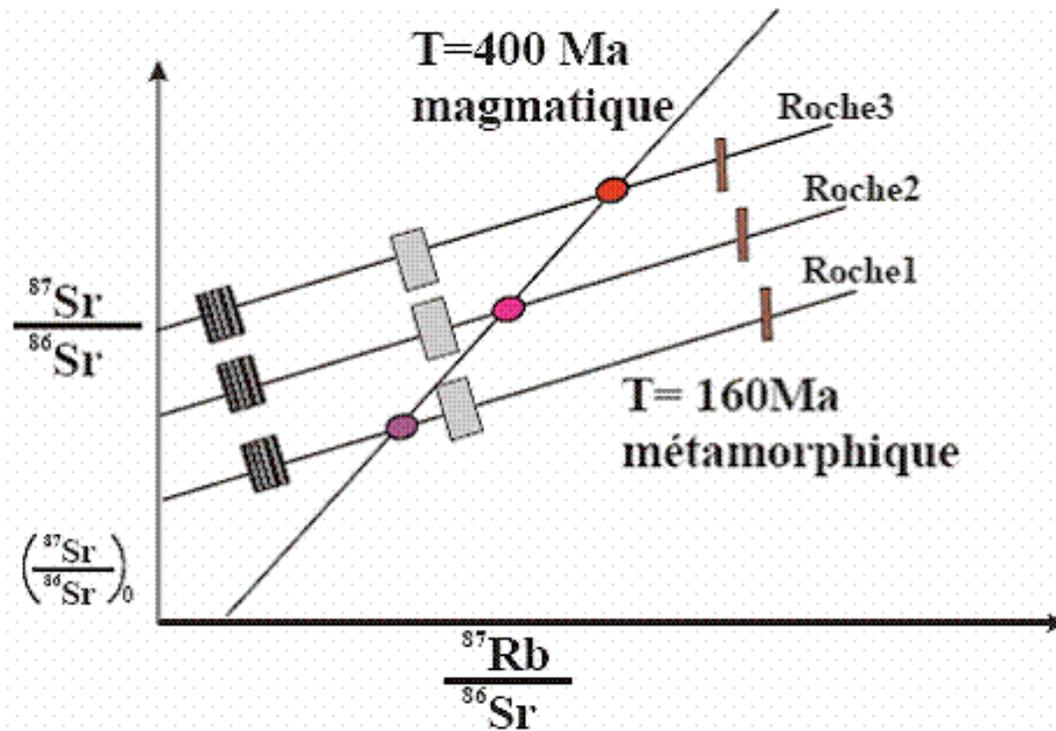
Cas d'une roche magmatique mise en place à 240 Ma et subissant un métamorphisme à  $t=\text{actuel}$ . Les minéraux se rééquilibrent sur une horizontale en « échangeant » le  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique. On parle d'un système « ouvert » pour les minéraux. Si le système est fermé pour la roche, alors Sa Cl en Sr reste inchangée (cas de la figure).

## Datation d'un épisode métamorphique (2)



Cas d'une série de 3 roches issues d'un même massif magmatiques mise en place à 240 Ma et subissant un métamorphisme à  $t=\text{actuel}$ . Les minéraux se rééquilibrent sur une horizontale en « échangeant » le  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique jusqu'à atteindre la CI en Sr de la roche. Si le système est fermé pour la roche, on conserve l'alignement des 3 roches sur l'isochrone 240Ma. Le système peut alors à nouveau vieillir.

## Datation d'un épisode métamorphique (3)



Après vieillissement, les minéraux présentent des alignements dont la pente fournit l'âge de la ré-homogénéisation: c'est à dire l'âge du métamorphisme: ici 160 Ma.

Néanmoins, les roches totales n'ayant pas subi de perturbation lors du métamorphisme, elles demeurent alignées sur une isochrone dont l'âge fournit toujours l'âge magmatique:  $240+160 = 400 \text{ Ma}$ .

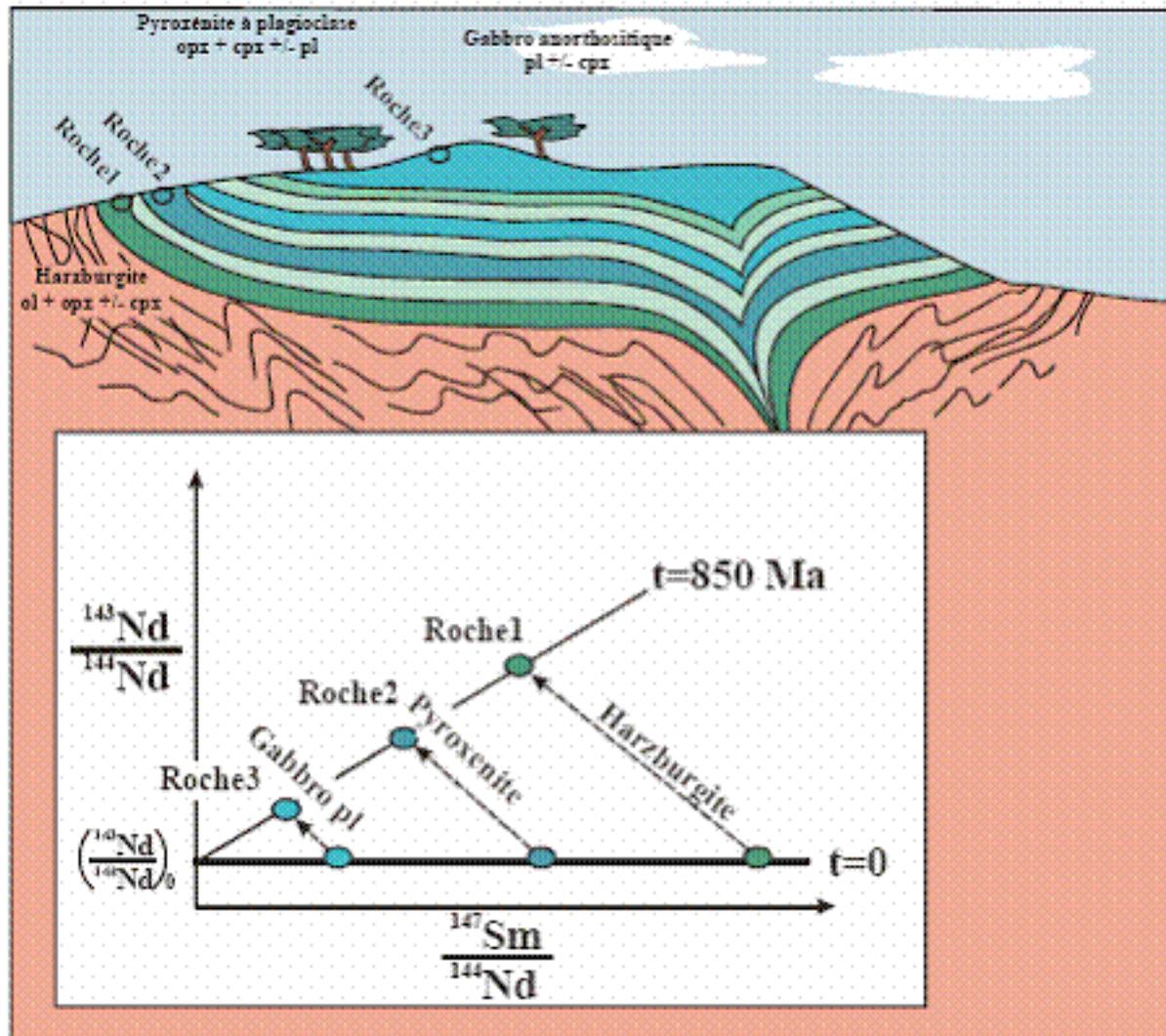
## Le système Sm-Nd

- Nd: 5 isotopes stables dans la nature:
- Nd-142           abondance: 27,11%
- Nd-143           abondance: 12,17%
- Nd-145           abondance: 8,3%
- Nd-146           abondance: 17,22%
- Nd-148           abondance: 5,73%
- Le Nd 143 provient de la désintégration radioactive du Sm-147
- Sm: 6 isotopes stables dans la nature: le Sm-147 est radiogénique et se désintègre en 143-Nd. Abondance: 14,97%

$${}^{143}\text{Nd} = {}^{143}\text{Nd}_0 + {}^{147}\text{Sm}(e^{\lambda t} - 1)$$

avec  $\lambda = 6,54 \cdot 10^{-12} \text{ an}^{-1}$

$$\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} = \frac{{}^{143}\text{Nd}_0}{{}^{144}\text{Nd}} + \frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}}(e^{\lambda t} - 1)$$



## Roche2

