

Géochronologie

Exercices

Utilisation de logiciels de simulation :
« Chronocoupe » et « Radiochronologie »

I. Exercices de chronologie relative

1. Rappel de notions fondamentales de chronologie relative

2. Exercices avec le logiciel « Chronocoupe »

3. Exercices de chronologie relative

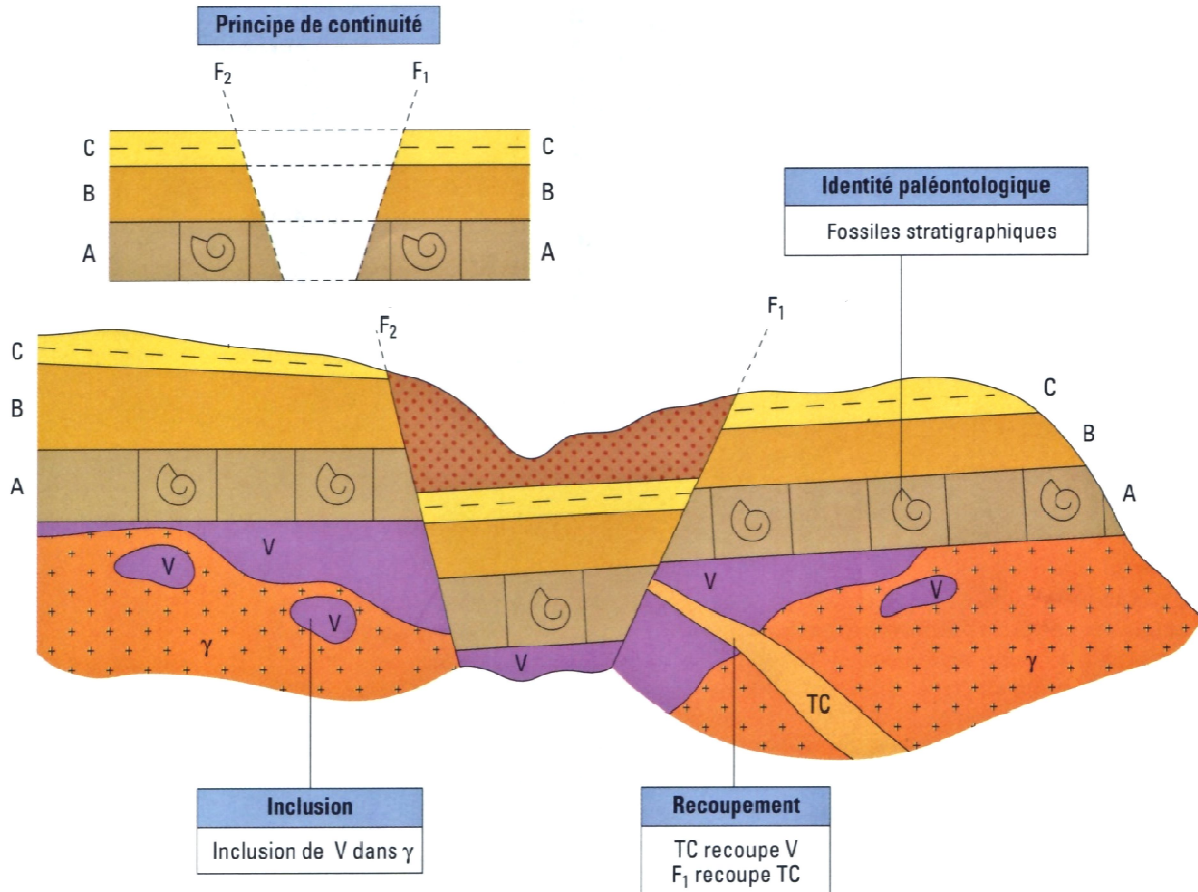
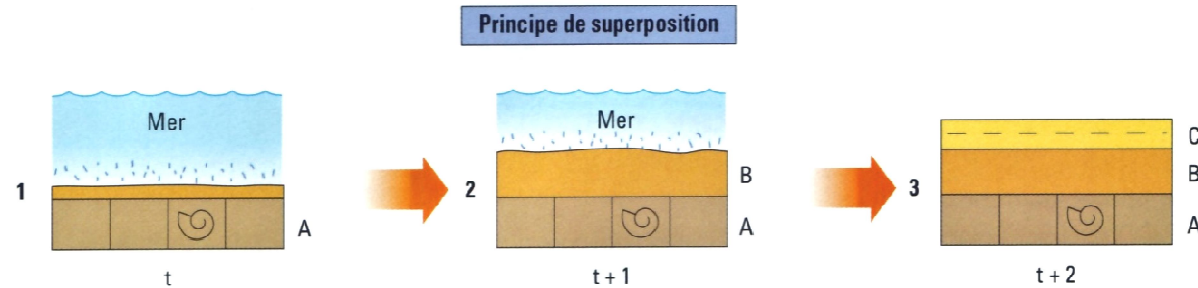
1. Rappel de notions fondamentales de chronologie relative

- ❑ **Objectif** : Ordonner chronologiquement des structures géologiques (strates, plis, failles, filons, coulées volcaniques minéraux) et des phénomènes géologiques (sédimentation, érosion, phénomènes tectoniques, orogénèses, volcanisme...)
- ❑ **Méthode** : La chronologie relative se fonde pour l'essentiel sur l'étude des rapports géométriques entre les structures géologiques et sur la paléontologie.
- ❑ **Principes** : La chronologie relative repose sur les principes suivants :
 1. **Principe de superposition** : Dans une série sédimentaire, et sous réserve que la disposition d'origine soit conservée, toute strate est plus récente que celle qu'elle surmonte. Il en est de même pour les coulées volcaniques superposées.
 2. **Principe de recoupement, de déformation** : Une formation géologique qui en recoupe une autre (Failles, filons , intrusion magmatique) lui est postérieure. La formation d'un pli est plus récente que les roches qu'elle a affectées.
 3. **Principe de continuité** : Une strate est de même âge sur toute son étendue mais pas nécessairement de même nature (changement de faciès).
 4. **Principe d'identité paléontologique** : Ce principe se fonde sur la reconnaissance de fossiles stratigraphiques. Deux strates contenant les mêmes fossiles stratigraphiques ont le même âge.
 5. **Principe d'inclusion** : Des objets géologiques contenus en inclusions dans une roche sont plus anciens, antérieurs à la roche qui les renferme.

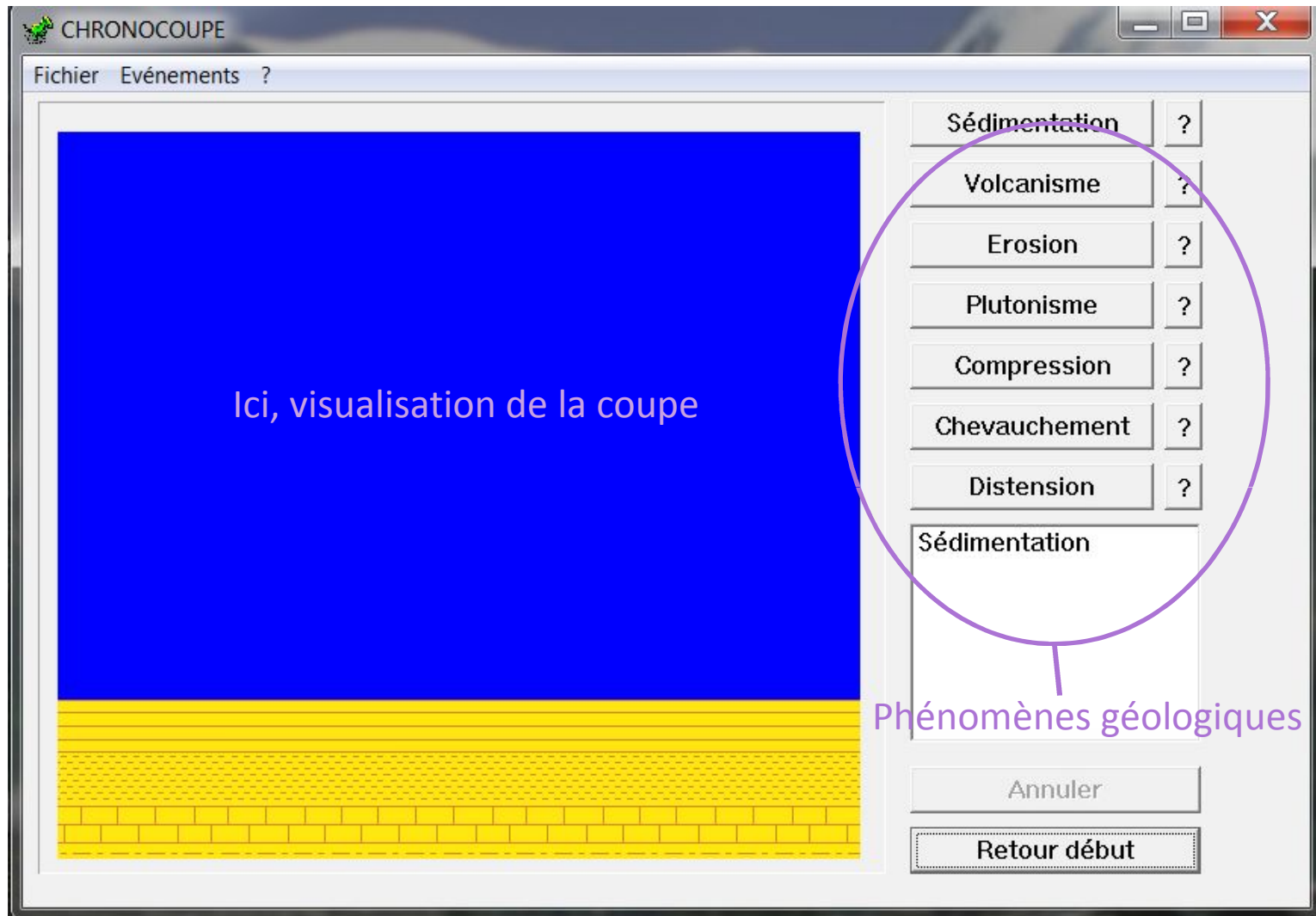
Remarque : Des relations géométriques à l'échelle des cristaux des roches magmatiques et métamorphiques permettent d'établir l'ordre d'apparition des minéraux , de préciser l'évolution géochimique des minéraux au cours du métamorphisme .

❑ **Échelle stratigraphique** : L'application des principes de la chronologie relative a permis d'établir l'échelle stratigraphique des temps géologiques. Dans cette échelle , les temps géologiques sont découpés en ères , périodes , étages , etc.

Illustration des principes de la chronologie relative



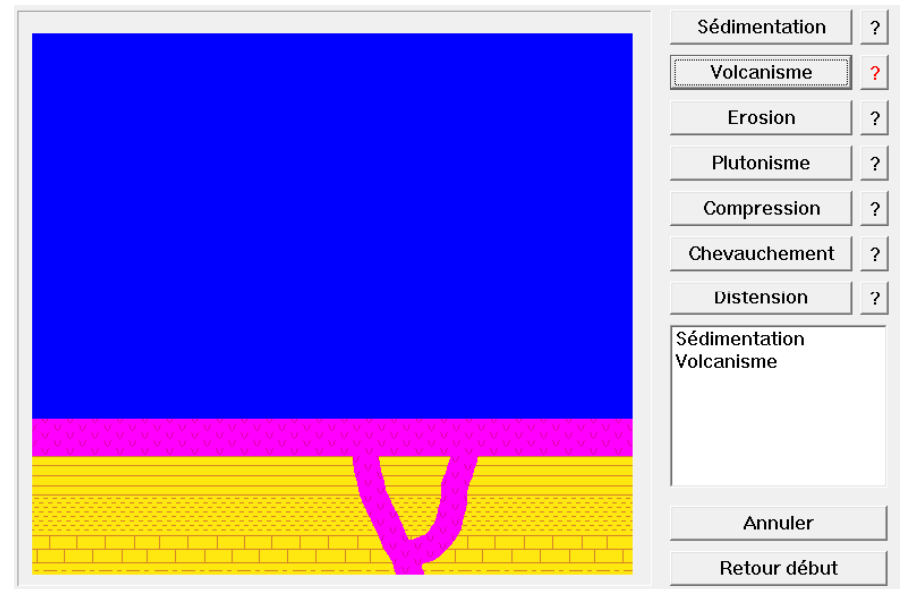
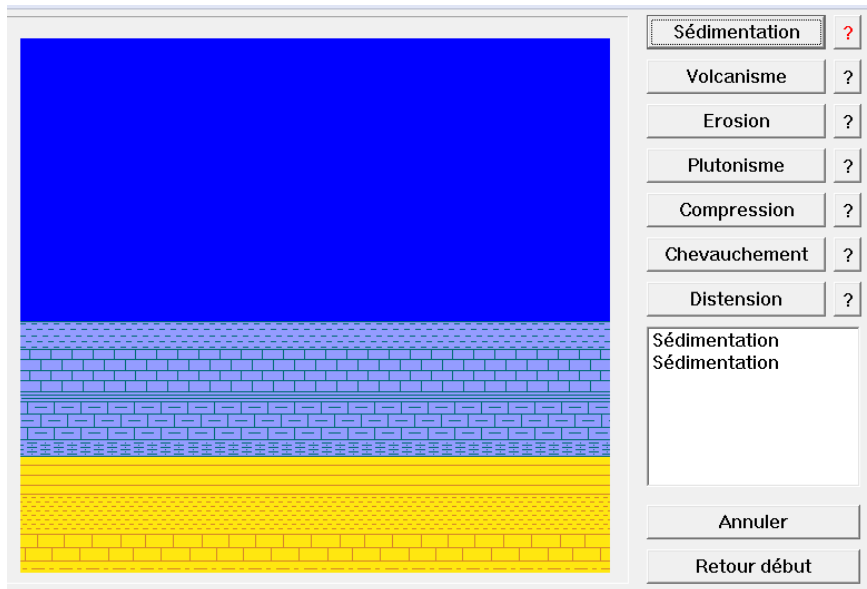
2.Exercices avec le logiciel «Chronocoupe»



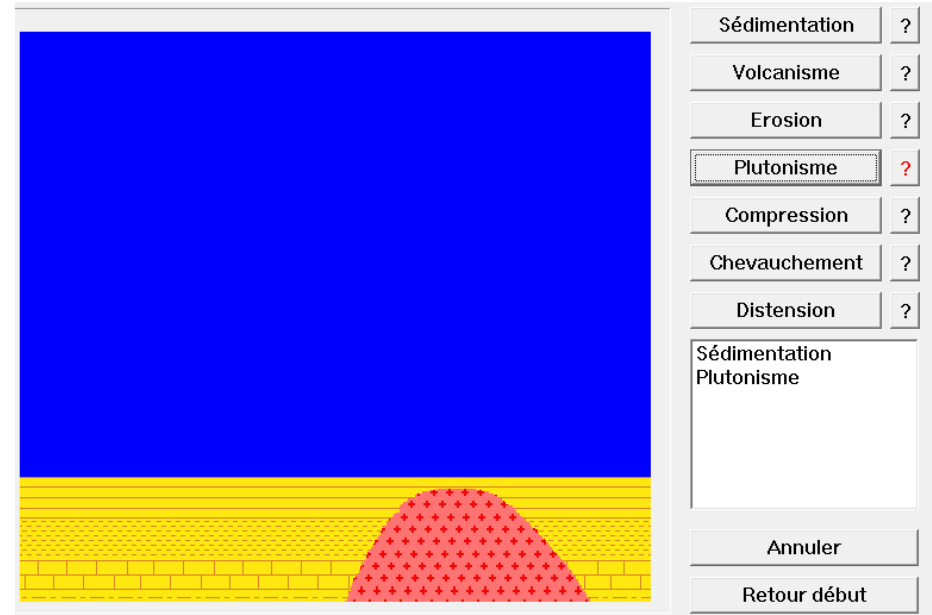
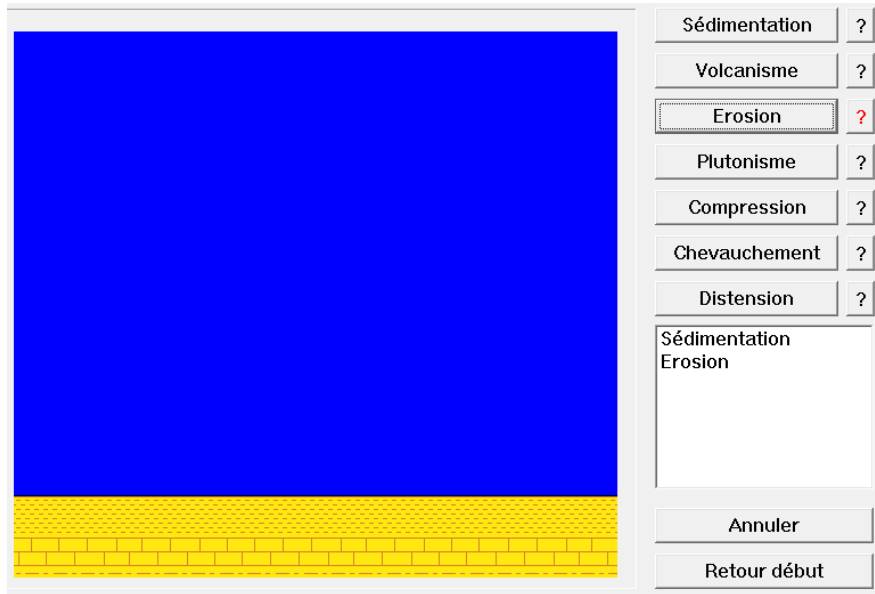
Logiciel téléchargeable à l'adresse suivante

<http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/didacgeo/site/Chronocoupe>

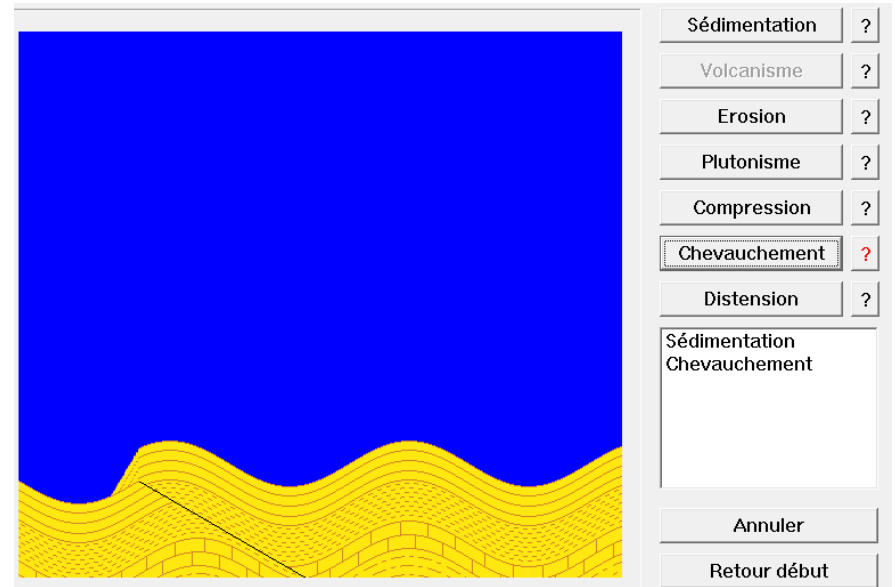
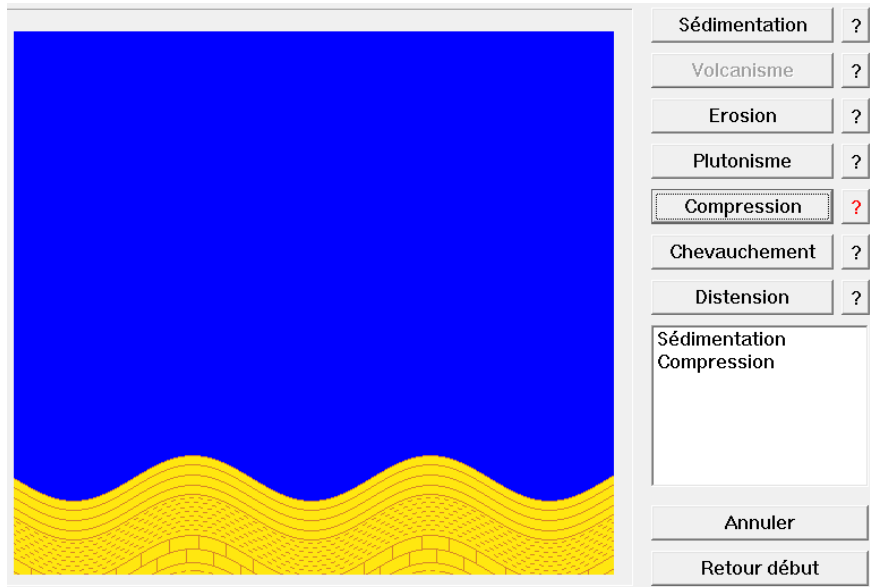
2.1. Modéliser un phénomène géologique sur une coupe



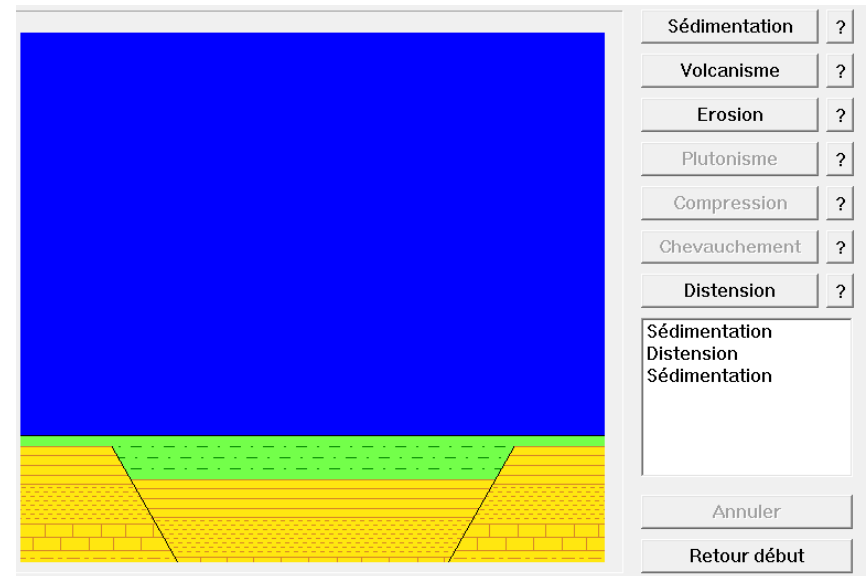
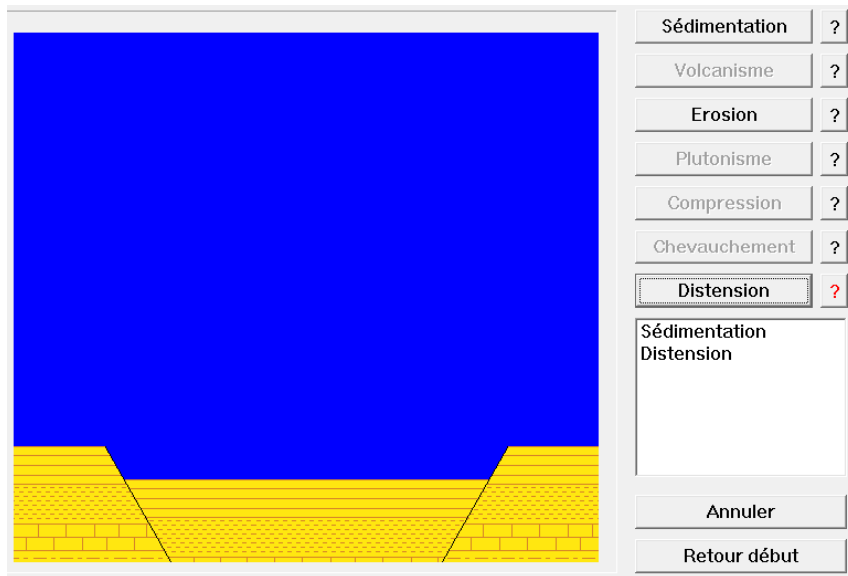
2.1. Modéliser un phénomène géologique sur une coupe



2.1. Modéliser un phénomène géologique sur une coupe

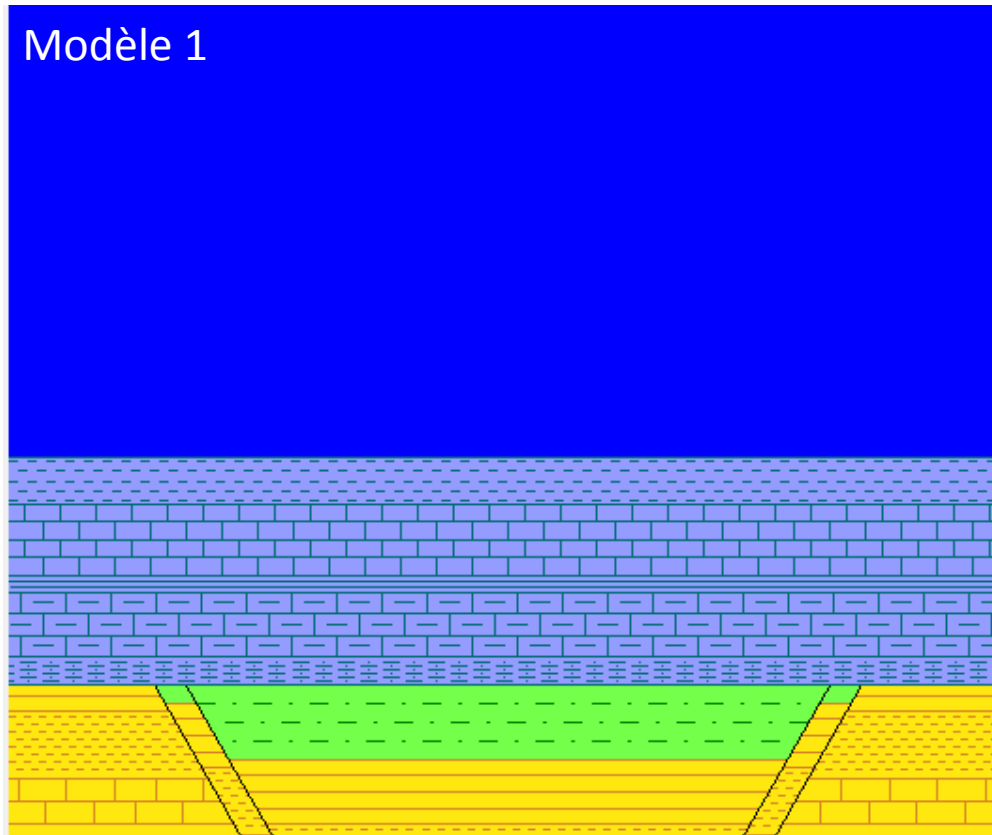


2.1. Modéliser un phénomène géologique sur une coupe

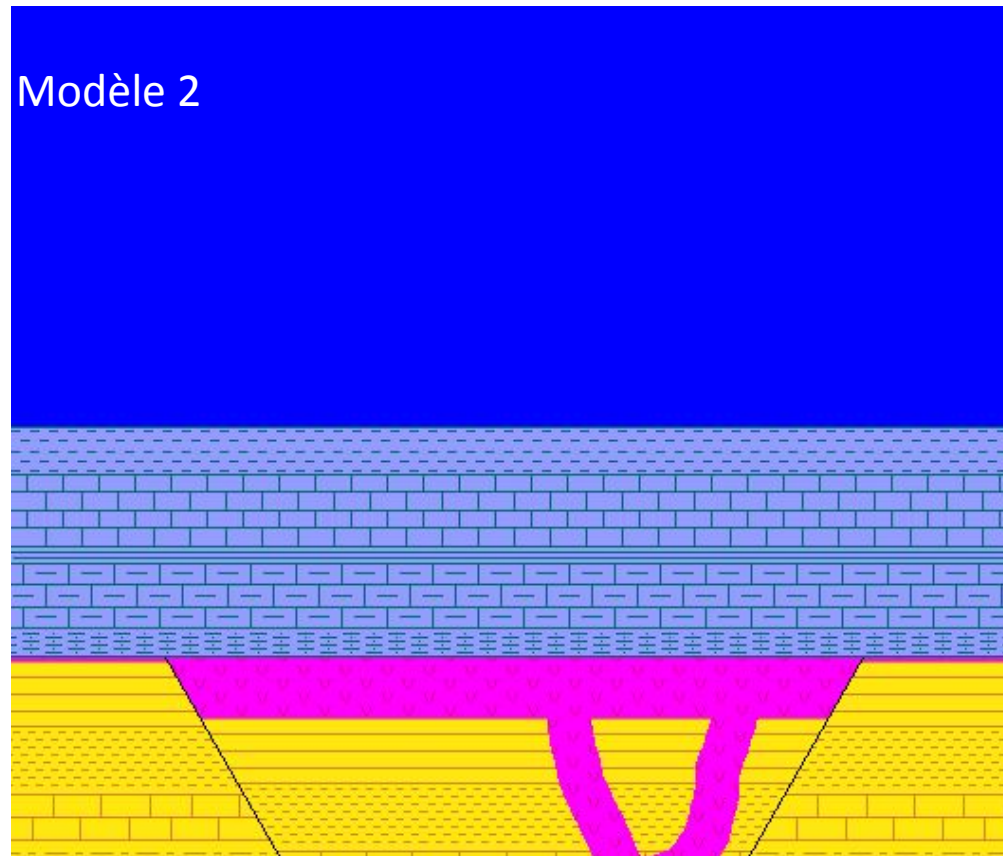


2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés

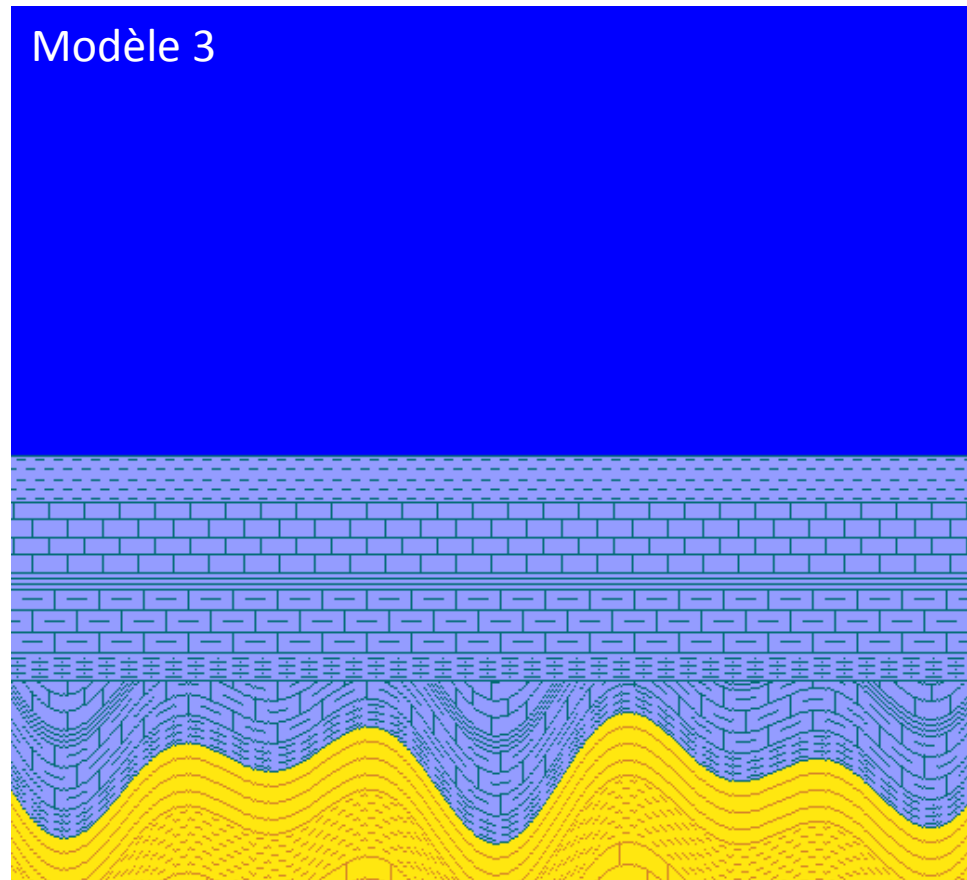
Modèle 1



2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés



2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés



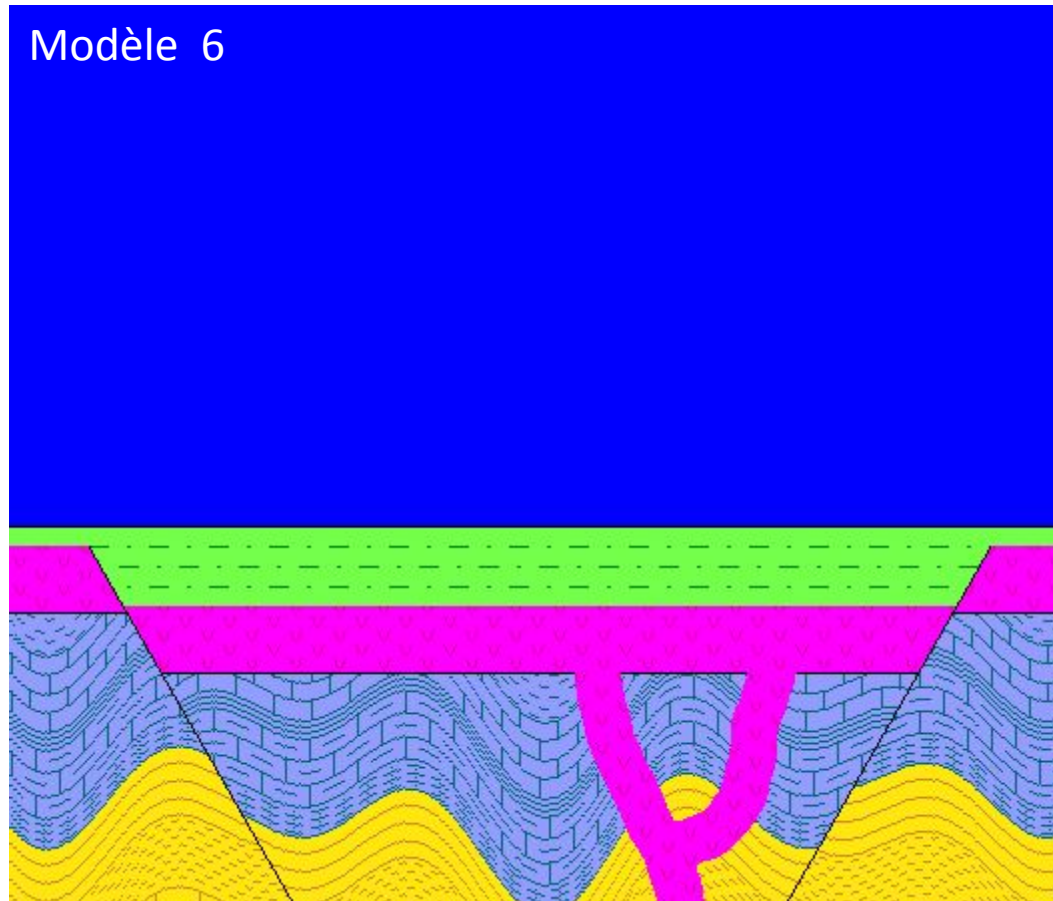
2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés



2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés



2.2. Reconstituer la succession des phénomènes géologiques des modèles présentés

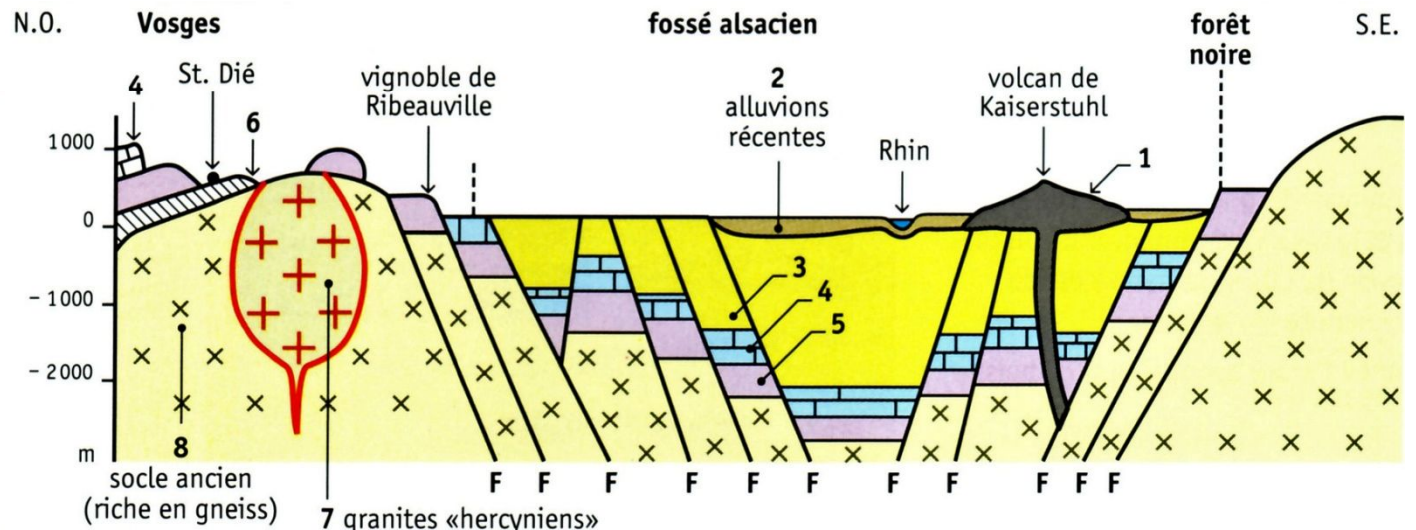


3. Exercices de chronologie relative

Reconstituer la succession des phénomènes géologiques

1^{er} exemple : Coupe géologique simplifiée du fossé alsacien

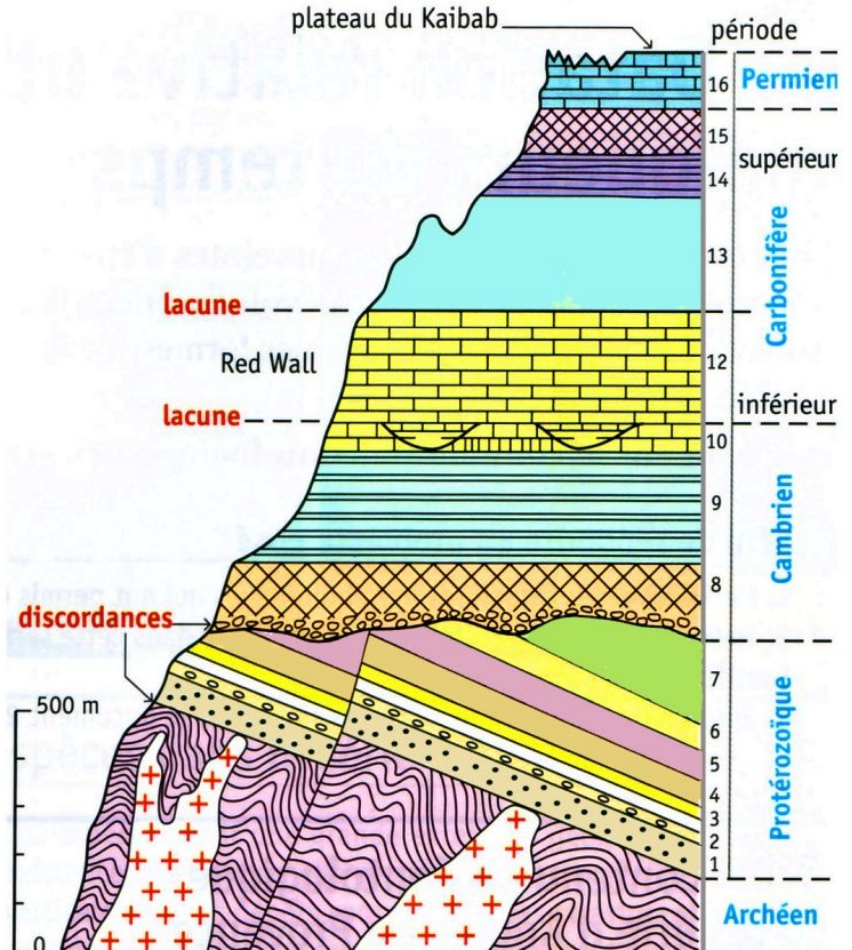
- 1 ■ terrains volcaniques (20 Ma)
- 2 ■ alluvions actuelles
- 3 ■ Tertiaire lagunaire marin
- 4 ■ Jurassique marin
- 5 ■ Trias continental puis marin
- 6 ■ grès permians continentaux discordants (bassin de St. Dié)
- 7 ■ granites hercyniens (350 Ma)
- 8 ■ socle ancien (riche en gneiss)



3. Exercices de chronologie relative

Reconstituer la succession des phénomènes géologiques

2^{ème} exemple : coupe géologique simplifiée du Grand Canyon du Colorado



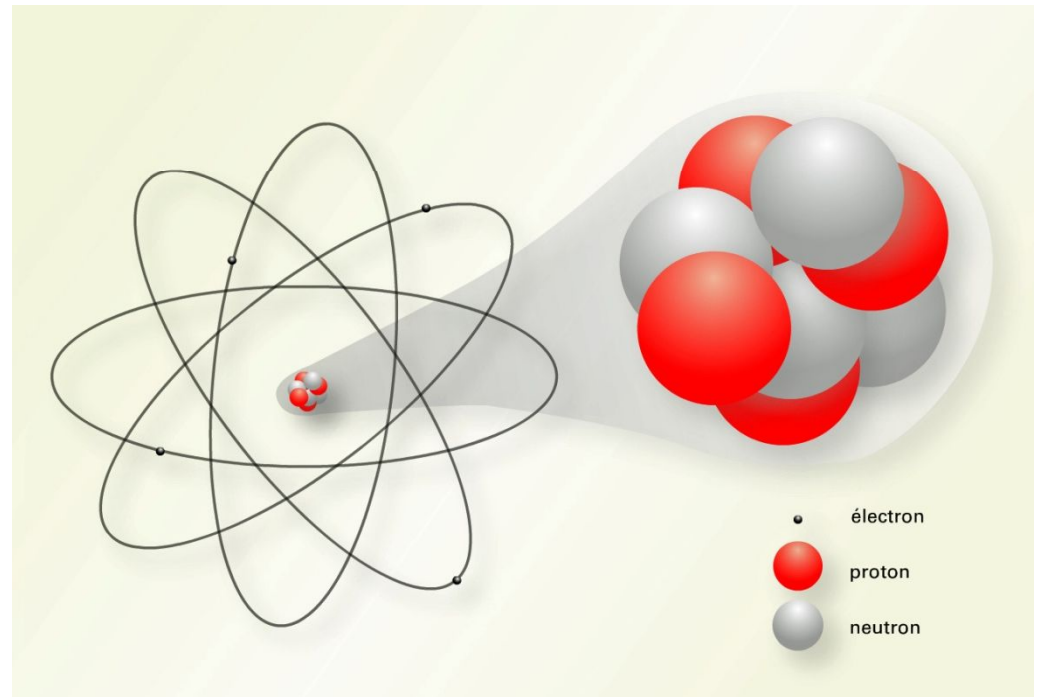
II. Exercices de géochronologie absolue

1. Rappel de notions fondamentales

2. Exercices avec le logiciel « Radiochronologie »

1. Rappel de notions fondamentales

- ❑ **Objet de la géochronologie absolue:** Quantifier les âges et les durées des structures et des événements géologiques et biologiques. Elle se fait par la radiochronologie.
- ❑ **Radiochronologie :** ensemble de méthodes de datation basées sur la désintégration d'éléments radioactifs contenus dans des minéraux, des roches ou des fossiles.
- ❑ **L'atome :** La matière est formée est formée de minuscules entités : les atomes. Chaque atome est constitué d'un noyau autour duquel gravite des électrons. Le noyau est constitué de 2 types de particules : les protons et les neutrons.
Les protons et les neutrons sont « collés » les uns aux autres grâce à une force de cohésion appelée « interaction nucléaire » qui est généralement suffisante pour les maintenir ensemble. On dit alors que le noyau est stable.



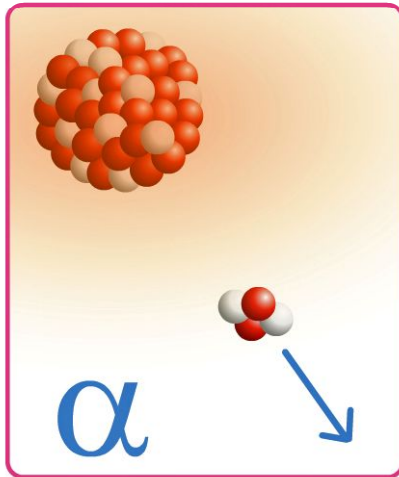
1. Rappel de notions fondamentales

☐ Noyau instable et radioactivité.

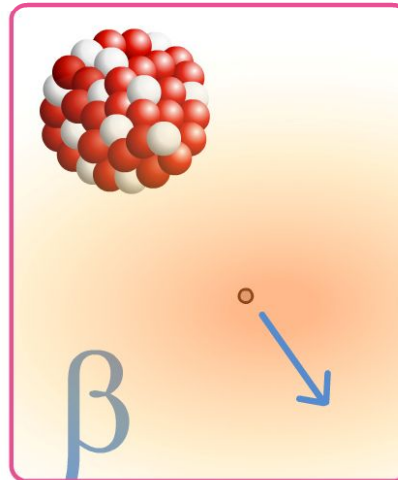
Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables. Cependant, certains atomes ont des noyaux instables, ils **sont dits radioactifs et sont appelés radio-isotopes ou radionucléides**.

Ces noyaux instables contiennent trop de particules ou renferment trop d'énergie de sorte que la force de cohésion n'est plus suffisante pour maintenir les protons et les neutrons ensemble. Les noyaux sont « instables ».

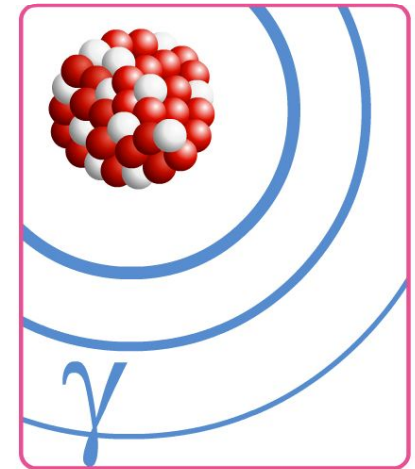
Un noyau instable finit par libérer son trop plein d'énergie en émettant des rayonnements (alpha ou bêta ou gamma). C'est ce phénomène de désintégration du noyau qu'on appelle radioactivité



Émission d'un petit noyau, constitué de 2 protons et 2 neutrons, appelé particule alpha.



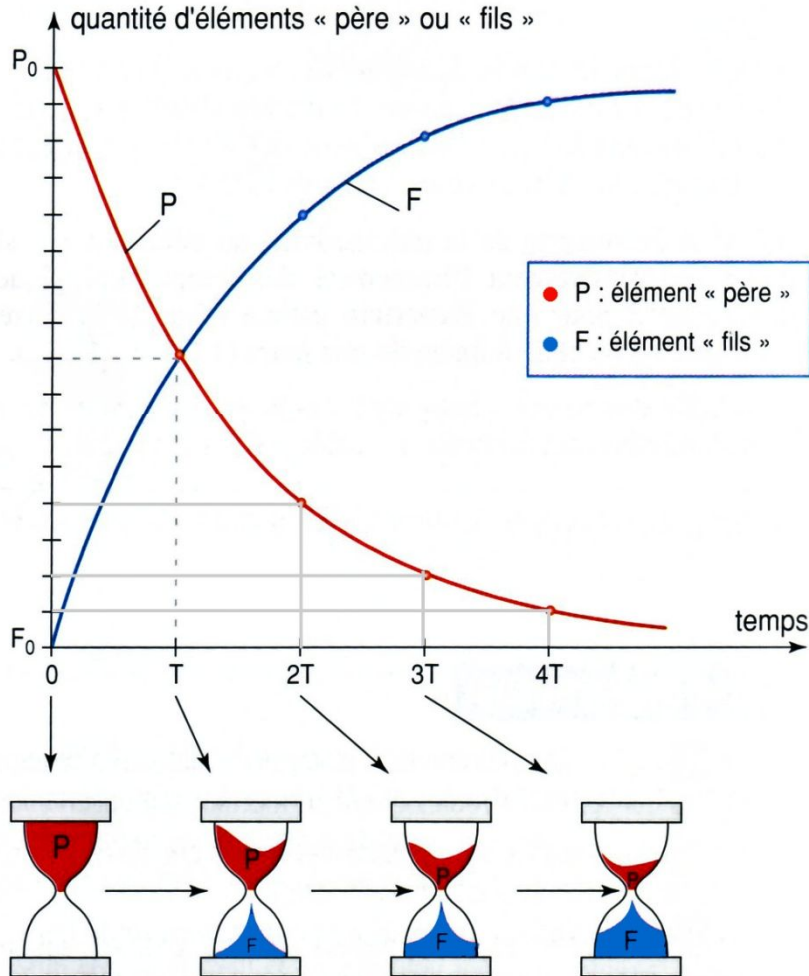
Transformation dans le noyau d'un neutron en un proton ou d'un proton en un neutron, caractérisée par l'émission d'un « anti-électron ».



Émission d'une onde électromagnétique de haute énergie, sans émission de particules.

1. Rappel de notions fondamentales

❑ La radiochronologie est basée sur la loi de décroissance radioactive.



La radiochronologie est fondée sur la décroissance radioactive de certains éléments connus à l'état de traces dans les minéraux des roches ou la matière organique fossile.

L'élément radioactif d'origine ou élément père se désintègre au fil du temps en un élément fils non radioactif avec émission de particules. Cette désintégration radioactive obéit à une loi mathématique qui fonctionne comme une véritable horloge (une fonction exponentielle du temps)

$$P = P_0 \times e^{-\lambda t} \quad \text{soit } t = \ln(P_0 / P) / \lambda$$

P_0 = Quantité initiale de l'élément père

P = Quantité de l'élément père au temps t

t = temps écoulé

λ = Constante de désintégration (an⁻¹)

ln = logarithme népérien

Quelque soit la quantité d'élément père présente à un moment donné, il faut toujours le même temps pour que cette quantité soit divisée par 2 : cette durée est la **demi-vie** ou **période radioactive** , caractéristique de l'élément considéré.

D'un élément à l'autre, la période radioactive peut varier considérablement (d'une fraction de seconde à plusieurs milliards d'années)

1. Rappel de notions fondamentales

□ Isotopes utilisés en radiochronologie – leurs périodes et constantes de désintégration – les objets datés

Isotope père	Rayonnement	Isotope fils	Période T (an)	λ (an ⁻¹)	Objets datés
$^{238}_{92}\text{U}$	$8\alpha\ 6\beta^- \rightarrow$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$4,53.10^9$	$1,54.10^{-10}$	 Minerais de U et Th Minéraux riches en U et Th : zircons 
$^{235}_{92}\text{U}$	$7\alpha\ 4\beta^- \rightarrow$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$0,73.10^9$	$9,72.10^{-10}$	
$^{232}_{90}\text{Th}$	$6\alpha\ 4\beta^- \rightarrow$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$13,9.10^9$	$4,99.10^{-11}$	
$^{87}_{37}\text{Rb}$	$\beta^- \rightarrow$	$^{87}_{38}\text{Sr}$	47.10^9 $49,9.10^9$	$1,39.10^{-11}$ $1,47.10^{-11}$	 Biotite Muscovite Feldspath Amphibole Pyroxène Glauconite 
$^{40}_{19}\text{K}$	$+e^- + \gamma \rightarrow$ $\beta^- \rightarrow$	$^{40}_{18}\text{Ar}$ $^{40}_{20}\text{Ca}$	$1,27.10^9$	58.10^{-10} $4,72.10^{-10}$	
$^{14}_6\text{C}$	$\beta^- \rightarrow$	$^{14}_7\text{N}$	5 750	$1,2.10^{-4}$	 Bois, os, coquilles... 

2. Utilisation du logiciel « Radiochronologie »



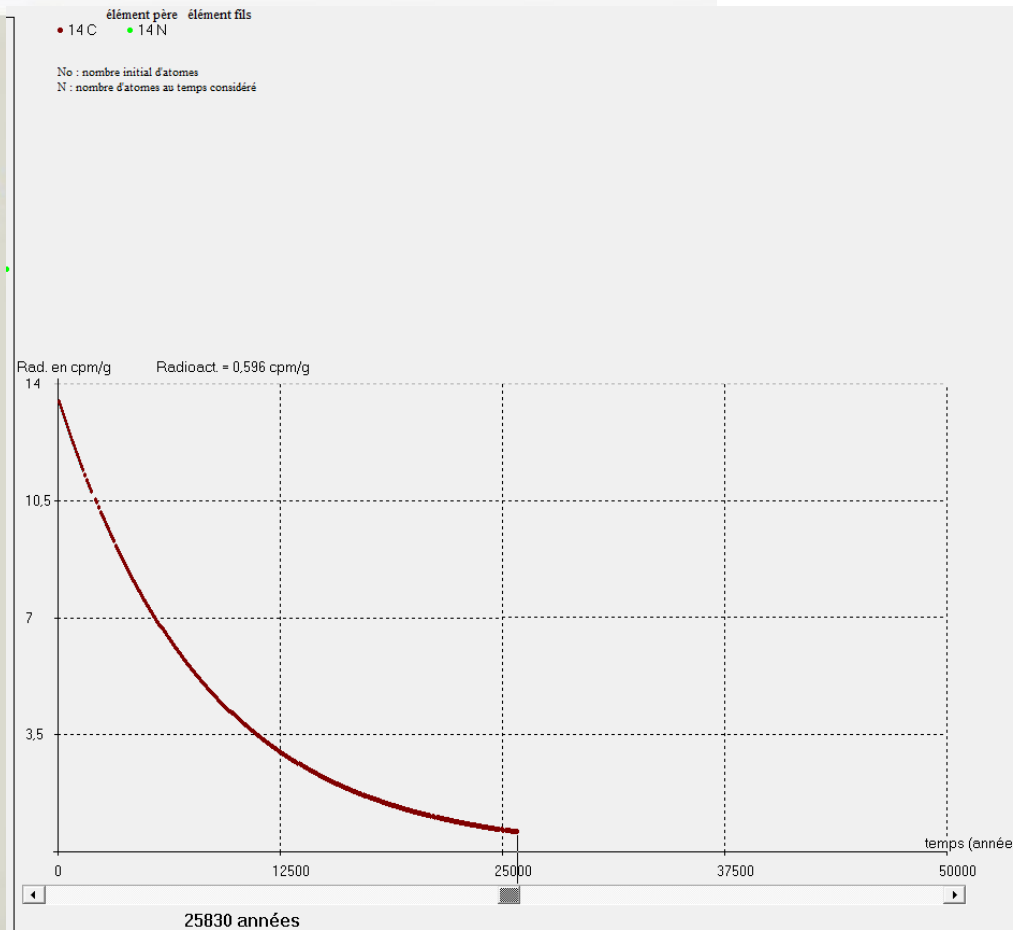
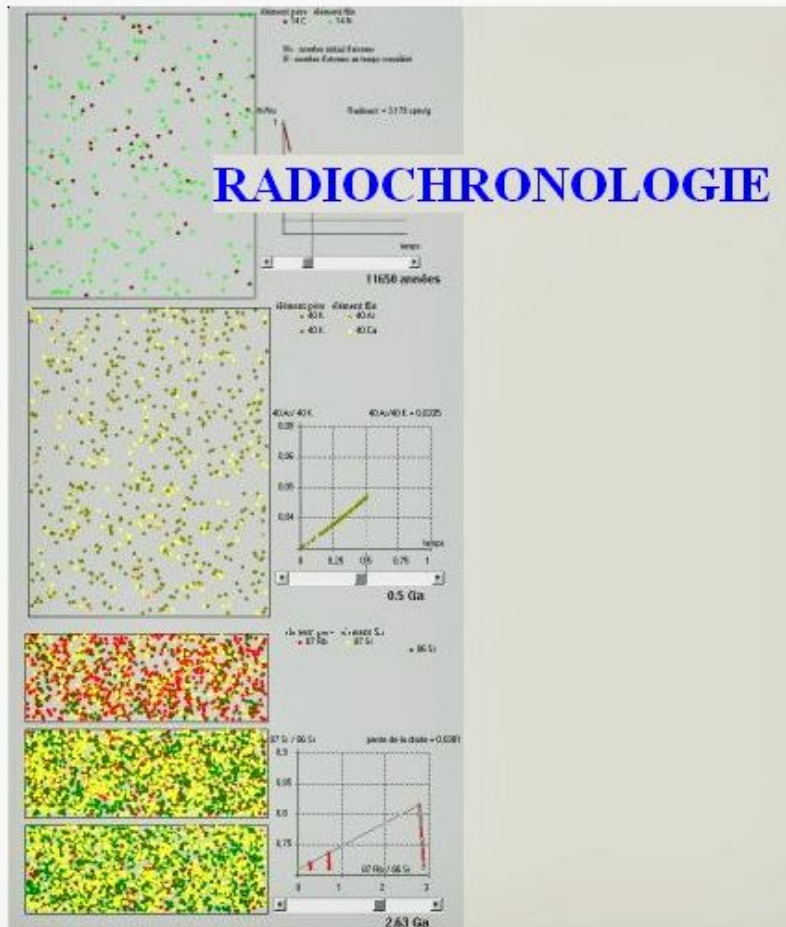
http://svt.ac-amiens.fr/archives_svt/info/logiciels/radiochr/telech.htm

2.1. La datation par le carbone 14 (^{14}C)



Radiochronologie

Loi de décroissance Datations Sr et origine des magmas Informations Calculatrice Guide A propos de... Quitter



2.1. La datation par le carbone 14 (^{14}C)

La méthode du carbone 14 : un géochronomètre limité au quaternaire récent.

Méthode de datation absolue basée sur la désintégration du ^{14}C , isotope radioactif du carbone.

Matériel analysé : fossiles animaux et végétaux (matière organique), coquilles (CaCO_3).

On admet que le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ d'un être vivant au cours de sa vie est identique au rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, plus ou moins constant du CO_2 atmosphérique. A la mort de l'être vivant, la quantité de l'élément radioactif ^{14}C diminue car les atomes de ^{14}C ne sont plus remplacés, alors que le nombre d'atomes de ^{12}C , isotope stable, ne varie pas.

On détermine l'âge de l'échantillon en comparant son rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ à celui de l'échantillon actuel.

La très courte période du ^{14}C (5730 ans) ne permet pas d'utiliser cette méthode au-delà de 35 000 ans pour une bonne précision.

2. 1. La datation par le carbone 14 (^{14}C)

Détermination de l'âge d'un fragment de bois fossile
dont la radioactivité est de 8,56 cpm/g

L'âge de l'échantillon est calculé à partir de la mesure de sa radioactivité exprimée en coups par minutes et par gramme de carbone. (Référence: 13,56 cpm/g actuellement).

L'âge ainsi estimé doit être corrigé pour tenir compte des variations de la teneur en CO_2 de l'atmosphère.

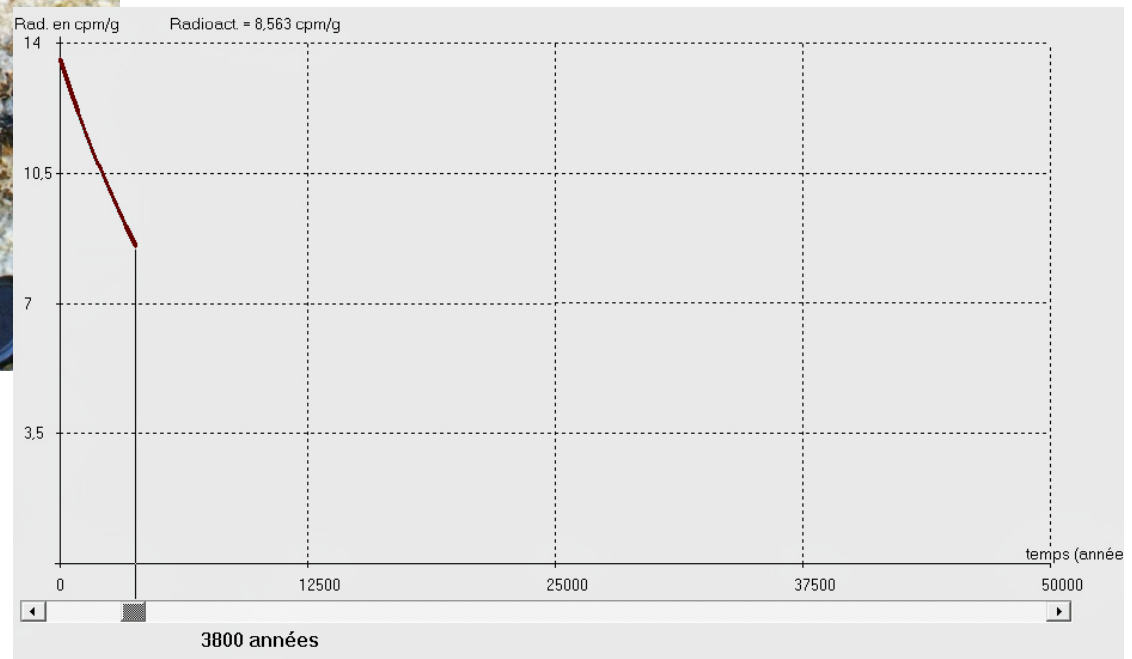


Bois carbonisé sous les produits de l'éruption du puy Chopine dans la chaîne des Puys.

2.1 La datation absolue par le carbone 14 (^{14}C)

Utilisation du logiciel « Radiochronologie »

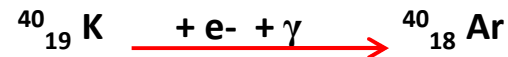
- ▶ Sélectionner successivement les menus « Datations » puis « avec le ^{14}C ».
- ▶ Constaté qu'au temps 0, la valeur de la radioactivité exprimée en coups par minute et par gramme est de 13.56 cpm/g (valeur actuelle dans l'atmosphère).
- ▶ Déplacer doucement le curseur sur l'axe des temps et contrôler la valeur de la radioactivité. Lorsque la valeur de la radioactivité atteint 8,56 cpm/g, arrêter le défilement du temps et noter l'âge exprimé en années.



2.2. La datation absolue par la méthode « Potassium/Argon »

La méthode Potassium /Argon - ^{40}K / ^{40}Ar : Un géochronomètre des temps anciens

Méthode de datation absolue basée sur la désintégration de l'isotope radioactif ^{40}K en ^{40}Ar .



Les minéraux contenant du potassium (feldspaths, micas ...) incorporent à leur formation un isotope radioactif ^{40}K , qui se désintègre en donnant un isotope stable de l'argon, ^{40}Ar . Ces minéraux ne contenant initialement pas d'argon, la totalité de ^{40}Ar provient de ^{40}K .

A la fermeture du système lors de la cristallisation, la quantité de l'isotope père, le ^{40}K , est inconnue ; la quantité de l'isotope fils, ^{40}Ar , est considérée comme négligeable.

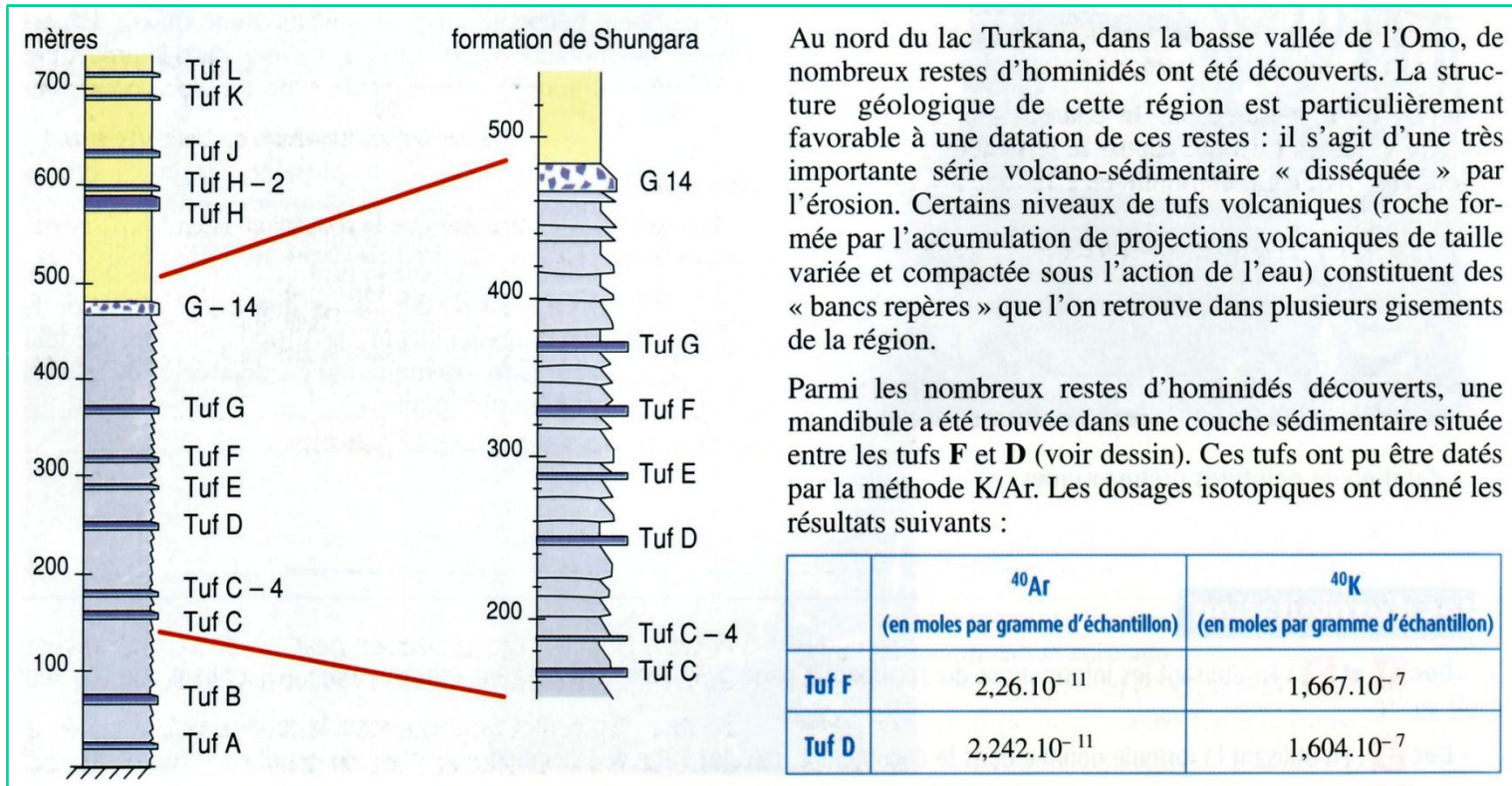
On estime le temps écoulé depuis la fermeture du système (cristallisation) en mesurant le rapport actuel $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ et en appliquant une formule mathématique.

$$t \text{ (années)} = \ln(1 + ^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}) / \lambda \text{ avec } \lambda = 5,81 \cdot 10^{-11} \cdot \text{an}^{-1}$$

La longue période de ^{40}K ($1,25 \times 10^9$ ans) permet d'utiliser cette méthode pour dater des roches âgées de quelques millions à quelques centaines de millions d'années.

2.2. La datation absolue par la méthode « Potassium/Argon »

Calcul de l'âge de fossiles d'hominidés découverts dans la vallée de l'Omo



Formule à utiliser : $t \text{ (années)} = \ln(1 + ^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}) / \lambda$ avec $\lambda = 5,81 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

Calcul de l'âge de fossiles d'hominidés découverts dans la vallée de l'Omo

	Concentration en moles par gramme d'échantillon		Calcul du rapport $^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}$
	^{40}Ar	^{40}K	
Tuf F	$2,26. 10^{-11}$	$1,667. 10^{-7}$	$1,356 10^{-4}$
Tuf D	$2,242. 10^{-11}$	$1,604. 10^{-7}$	$1,398 10^{-4}$

Application de la formule : $t \text{ (années) } = \ln (1 + ^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K}) / \lambda$ avec $\lambda = 5,81. 10^{-11}. \text{an}^{-1}$

ln : logarithme népérien – touche ln de la calculatrice

L'âge de la mandibule est compris entre les âges des tufs D et F :

Age du tuf F = **2,33 millions d'années**

Age du Tuf D = **2,41 millions d'années**

2.3.La datation par la méthode « Rubidium/Strontium »

Méthode de datation absolue basée sur la désintégration de l'isotope radioactif ^{87}Rb en ^{87}Sr .

Lors de la cristallisation d'une roche magmatique certains minéraux emprisonnent l'isotope radioactif ^{87}Rb et les éléments ^{87}Sr et ^{86}Sr .

Au départ, à la fermeture du système, le rapport $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ est le même pour tous les minéraux ; en revanche le rapport $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ est variable, les minéraux ayant emprisonnés plus ou moins de ^{87}Rb .

Le ^{87}Rb , en se désintégrant, engendre du ^{87}Sr ; en conséquence le rapport $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ augmente avec le temps et ce, d'autant plus que le minéral est plus riche à l'origine en ^{87}Rb .

Au départ, les points représentatifs des rapports $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ des différents minéraux sont situés sur une droite horizontale recoupant l'axe des ordonnées à la valeur $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ initiale.

Ensuite, la vitesse de désintégration de ^{87}Rb étant constante, tous les points représentant les rapports $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ en fonction de $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ demeurent alignés sur une droite isochrone dont le coefficient directeur augmente avec le temps.

Le coefficient directeur de la droite peut être déterminé graphiquement.

L'utilisation d'une formule mathématique permet de calculer l'âge des minéraux.

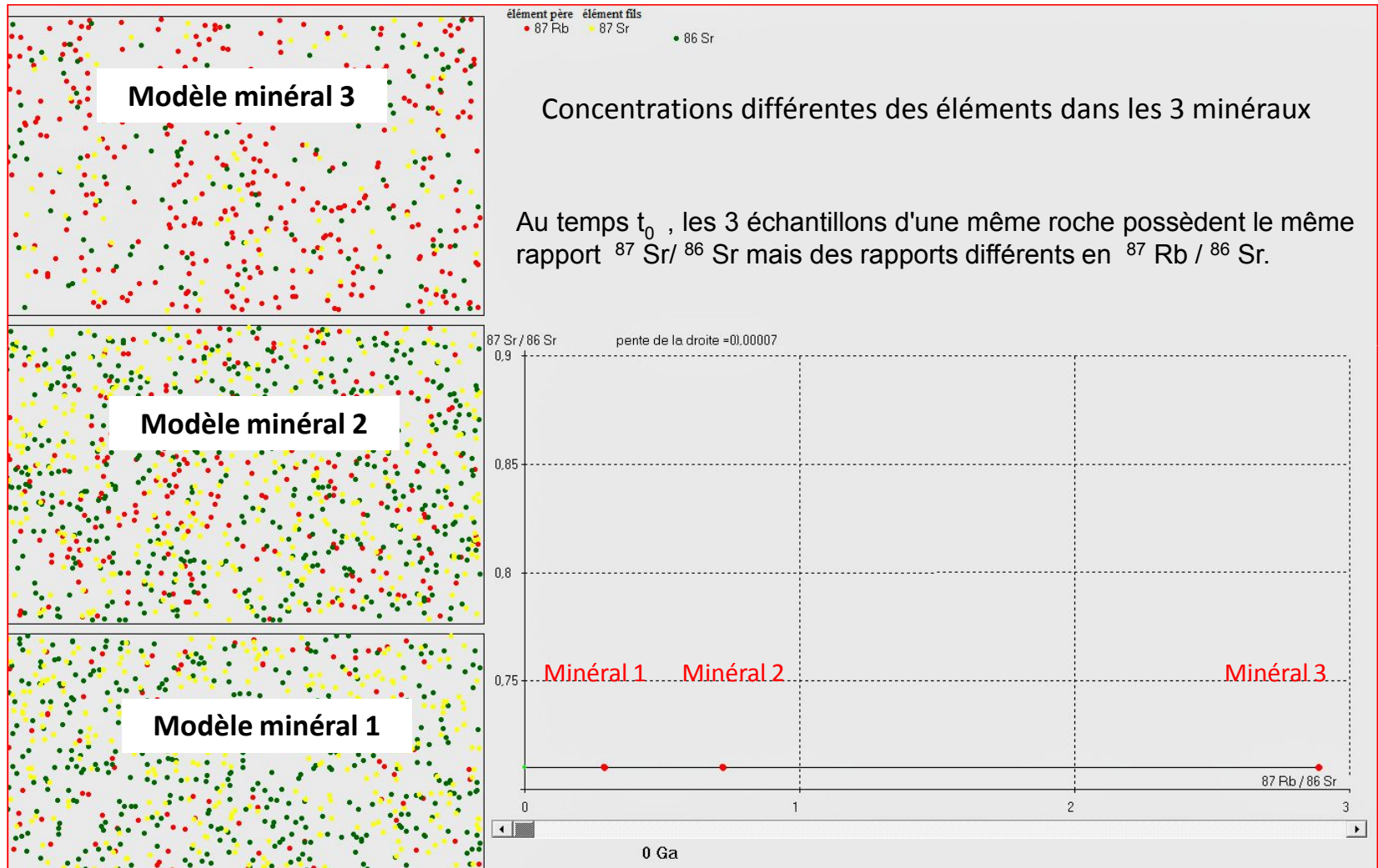
$$t = \ln(a + 1) / \lambda, \text{ avec } \lambda = 1,42. 10^{-11}. \text{an}^{-1} \text{ pour le } ^{87}\text{Rb}$$

La très longue période du ^{87}Rb ($48,8 \times 10^9$ ans) conduit à utiliser cette méthode pour dater les roches les plus anciennes.

2.3. La datation par la méthode « Rubidium/Strontium »

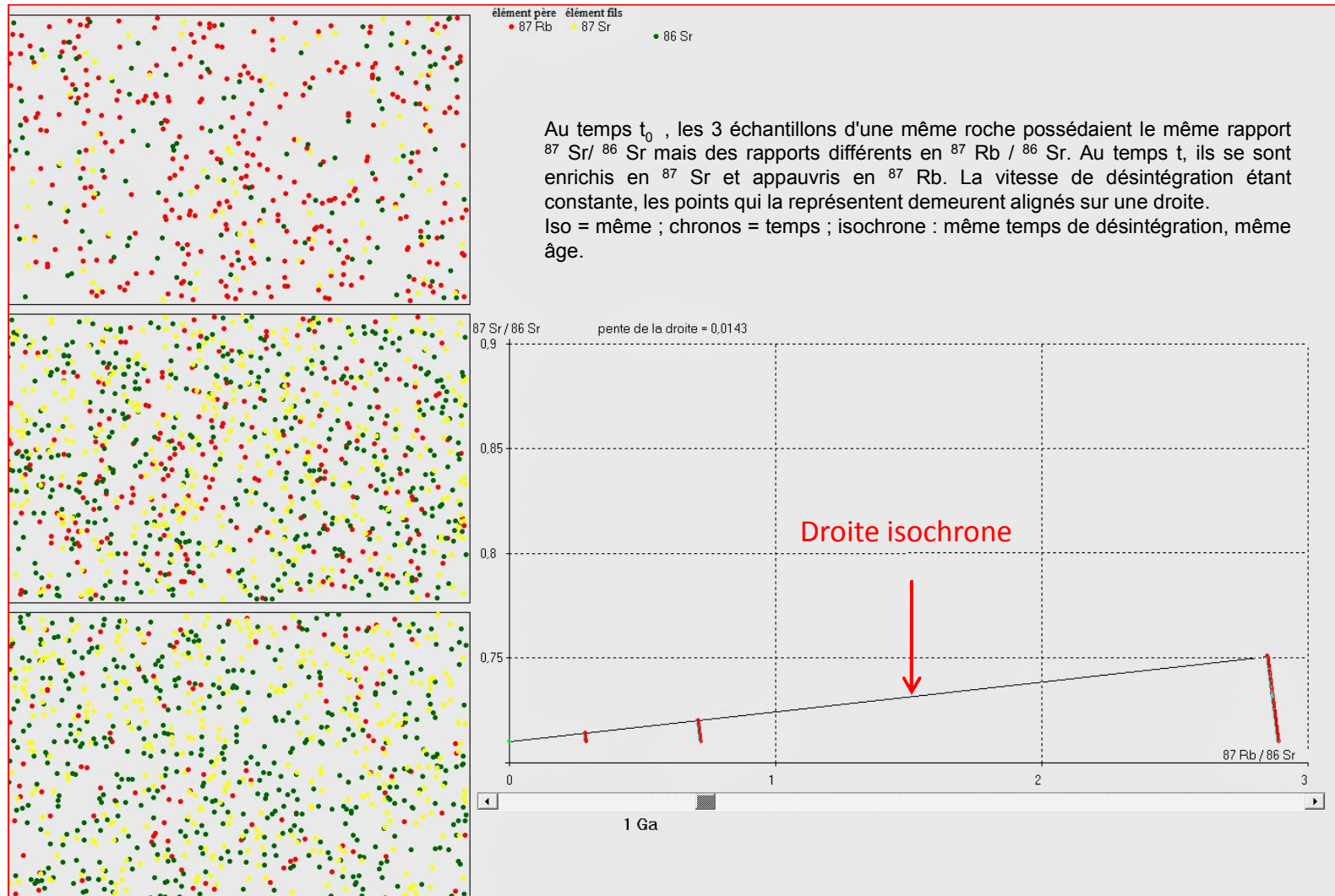
1/3. Modélisation avec le logiciel « Radiochrono »

- Sélectionner successivement les menus »Datations » et « méthode Rb – Sr » et déplacer le curseur « temps »



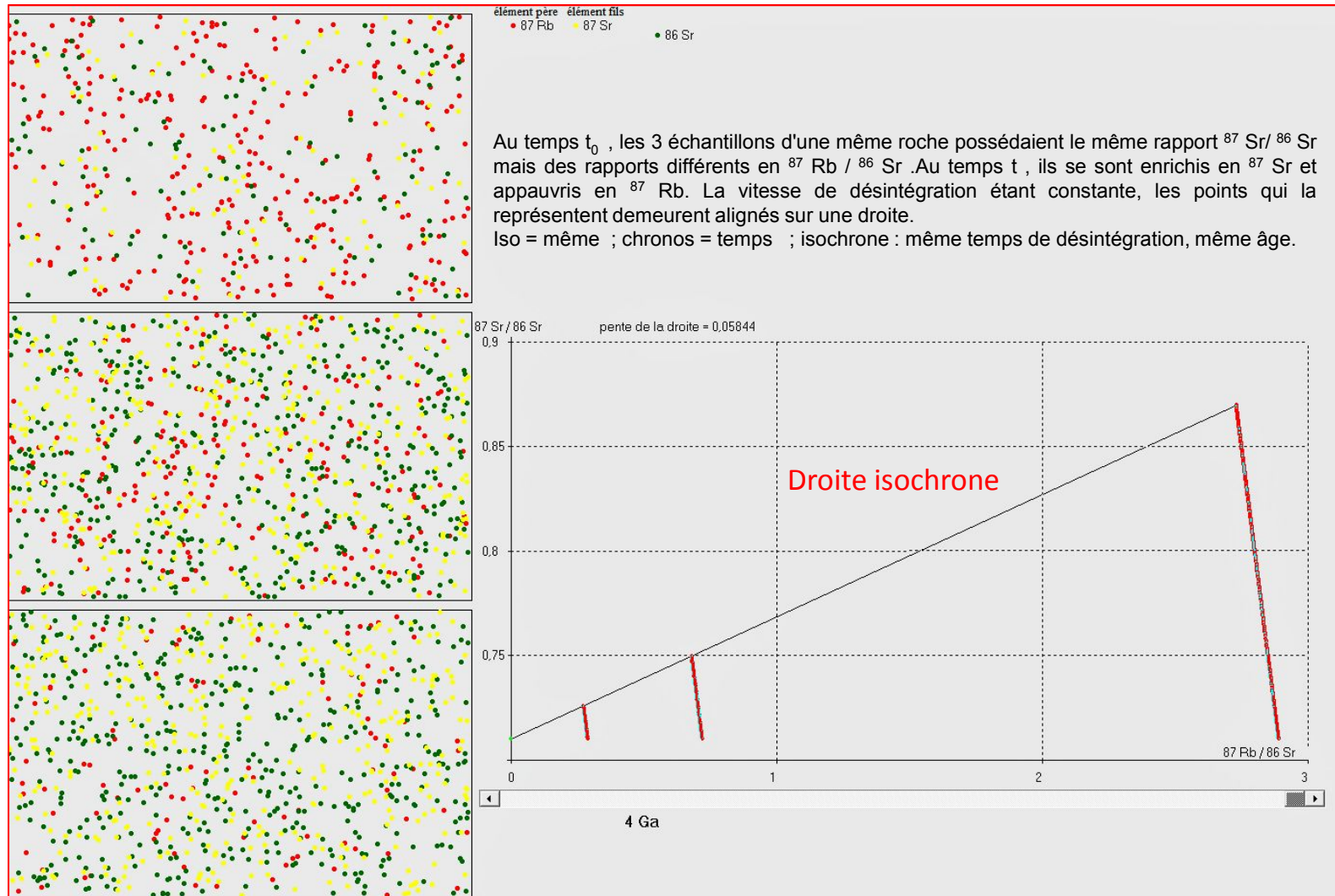
2.3. La datation par la méthode « Rubidium/Strontium »

2/3. Modélisation avec le logiciel « Radiochrono »



2.3. La datation absolue par la méthode « Rubidium/Strontium »

3/3. Modélisation avec le logiciel « Radiochrono »



2.3. La datation absolue par la méthode « Rubidium/Strontium »

Datation d'un granite hercynien

Tableau des rapports mesurés dans différents échantillons du granite

Minéraux	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	1,54	5,60	5,70	12,2	3,38	4,52	4,81	0,209	2,47	6,18	11,14
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,71290 $\pm 9.10^{-5}$	0,73247 $\pm 6.10^{-5}$	0,73247 $\pm 6.10^{-5}$	0,76367 $\pm 11.10^{-5}$	0,72289 $\pm 9.10^{-5}$	0,72666 $\pm 7.10^{-5}$	0,72782 $\pm 7.10^{-5}$	0,70664 $\pm 9.10^{-5}$	0,71671 $\pm 7.10^{-5}$	0,73408 $\pm 8.10^{-5}$	0,71099 $\pm 7.10^{-5}$

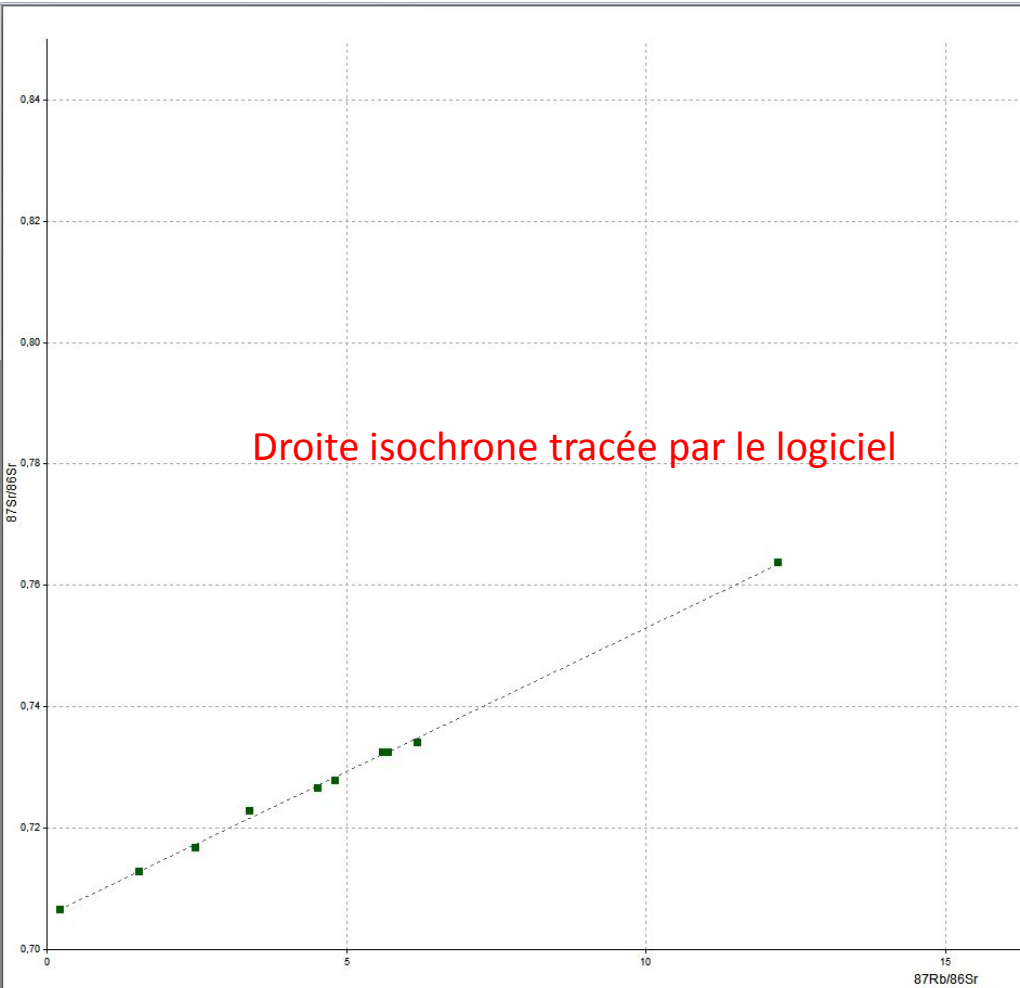
- Sélectionner successivement les menus « Datations » et « tableau Rb – Sr » .
- Entrer les valeurs du tableau ci-dessus dans le tableau du logiciel, ligne par ligne. Les points des coordonnées des différents minéraux s'affichent au fur et à mesure dans le graphique. Éliminer les valeurs d'un point non aligné.(NB : ne pas tenir compte des incertitudes $\pm$).
- Cliquer sur l'icône « ajuster la pente aux valeurs ». La droite isochrone s'affiche avec la valeur de la pente (coefficient directeur) et l'âge du granite hercynien.

2.3. La datation absolue par la méthode « Rubidium/Strontium »

Datation d'un granite hercynien

⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1.54	0.7129
5.60	0.73247
5.70	0.73247
12.2	0.76367
3.38	0.72289
4.52	0.72666
4.81	0.72782
0.209	0.70664
2.47	0.71671
6.18	0.73408

▲
Compléter le tableau



Y0 = 0.70553 Pente = 0.0047 Temps : 333,14 Ma

$t = \ln(a + 1) / \lambda$, avec $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \cdot \text{an}^{-1}$ pour le ⁸⁷Rb