

***Comprendre,
une promenade***

Jacques Treiner

LIED/PIERI

jtreiner@orange.fr

Contextes

Quand dit-on à un ami : « Je te comprends » ?

C'est avoir pu construire une **représentation mentale** de la personne qui, placée dans une situation donnée, réagit comme la « vraie » personne.

C'est, en quelque sorte, disposer d'une « théorie » de cette personne, d'une « bonne explication » de son comportement.

Cette « théorie » peut être intuitive, implicite, ou reposer sur des éléments de rationalité à des degrés divers.

Dans tous les cas, **comprendre, c'est reconstruire le réel par la pensée**

Arts et sciences

Cette **reconstruction du réel par la pensée** peut aller jusqu'à la production d'un nouvel élément de réalité : un objet technique, ou une **œuvre d'art**.

La peinture, la sculpture, mais aussi le roman, procèdent de cette dynamique. Il n'y a pas mieux qu'un roman pour en apprendre sur les grands invariants de l'espèce humaine : l'amour, la mort, le pouvoir, l'ambition, l'amitié etc.

Une œuvre d'art permet de mieux comprendre le monde des relations que nous entretenons ensemble et avec la nature, mais elle le fait en **modifiant ces relations** : l'humanité n'est pas tout à fait la même après et avant Mozart.

Arts et sciences, suite

Les sciences naturelles (y compris les mathématiques) cherchent les « **bonnes explications** » concernant les phénomènes naturels.

Ces théories sont créées – comme les œuvres d’art – mais pas selon les mêmes procédures.

| | |
|-------------------|--|
| Monde réel | « Réel pensé » reconstruit à l’aide de modèles et de théories |
| Phénomènes | Simulations |



**Est-ce que
ça colle ?**

Galaxie des souris (Chevelure de Bérénice, 290 M AL)



Quelle peut être l'origine d'une telle structure ?

Andromède (Pégaze, 2,5 M AL)



2,5 M AL, 120 km/s ... collision dans 4 Ga

Arts et sciences, suite

Une « bonne » théorie scientifique doit :

1. rendre compte d'un grand nombre de phénomènes,
2. elle doit en prévoir de nouveaux : sa « portée » est plus grande que l'ensemble des phénomènes à l'origine de sa création.
3. elle doit être difficile à modifier.

La science est **cumulative**, elle **progress**e : la physique d'aujourd'hui est meilleure que celle de Newton, elle explique plus de phénomènes (sans pour autant être achevée).



Le **progrès** est **obligatoire** en science, **facultatif** en philosophie, **inexistant** en art.

Pourquoi fait-on des maths en physique ?

Parce qu'à un certain moment de l'analyse d'un phénomène naturel, il n'y a **pas d'autre moyen** pour progresser dans la compréhension.

A ce point, les mathématiques deviennent le moyen **obligé** de la **reconstruction abstraite du réel**.

**Les mathématiques sont-elles un outil
pour la physique ?**

Non.

Les mathématiques sont **constitutives de la physique.**

Car il y a plus, dans les équations de la physique, que ce qu'on a utilisé pour les écrire.

Il y a des **cadeaux à récolter.**

Exemples.

La détermination du rayon de la Terre par Eratosthène

Le “jeu de boule” et les équations de Newton

Les ondes électromagnétiques et les équations de Maxwell

Le positron et l'équation de Dirac

Le neutrino et la conservation de l'énergie

Le chaos déterministe et les équations de Newton

**D'où vient cette « déraisonnable
efficacité des mathématiques dans les
sciences naturelles » ?**

(E. Wigner, 1948)

Nous l'ignorons...

mais cela devrait être une source de curiosité à la fois pour les mathématiques et la physique !

(et qu'en est-il de la « **déraisonnable efficacité des sciences naturelles pour les mathématiques** » ??)

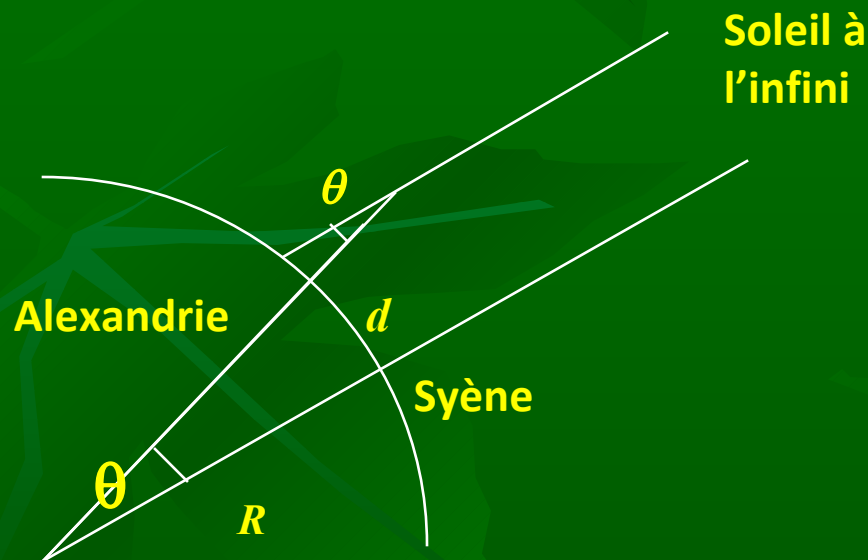
The background of the slide is a dense, layered pattern of green leaves. The leaves are in various shades of green, from a vibrant lime green to a darker forest green. They are arranged in a way that creates a sense of depth and texture, with some leaves appearing more prominent than others. The overall effect is a lush, naturalistic background.

La première détermination du rayon de la Terre



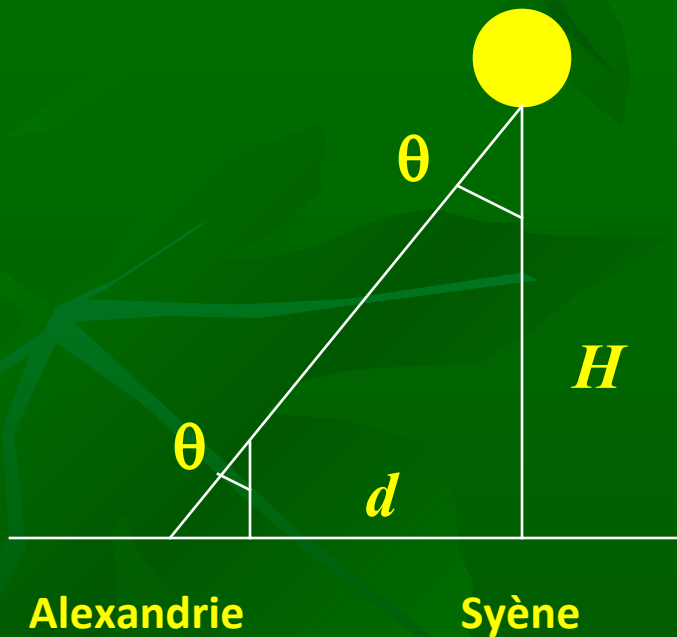
George Gamow, dans « Une étoile nommée Soleil », raconte l'histoire de la première détermination du rayon de la Terre, qui implique Anaxagore (450 BC) et Eratosthène (250 BC)

Eratosthène



$$R = d / \theta$$

Interprétation alternative (autre reconstruction mentale !):



$$H = d / \theta$$

Que conclure ?

si le Soleil est à l'infini et que la Terre est une sphère, **alors** son rayon est de 6400 km,

mais

si le Soleil est suffisamment proche, de sorte que la rotondité éventuelle de la Terre est négligeable, **alors** le Soleil et un objet de 60 km de diamètre, situé à une distance de 6400 km de la Terre.

Comment décider ?

Leçons possibles

Une observation n'apporte, par elle-même, aucune connaissance scientifique

La connaissance scientifique commence avec une représentation abstraite de ce qui est observé.

Différents aspects du même phénomène doivent en général être considérés avant de pouvoir conclure.

Un exemple de progression scientifique sur un objet de connaissance particulier

Quel est l'âge de la Terre ?



Mythes, légendes et religions

Mésopotamie

Bible

Tradition Hindoue

L'épopée d'Atrahasis

ou Poème du Supersage (1200 vers), Mésopotamie, 18^{ème} siècle AJC

traduction de Cécile Michel

A l'origine du monde, il existait deux catégories de dieux : les Anunnaku (les dirigeants) et les Igigu (les ouvriers) qui faisaient toutes les tâches difficiles (ex : creuser et entretenir les canaux indispensables à l'agriculture). Au bout de 3600 ans, les Igigu épuisés protestèrent et face à cette révolte les Anunnaku s'inquiétèrent.

Enki, le dieu de l'eau, proposa de créer des remplaçants. Il fit appel à la sage-femme des dieux, Mammi. Le dieu Wé fut sacrifié au cours d'un banquet. Sa chair et son sang furent mélangés à l'argile. Enki présenta le mélange aux grands dieux, qui crachèrent dessus pour lui donner vie et esprit. Sept hommes et sept femmes furent créés ainsi.

Les hommes créés par Enki pouvaient vivre 25.000 ans. Ils étaient prospères. Mais le bruit de leurs activités, de leurs guerres, de leurs fêtes, finit par déranger le roi des dieux Enlil. Lors du Conseil des Grands Dieux il dit : « La rumeur des humains est devenue trop forte. A cause de leur tapage continu je n'arrive plus à dormir. Nous leur avons déjà envoyé maladies, fièvres, épidémies pour les décimer, mais très vite ils se sont à nouveau multipliés. Nous leur avons envoyé sécheresse, famines et autres fléaux sans plus de résultat. A chaque fois d'ailleurs, Enki les a aidés à s'en sortir. Maintenant il faut en finir une fois pour toute et envoyer sur les hommes le Déluge afin qu'il n'en reste pas un. »



Tablette Cuneiforme de l'Atrahasis
(British Museum)

Atraharsis, suite

Enki prit la parole : « J'ai créé l'homme dans l'intérêt des dieux, ne me demandez pas d'approuver un tel cataclysme. Comment pourrais-je porter la main sur mes créatures ! »

Les dieux ayant malgré tout pris la décision finale, Enki en songe, prévint Atrahasis, le Supersage, un homme de bien qui avait toujours mérité sa confiance. Atrahasis, jette à bas ta maison, détourne-toi de tes biens pour te sauver la vie. Construit un grand bateau selon l'épure que j'ai tracée sur le sol. Cette embarcation aura forme équilatérale de 60 mètres de coté. Le bateau sera entièrement clos et toituré solidement. Que son calfatage soit épais et résistant. Tu appelleras ton vaisseau Sauve-Vie. Après y avoir chargé ton froment, tes biens, tes richesses, embarques-y ta femme, ta famille, ta parenté et tes ouvriers ainsi que des animaux sauvages, grands et petits, et des oiseaux du ciel ». Supersage n'avait que 7 jours pour construire Sauve-Vie.

Atrahasis embarque famille et animaux, invite ses gens à un banquet et ferme l'écouille. Après sept jours et sept nuits de pluie et de tempête, le bateau fait relache au sommet d'une montagne. Supersage lâcha une colombe, elle revint, ne sachant où se poser. Il lâcha une hirondelle qui revint également. Enfin il lâcha un corbeau qui ne revint pas

Atraharsis, fin

Alors Supersage lâcha tous les oiseaux. Lorsque les eaux se furent retirées du haut de la montagne, Supersage débarqua et prépara un banquet à la gloire d'Enki, le dieu ingénieux qui l'avait sauvé. L'odeur de la bonne chère attira également les grands dieux, qui, en l'absence des hommes, n'avaient ni bu ni mangé pendant tout ce temps.

Enlil voyant alors le bateau, entre en colère : « Nous les grands dieux nous avons prêté serment, d'où vient alors qu'un homme ait échappé à la destruction ? ». Enki répondit : " Oui, j'ai fait cela contre votre volonté à tous, j'ai sauvé Atrahasis. Calme-toi Enlil, si tu as pu manger et te régaler, c'est bien grâce à cet homme. Grâce à lui la race humaine peut être sauvée. Nous avons donné aux hommes presque l'immortalité, c'était inconsidéré. Toi MAMMI, qui arrête les destins, impose donc aux hommes la mort pour qu'un équilibre s'installe. ". Enlil approuva : " C'est entendu. Ce fut une erreur de vouloir les exterminer. Mais que les hommes ne vivent pas au delà de 120 années, afin qu'ils ne puissent jamais percer à jour nos connaissances. Ainsi, ils ne seront plus une menace pour nous ! Surveillons de près leur prolifération, leur prospérité et leur joie de vivre. »

Tradition biblique

1^{er} jour : séparation de la lumière et des ténèbres

2^{ème} jour : séparation des eaux d'avec les eaux par le firmament (ciel)

3^{ème} jour : séparation de la terre d'avec les mers, création des espèces de plantes

4^{ème} jour : création des étoiles, du soleil et de la lune.

5^{ème} jour : création des poissons et des oiseaux

6^{ème} jour : création des autres espèces animales, puis de l'homme et de la femme.

7^{ème} jour : contemplation de l'œuvre accomplie et repos

Tradition biblique, suite

Après la Genèse, la Bible décrit toutes les générations qui se sont succédées jusqu'aux événements pour lesquels nous avons des traces dans les récits babyloniens. Si l'on accepte quelques durées de vie exceptionnelles (969 ans pour Mathusalem, 930 ans pour Adam, 950 ans pour Noé etc.), il est donc possible de remonter aux origines.

En prenant cette chronologie comme base, différentes déterminations de l'âge de la Terre furent élaborées. Par exemple :

- **Johannes Kepler : 3993 AJC**
- **Newton : 3998 AJC**
- **James Ussher, évêque anglican : 23 octobre 4004 AJC**

Tradition hindoue

**La Terre participe à un cycle éternel de création et de destruction.
Chaque incarnation de la Terre dure un « jour de Brahma », soit
4.32 milliards d'années...**

Comment la question de l'âge de la Terre est-elle devenue une question scientifique ?

Spinoza remarque que le texte de la Bible a une histoire, et que par conséquent ce texte raconte peut-être l'histoire de ceux qui l'ont écrite ... (cf. Traité théologico-politique)

Galilée, dans une lettre à Christine de Lorraine, pose la question : que faire lorsque le texte biblique semble en contradiction avec ce que l'approche de la raison (scientifique) enseigne ?

Comme Dieu est à la fois créateur du Texte et créateur de la Nature, il ne peut exister de contradiction entre les deux. Or, nous prenons connaissance des phénomènes naturels par nos sens, notre faculté d'abstraction, les mathématiques. Le processus est (facilement) contrôlable. Par conséquent, s'il nous semble parfois qu'il y a discordance entre le Texte et l'approche par la raison, c'est que nous comprenons mal le Texte – puisque nous contrôlons la raison. Il faut donc prendre le Texte dans un sens métaphorique, et mettre notre incompréhension sur le compte du décalage historique : le Texte a été écrit à une certaine époque, pour une population déterminée.

Aujourd'hui

« La Bible dévoilée » (The Bible unearthed) de Finkelstein et Silberman (2002 en français) : ces auteurs reprennent le récit historique de la Bible à la lumière des recherches archéologiques récentes.

L'essentiel des textes bibliques est une composition de lettrés de la cour de Jérusalem. Ces histoires reflètent le contexte de renouveau spirituel et politique qui marque l'époque du roi Josias (620-609 AJC), alors que les Assyriens dominent le Proche-Orient ancien.

Digression

Qu'est-ce qu'une question scientifique ?

Combien d'anges tiennent sur une tête d'épingle ?

Proposition :

Une question est scientifique si, pour y répondre, il est nécessaire de mettre en place un **processus non verbal**

Autrement dit : **une expérience**

Recherche de **chronomètres naturels**

Tournant du 18^{ème} siècle, puis 19^{ème} siècle :

Salinité de l'eau de mer (Halley)

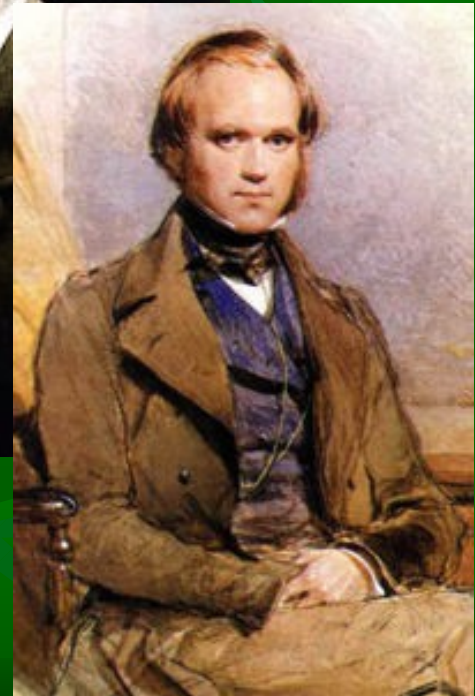
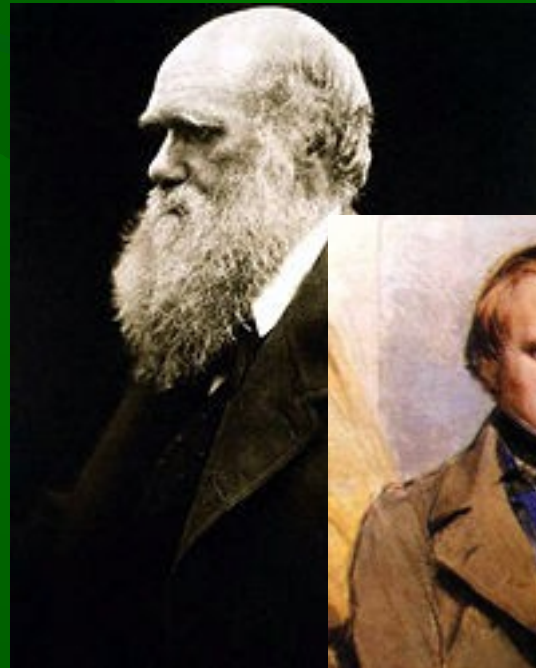
Dépôts sédimentaires (Sténon, Buffon)

**Refroidissement d'une Terre initialement chaude
(Newton, et surtout Buffon, puis Kelvin)**

Erosion (Grand Canyon)

Fossiles : quel statut leur donner ? (Leibnitz, Linné), stratigraphie

La controversie Kelvin-Darwin



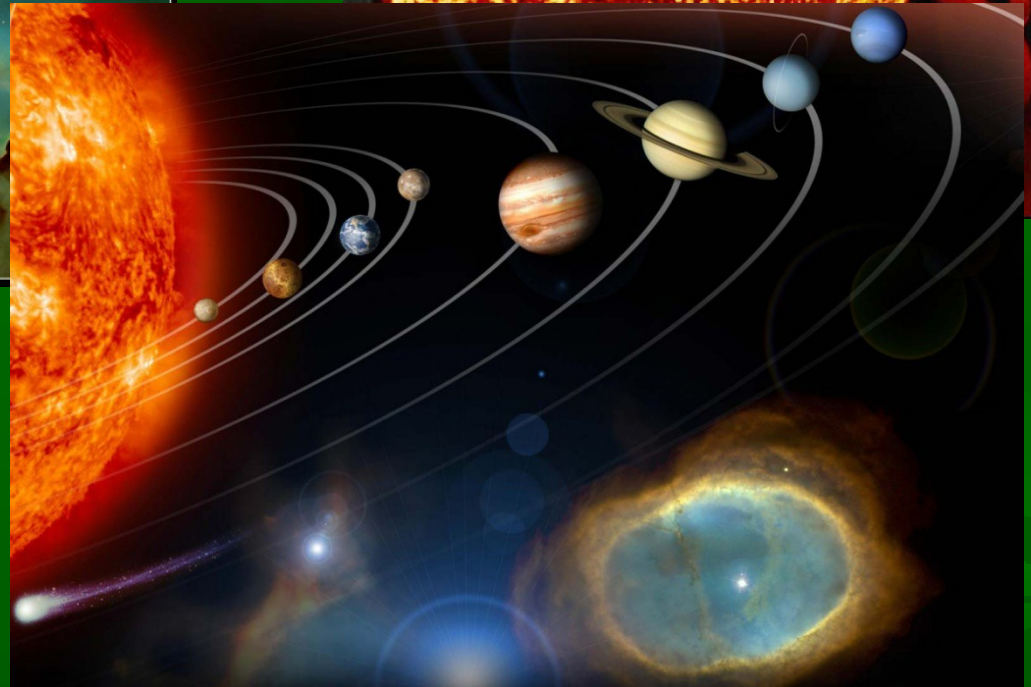
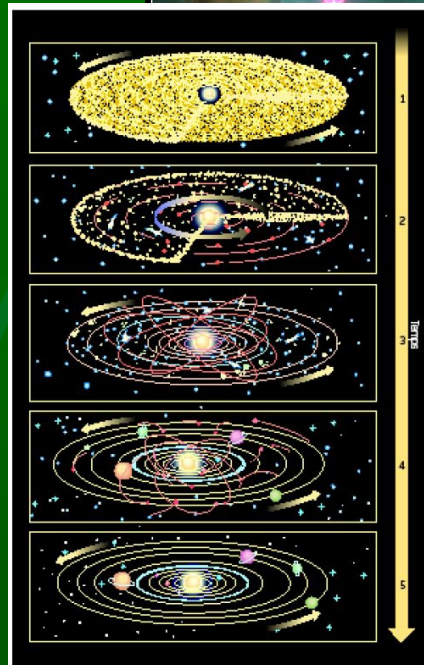
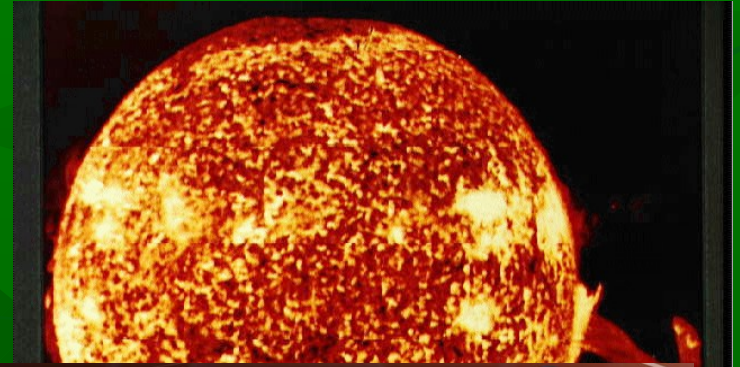
Lord Kelvin

Deux estimations qui concordent :

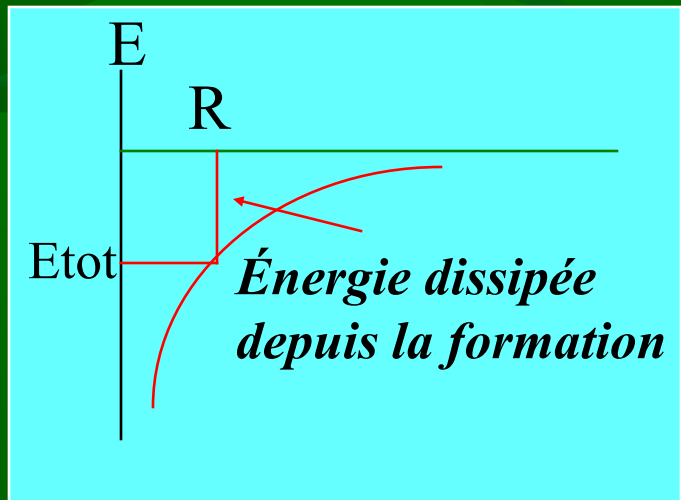
Origine de l'énergie solaire

Refroidissement d'une Terre initialement chaude

Formation du Soleil et des planètes



1. La gravitation à l'origine de l'énergie solaire



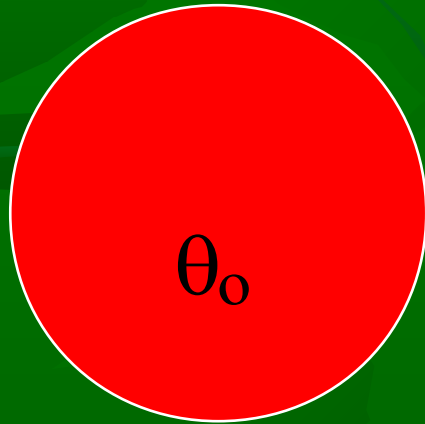
$$M = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \quad E_{\text{tot}} = 10^{41} \text{ J}$$
$$R = 700000 \text{ km}$$

$$\text{constante solaire } L = 4 \times 10^{26} \text{ W}$$

âge ≈ 10 millions d'années !

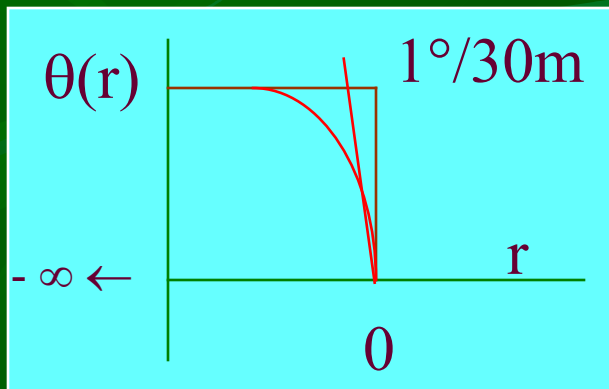
$$E_{\text{tot}} = -\frac{3}{10} G \frac{M^2}{R}$$

2. Le refroidissement de la Terre



L'âge de la Terre tient dans une formule très simple :

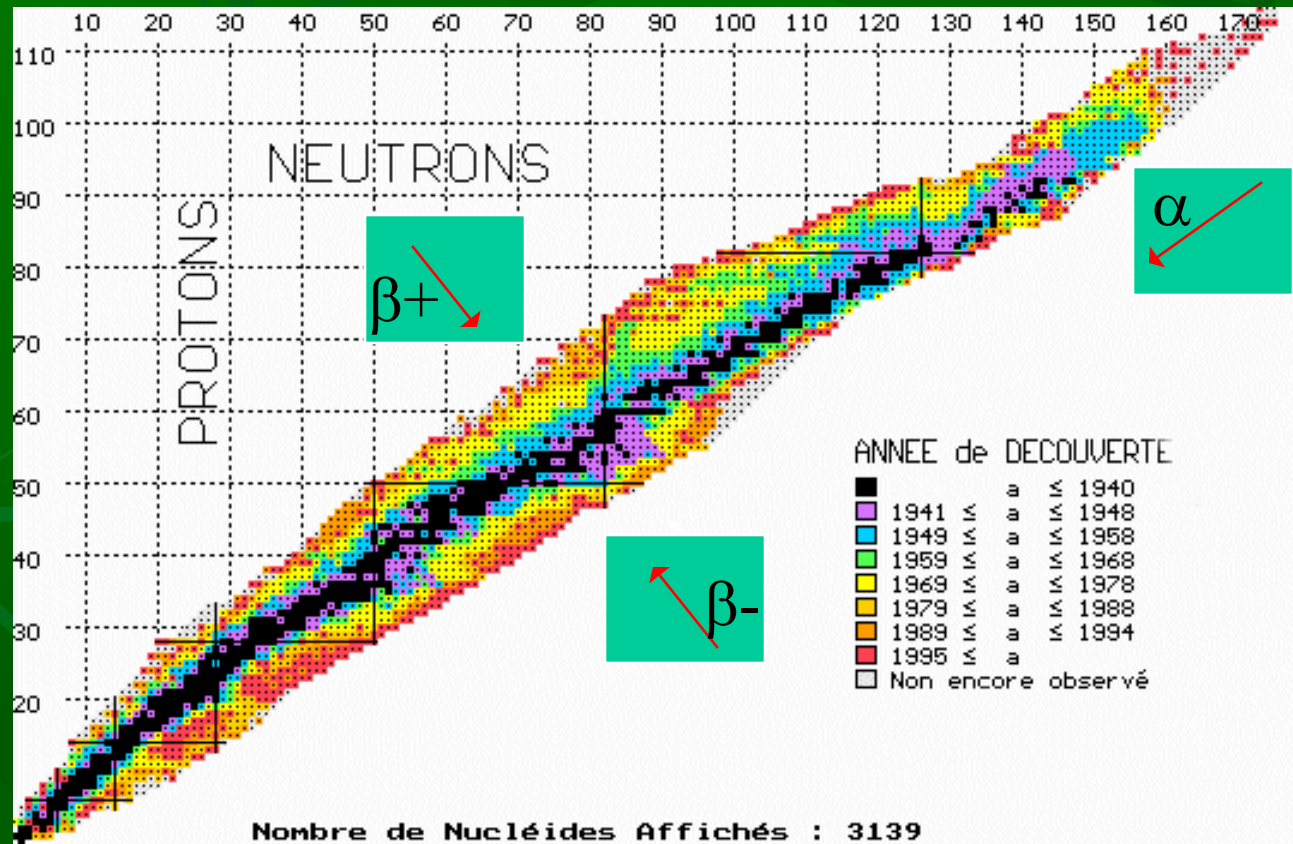
$$a = \theta_0^2 \frac{\rho C}{\pi K} \frac{1}{v^2}$$



Kelvin obtient avec cette méthode des âges compris entre 25 et 150 millions d'années

**Résolution du conflit :
découverte de la radioactivité !**

Carte des noyaux atomiques

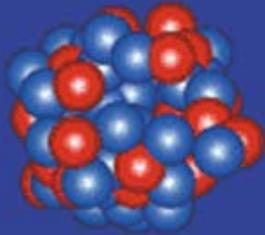


Radioactivité alpha



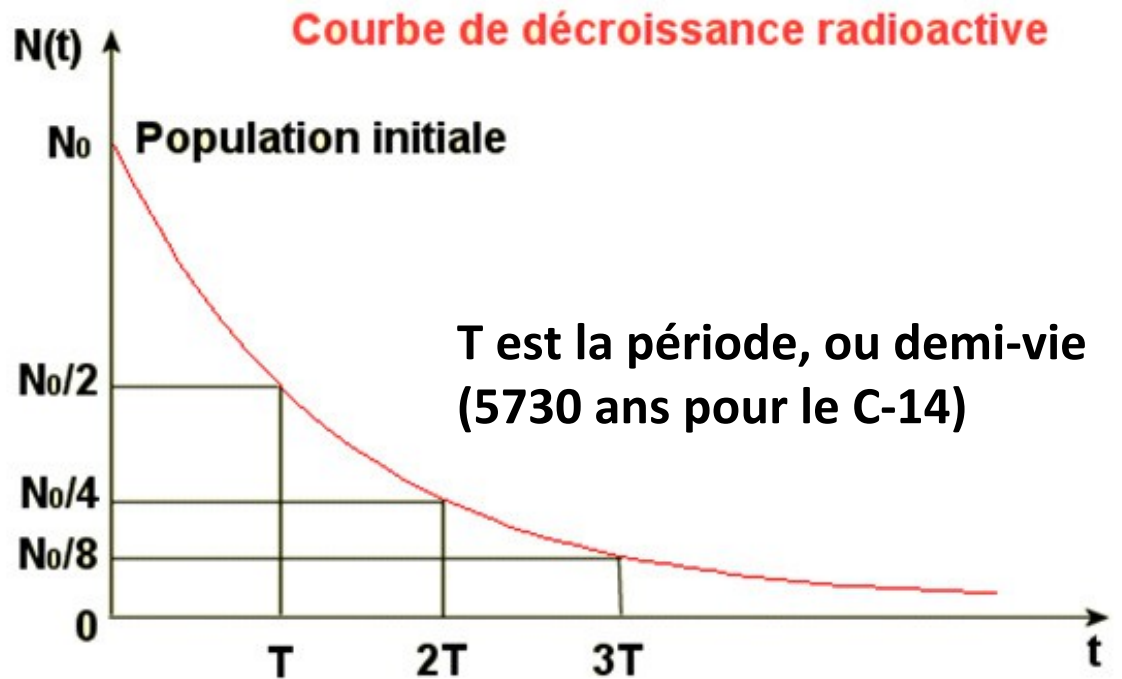
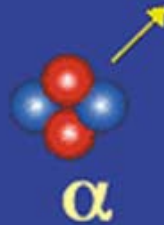
Radium 226

88 protons
138 neutrons



Radium 222

86 protons
136 neutrons



Les principaux systèmes chronométriques

| Père | Fils | Désintégration | Période (années) |
|-------------------|-------------------|----------------|------------------|
| ^{147}Sm | ^{143}Nd | α | $106 \cdot 10^9$ |
| ^{87}Rb | ^{87}Sr | β^- | $50 \cdot 10^9$ |
| ^{187}Re | ^{187}Os | β^- | $43 \cdot 10^9$ |
| ^{232}Th | ^{208}Pb | 6α | $14 \cdot 10^9$ |
| ^{238}U | ^{206}Pb | 8α | $4,5 \cdot 10^9$ |
| ^{40}K | ^{40}Ar | β^+ | $1,2 \cdot 10^9$ |
| ^{235}U | ^{207}Pb | 7α | $0,7 \cdot 10^9$ |
| ^{244}Pu | ^{240}Xe | α | $8 \cdot 10^7$ |
| ^{129}I | ^{129}Xe | β^- | $1,7 \cdot 10^7$ |
| ^{107}Pd | ^{107}Ag | β^- | $6,5 \cdot 10^6$ |
| ^{53}Mn | ^{53}Cr | β^+ | $5,3 \cdot 10^6$ |
| ^{26}Al | ^{26}Mg | β^+ | $7,4 \cdot 10^5$ |

Principe de la méthode



Prenons le couple Uranium-Plomb.

l'Uranium-235 se désintègre en Plomb-207

l'Uranium-238 se désintègre en Plomb-206

Il suffit de mesurer la quantité de Plomb pour connaître le temps écoulé.

Problèmes : on ne mesure que le temps écoulé depuis que la roche s'est solidifiée. Or, sur Terre, les matériaux peuvent être recyclés dans le magma et rejaillir. Il vaut mieux prendre des objets qui n'ont pas évolué depuis la formation du système solaire : les météorites !

Meteor crater, Arizona



Age du système solaire



4567,2 ± 0,6 MA

Qu'est-ce qui pourrait faire douter de cette valeur ?

1. Les lois de la radioactivité sont-elles bien établies ?
2. Ont-elles varié au cours du temps ?

Que retenir de cet exemple ?

La réponse à une question scientifique n'est jamais directe : elle fait appel à un ensemble de théories dont le cadre est **plus large** que la question posée.

Toutes les connaissances se tiennent : la science n'a pas réponse à tout, mais les connaissances qu'elle permet d'atteindre forment un réseau interconnecté, **difficile à modifier**.

Nos théories permettent de construire des objets techniques, et leur fonctionnement est une confirmation permanente de leur **domaine de validité**. Exemple : le GPS.

Une connaissance scientifique n'est pas une opinion. Une expérience est une question posée à la nature, et celle-ci répond dans son langage, qui est un phénomène : nous avons le choix de la question, pas de la réponse.

Et n'oubliez pas :

Comprendre,

c'est *recréer le monde par la pensée*

c'est *imaginer ce qu'on voit*