

# **Tpe :**

**L'histoire de l'étang  
de l'or et de ses  
alentours grâce au  
carbone 14 et  
d'autres types de  
datations**

Parodi Ulysse  
Messinéo Antoine  
Gagniard Guillaume

# Introduction:

L'histoire de notre région, le Languedoc Roussillon, a été reconstituée grâce à une étude des occupations anciennes et modernes. Cette étude a été réalisable grâce à de nouvelles techniques de datation (comme le carbone 14,...), tout ceci associés à une étude du terrain (formation géologique). Toute la science a donc dû se mettre en œuvre pour découvrir l'histoire de notre région et ainsi savoir d'où l'on vient.

Problème: Par quels moyens les archéologues ont-ils pu retracer l'histoire de cette région et découvrir ainsi les civilisations qui s'y sont succédées ?

# Plan :

## I) La formation géologique

- > Il y a 45 millions d'années : le plissement pyrénéen
- > Il y a 35 millions d'années : la mer Miocène
- > Il y a 6 millions d'années : la mer du Pliocène
- > Il y a environ 3 millions d'années : le Rhône et la Durance
- > D'il y a 600 00 ans jusqu'à environ 10 000 ans avant notre ère
- > Conclusion :

## II) Les civilisations anciennes et modernes

- > La découverte d'aménagements a permis la reconstitution de l'histoire
- > Quelques grandes découvertes
  1. La villa Gallo-romaine de Loupian
  2. Ambrussum
  3. La voie Domitienne

## III) La datation au carbone 14

- >Introduction :
- >Le  $^{14}\text{C}$  et les périodes récentes
- >La précision des dates  $^{14}\text{C}$  pour les temps historiques
- >D'où vient le Carbone 14 ?
- >Période de désintégration (demi-vie)
- >Courbe de décroissance exponentielle du  $^{14}\text{C}$
- >Retour à la datation
- >Les différents réservoirs de carbone sur la terre

## IV) Quelques types de datation

- > La datation relative par corrélation ou datation absolue
- > La datation U/Tho (Uranium/Thorium)
  1. La filiation radioactive de l'uranium
  2. Méthode de datation Uranium – Thorium
  3. Domaines d'application et précision de la méthode
- > La datation par modèle glaciologique
- > La datation par corrélation astronomique

**Conclusion sur le carbone 14 et les autres formes de datation :**

## V) Exercices de datation

# 1<sup>er</sup> Partie : La formation géologique des étangs de Mauguio

## Introduction :

Pour étudier l'étang de l'Or, on peut tout d'abord s'intéresser à la formation géologique de l'étang qui commence il y a environ 40 millions d'années. Cette formation se décompose selon les différentes étapes ci-dessous.

## Il y a 45 millions d'années : le plissement pyrénéen.

Environ 45 millions d'années avant notre ère, soit au milieu de l'ère tertiaire, alors que les dinosaures ont depuis longtemps disparu de la planète, la lente dérive convergente des plaques africaine et eurasienne entraîne la formation progressive d'une longue chaîne de montagnes. C'est le plissement pyrénéen. Mais cette chaîne montagneuse qui surgit peu à peu ne se limite pas comme ce nom pourrait le laisser croire aux actuelles Pyrénées, elle s'étend tout le long du Golfe du Lion. Bien que disparue sur la plus grande partie de sa longueur le long de la Méditerranée, elle subsiste de nos jours ponctuellement avec les massifs des Maures et de l'Esterel, ainsi que la Corse. Le Pic Saint Loup est aussi un des résidus des plis énormes qui se forment à cette époque dans la région.

## Il y a 35 millions d'années : la mer Miocène.

Il y a 35 millions d'années, l'activité tectonique entraîne de gigantesques effondrements, avec l'apparition d'immenses fractures telles la faille de Nîmes (au sud de l'actuelle plaine de la Vistrenque), celle des Cévennes, la vallée du Gardon... La chaîne montagneuse formée lors du plissement pyrénéen disparaît complètement entre les Pyrénées et le Massif des Maures. La mer remonte ensuite par-dessus la chaîne engloutie, il y a près de 25 millions d'années, pour s'avancer profondément entre le Massif Central et les Alpes encore en formation. Cette mer dite « Mer Miocène » recouvrait largement toute l'actuelle vallée du Rhône, jusqu'au-delà de Lyon et Genève. Toute la région restera sous les eaux pendant près de 20 millions d'années, avec seules quelques îles émergeant, comme le mont Ventoux, les sommets du Luberon et des Monts de Vaucluse.



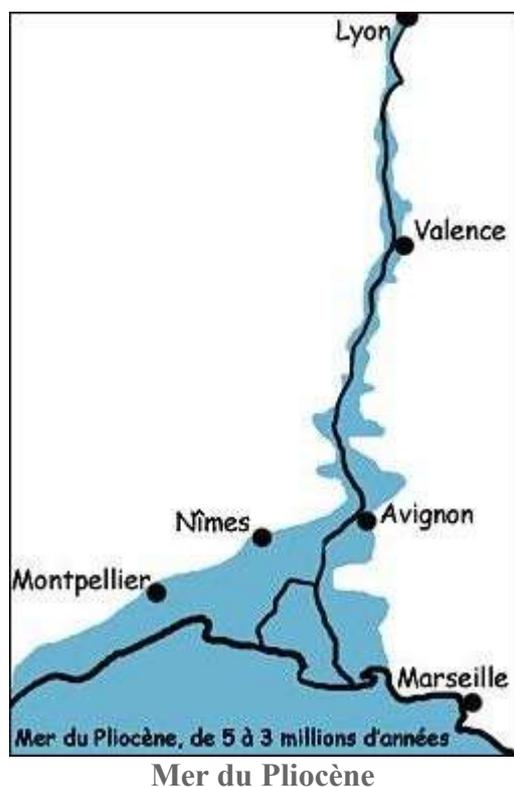
Mer Miocène

### Il y a 6 millions d'années : la mer du Pliocène.

A la fin du Miocène, vers 6 millions d'années avant notre ère, le niveau de la mer baisse fortement, et elle se retire des terres inondées. Dans la plaine qu'elle occupait, elle est remplacée par un fleuve puissant qui va creuser peu à peu entailler une vallée très profonde, formant un véritable canyon sous l'actuelle plaine du Rhône.

Vers le début du Pliocène, il y a 5 millions d'années, le niveau de la mer remonte. La « Mer du Pliocène » s'avance à nouveau dans la vallée du Rhône jusqu'au-delà de Valence, mais sur une moindre largeur. Toute la région de la Camargue est à nouveau sous l'eau, et le reste pendant 3 millions d'années. De cette période datent les grandes épaisseurs de dépôts argileux (plus de 1000 mètres par endroits) qui en forment le socle. Cette couche imperméable constitue encore de nos jours le fond des étangs d'Entressen et des Aulnes.

Il y a environ 3 millions d'années : le Rhône et la Durance.



Au début de l'ère quaternaire, un peu avant l'apparition des premiers Homo Habilis, la mer se retire, définitivement cette fois, de la vallée du Rhône. Le climat jusque-là chaud et humide se modifie profondément alors que débute une série de glaciations qui durera près de 2 millions d'années. Le niveau de la mer oscille pendant cette période d'une centaine de mètres, entre les glaciations pendant lesquelles la mer est au plus bas, et les transgressions pendant lesquelles la mer remonte avec la fonte des gigantesques glaciers. A cette époque deux grands fleuves sillonnent la plaine littorale formée des dépôts de la mer du Pliocène. Le Rhône à l'Ouest emprunte la Vistrenque, coulant d'Avignon vers l'actuel étang de Mauguio (Etang de l'Or) en passant au niveau de Bouillargues. Plus à l'Est, la Durance est à l'époque un fleuve passant sous l'extrémité est des Alpilles, au pertuis de Lamanon, et traversant la Crau pour se jeter dans la mer vers l'actuelle Camargue. Ces deux puissants fleuves déposent progressivement des tonnes de cailloux arrachés par les glaciers des Alpes, principalement pendant les deux glaciations de Riss (- 120 000 ans) et de Würm (- 70 000 ans), formant sur toute la plaine un épais poudingue,

conglomérat de galets et pierrailles liés par le tapheras, une sorte de ciment calcaire. Cette couche de galets est encore apparente de nos jours sur la Crau et au niveau de la région des Costières ; ailleurs elle est masquée par des couches sédimentaires plus récentes.

D'il y a 600 000 ans jusqu'à environ 10 000 ans avant notre ère.

Environ 600 000 ans avant notre ère, la plaine de la Camargue se déforme et s'incline légèrement, s'enfonçant vers l'Est au niveau de la zone de fracture de Fos. Cette inclinaison entraîne un déplacement progressif des cours du Rhône et de la Durance. Le Rhône qui coulait beaucoup plus à l'Ouest s'oriente vers Beaucaire et Arles, alors que la Durance se décale de la Camargue vers l'emplacement de Port Saint Louis, pour finir par se jeter dans l'Etang de Berre.

Il y a environ 10 000 ans, la Durance n'arrive plus à franchir le pertuis de Lamanon, et s'oriente vers le Nord-Ouest, contournant les Alpilles par le Nord, en direction d'Avignon où elle rejoint les eaux du Rhône dont elle devient un affluent.

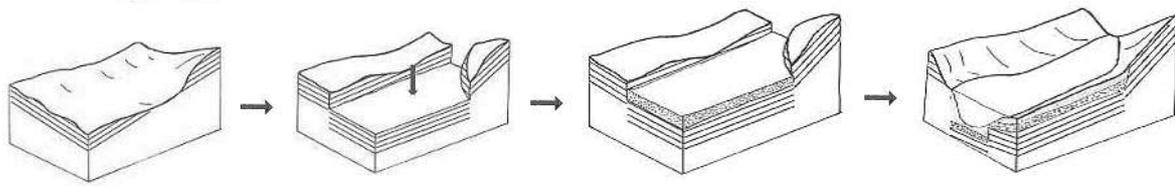
Vers la fin de la glaciation de Würm, le niveau de la mer est beaucoup plus bas que de nos jours, et le rivage camarguais se situe à environ 50 km au sud du rivage actuel. Les glaciers fondent et le niveau de la mer monte peu à peu, c'est le début de la Transgression Flandrienne, 12 000 ans avant notre ère. Le niveau se stabilise environ 5000 ans plus tard, avec un rivage au niveau du Château

d'Avignon et de l'île de Mornès, soit une dizaine de kilomètres en retrait de celui qu'on connaît aujourd'hui. Aucun changement géologique majeur n'étant survenu depuis cette stabilisation du niveau de la mer, l'extension supplémentaire du delta n'est dû uniquement aux dépôts alluviaux apportés par le Rhône.

### Conclusion :

La formation géologique des étangs de Mauguio peut se résumer en quelques étapes :

- Tout d'abord, il y a 40 Millions d'années en arrière, le plissement Pyrénéen soulève et plisse des terrains (calcaires compacts) déposés au fond des mers au Jurassique supérieur (140 millions d'années, milieu de l'Ere Secondaire). Ces terrains, érodés depuis, constituent la Montagne de la Moure, la Gardiole, le Mont Saint Clair.
- Plus tard, il y a 30 millions d'années des failles fracturent ces calcaires, façonnant en particulier ce qui va devenir le bassin de Gigean.
- Il y a 20 millions d'années, la mer envahit les dépressions ainsi formées et dépose des marnes et de nouveaux calcaires (caractérisés notamment par les fossiles d'Huîtres). D'autres dépôts suivront au Pliocène (3 millions d'années) constitués de terrains variés (calcaires, marnes, argiles, brèches) rouges ou blancs.
- A l'Ere Quaternaire, pendant l'époque post-tyrrhénienne (80 000 ans), l'Europe est plus marquée par une glaciation (Wurm). Une partie des eaux est figée sur les continents. Le niveau de la mer est de 20 à 30 m plus bas que le niveau actuel. De nouvelles failles interviennent en bordure Nord du bassin. Des zones s'affaissent en même temps que les ruisseaux creusent de petites vallées.
- En fin, il y a 15 000 à 18 000 ans, une nouvelle transgression (remontée du niveau de la mer et envahissement de certaines zones) se produit quand les glaces fondent en Europe. La cuvette formée par les précédents jeux de faille est inondée. Les courants marins, buttant sur les obstacles du Mont Saint Clair et du volcan d'Agde, déposent des sables qui petit à petit vont émerger et constituer le lido, isolant l'Etang de la mer.



## 2ème Partie : Les Civilisations du Languedoc Roussillon

La découverte d'aménagements a permis la reconstitution de l'histoire :

De tout temps et dans bien des régions ou pays, l'histoire des rivages ne peut être comprise sans un minimum de repères chronologiques. Le Languedoc-Roussillon et ses lagunes qui en font sa spécificité, n'échappent pas à cette règle comme nous pouvons le voir à travers l'exemple de la lagune de Salses-Leucate. De par sa situation géographique, au pied du massif des Corbières, parallèle au rivage, la lagune de Salses-Leucate a de tout temps représenté un obstacle pour le voyageur terrestre qui venait de la péninsule ibérique ou s'y rendait. De même que dans l'antiquité les rivages de la lagune de Bages-Sigean s'étendaient bien au-delà des limites que nous lui connaissons aujourd'hui, formant une vaste baie bien connue des navigateurs de l'époque, on peut imaginer que le lido actuel était également plus réduit. Ainsi l'accès par la mer devait en être facilité, faisant de cette lagune de Salses-Leucate, un abri pour le cabotage.

>Comme le reste de la Gaule, les rives de la Méditerranée occidentale vont connaître durant plusieurs siècles une certaine prospérité et un développement important connus sous le nom de "paix romaine". Il semble que toute cette partie nord-ouest de la lagune, y compris "les Cabanes de Fitou", ait donc été aménagée pour servir de port et y construire des navires, les forêts des Corbières fournissant la matière première. Salses est mentionné dans la plupart des itinéraires antiques et les romains y construiront un petit fort militaire à l'angulation de la *Via Domitia* qui sort des Corbières, avant de traverser la plaine du Roussillon. De même, les rivages de Leucate sont décrits sans jamais mentionner de centres d'habitation. Il semble que les premières agglomérations de Salses et Leucate ne soient pas apparues avant le XIIIème siècle.

>Au Vème siècle la fin de l'empire romain entraîne l'invasion des peuples germaniques, c'est le royaume Wisigoths. Au VIIIème siècle envahissement du Languedoc Roussillon par les Sarrasins. Du IX au Xème siècle des incursions normandes dévastent la région. Au XIIIème siècle la construction du fort Leucate montre le point stratégique de la région. Au XIVème siècle les corsaires catalans, maroquins et génois fréquentent cette côte ce qui la rend moins sûre. Les berges de l'Agly sont aménagées afin de protéger des inondations et contenir les eaux, un canal de dérivation est creusé afin de diriger l'excédent des eaux de la rivière vers la lagune de Salses-Leucate (Conill, 1933). La construction du fort de Salses commencera un siècle après et se finira

seulement au XVIème siècle. Après pratiquement deux siècles de guerre, la signature de la paix des Pyrénées rendant inutile ces places fortes, Louis XIV fit raser le fort de Leucate. A cette époque, une amorce de cordon littoral s'est édifiée et laisse apparaître sur les cartes l'actuelle chaîne des lagunes. A l'Ouest d'Agde, les baies se sont fermées. Au XIIIème siècle Fitou semble prospère exportant laine, huile d'olive, poterie et bois. Ce n'est qu'après la révolution que l'on pris conscience de la déforestation et qu'un décret interdit d'exporter du bois (revue "Lac Marin"). Les premiers paysages de garrigue apparaissent.

>En 1858 la première voie ferrée du Languedoc Roussillon est crée : Narbonne-Perpignan. Lenthalic (1876), dans son ouvrage sur les villes mortes du Golfe du Lion, nous fournit une description de Salses-Leucate et de ses environs à la fin du XIXème s. On y apprend ainsi que le grau de Leucate n'est pas permanent et que la lagune est partiellement isolée de la Méditerranée. Ceci est confirmé par Gourret (1897) qui signale le fonctionnement intermittent du grau, ouvert généralement de novembre/décembre à février/mars par les tempêtes ou les fortes pluies. De 1910 à 1920 quelques travaux pour endiguer le grau de Leucate sont effectués, mais l'ensablement reste quand même très important. Durant la 2ème guerre mondiale l'armée allemande détruit le pont de bois du grau Saint-Ange et entreprend le creusement d'un chenal afin de relier la partie sud de la lagune à la mer. Ces travaux ne seront pas achevés à cette époque. En février 1960 les travaux d'aménagement du grau de Leucate sont terminés : creusement du chenal, stabilisation des berges, installation de portes mobiles pour empêcher la fuite des poissons lors des migrations automnales. C'est à partir de cette date que les échanges avec la mer deviennent permanents. Toutefois les débits demeurent faibles et en 1961, l'ensablement côté lagune est tel qu'une barque de pêcheur peut difficilement y trouver un passage. La partie nord de la lagune (Leucate) a pris un caractère marin tandis que la partie sud (Salses) conserve ses caractéristiques de plan d'eau fermé aux influences marines.

>Grâce à la découverte de ses grands aménagements les archéologues par la datation (comme le carbone 14) ont pu reconstitué l'histoire de nos lagunes

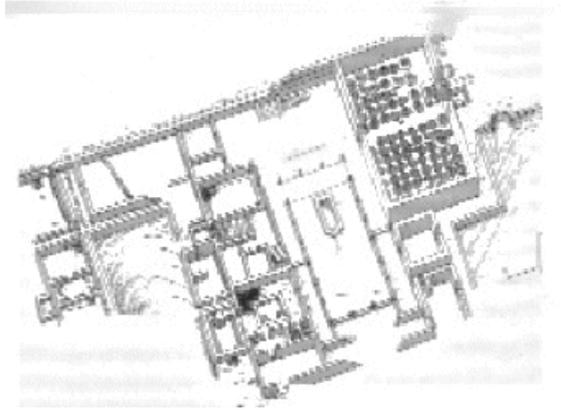
Quelques grandes découvertes :

### **1. La villa Gallo-romaine de Loupian :**

Près du village de Loupian, en bordure du bassin de Thau, entre Montpellier et Béziers, le long de la via Domitia, cette Villa Gallo-romaine dévoile près de 6 siècles d'histoire.

Trente années de fouilles ont permis de connaître les différentes étapes d'une très longue durée d'occupation (1er siècle avant J.C.- VI ème siècle après).

Le plan de la villa des Ier – II ème siècles :

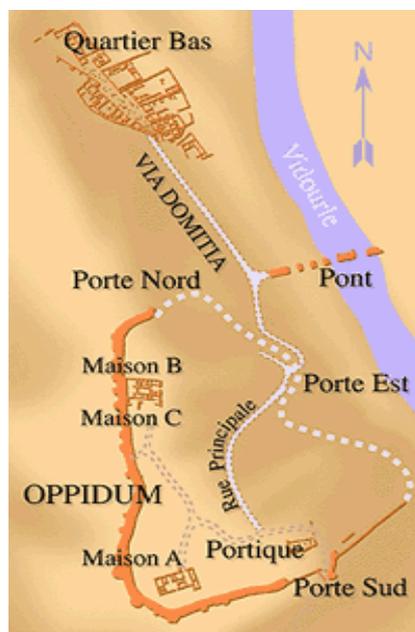


Les fouilles ont permis de découvrir des mosaïques très bien conservées et donc d'aider pour comprendre les activités des romains dans notre région. La découverte de cette villa a donc permis de mieux comprendre le style de vie des romains dans notre région.

## 2. Ambrussum :

Ce site est situé près de Lunel mais aussi sur la voie Domitienne, près du Vidourle car Ambrussum était un village du temps des romains. Ce site est célèbre aussi pour son pont qui enjambait le Vidourle.

Plan de ce site exceptionnel :



Les fouilles ont donc permis de découvrir ce village qui a dévoilé les vestiges romains. Le Pont Ambroix permettait à la voie Domitienne de franchir le Vidourle.

Photo du reste du pont :

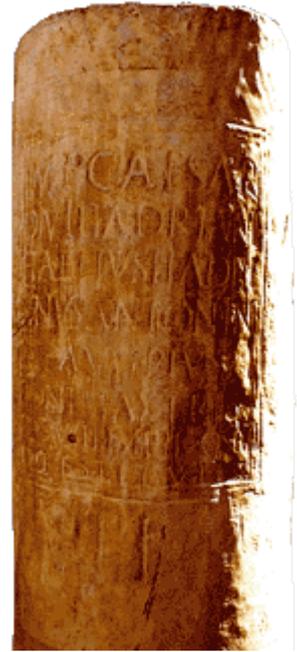


La découverte de ce site est elle aussi très importante pour les archéologues de notre région.

### 3. La voie Domitienne :

Pour relier tous ces sites les romains ont construit la voie Domitienne qui est la plus ancienne route construite par les Romains en Gaule et même en dehors de l'Italie.





Borne milliaire sont placée tous les milles (1500 m.) le long de la voie.

Tout ceci montre l'importance de la région pour les romains et leur envie d'asseoir leur pouvoir au sein de l'Europe.

Toutes ces fouilles ont permis l'élaboration de l'histoire de notre région grâce à des types de datation comme le carbone 14 ou encore tout ce que l'on a vu précédemment. Les archéologues ont du reconstituer un puzzle qui est l'histoire de notre région.

## 3ème partie : La datation au carbone 14

### Introduction :

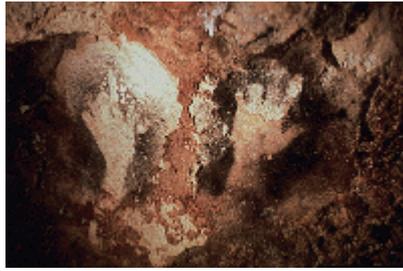
La découverte de la radioactivité naturelle a marqué un considérable progrès pour l'étude de la Préhistoire. Mais chaque isotope radioactif ne pourra être utilisé que dans une plage de temps bien définie, essentiellement en fonction de sa période de demi-vie et de sa concentration initiale.

Le radiocarbone ou  $^{14}\text{C}$ , est l'un de ces éléments radioactifs. Bien, qu'il ne soit qu'en faible teneur dans la nature, sa découverte a été déterminante pour l'étude de des éléments radioactifs.

Cet isotope du carbone fut découvert presque fortuitement en 1934 lorsqu'un physicien Américain, F.N.F. Kurie, exposa de l'azote à un flux de neutrons.

La véritable découverte du radiocarbone naturel, date de 1946, lorsque Willard Franck Libby établit les bases théoriques et pratiques de son utilisation en vue de datations en Archéologie.

Les premiers résultats de Libby 1950, mirent en évidence toutes les possibilités de la nouvelle méthode de datation.



La méthode de datation par le carbone 14 et sa technique de comptage que l'on utilise dans les laboratoires, permettent de remonter le temps, ou encore de dater le passé jusqu'aux environs de 45 000 ans avant Jésus-Christ.

### Le $^{14}\text{C}$ et les périodes récentes

On associe souvent le Carbone 14 à la datation des périodes préhistoriques (Néolithique ou Paléolithique). Pourtant la méthode de datation est maintenant utilisée avec succès pour les périodes les plus récentes, en particulier du I<sup>er</sup> siècle Avant J.C. au XV<sup>ème</sup> siècle Après J.C.

On pense aussi souvent que les datations Carbone 14 ont une incertitude de plusieurs siècles incompatible avec l'étude des temps historiques où les exigences en matière de chronologie sont souvent bien plus grandes. Pourtant on obtient maintenant des intervalles de dates qui ne couvrent que 150 ou 200 ans, ce qui est souvent déjà une bonne approximation dans des sites ou des parties de sites peu connus.



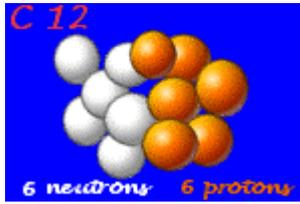
### La précision des dates $^{14}\text{C}$ pour les temps historiques

Depuis une dizaine d'années le nombre de sites médiévaux où des datations radiocarbone ont été effectuées ne cesse d'augmenter :

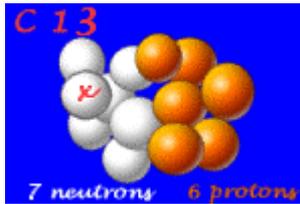
- Ce sont : des nécropoles étendues : Tours,
- des ensembles de tombes superposées : Larina, Digne Notre Dame du Bourg ,
- des tombes isolées : La Canourgue, Auxerre Saint Germain,
- des bois d'embarcation : Noyen Sur Seine, Lyon-Tolozan,
- des structures de bâtiment en site urbain : Lyon, Toulouse,
- des bois de construction d'édifice : Embrun, Grenoble,
- des fours à chaux ou à cloche : Lyon-Tolozan,...
- des ateliers de monnaies : Sées.

Tous les objets archéologiques datés dans ces sites avaient comme point commun au moment de la fouille, une grande imprécision sur l'âge qu'on pouvait leur attribuer : la datation  $^{14}\text{C}$  a ainsi contribué à préciser la datation et l'interprétation de ces sites parfois complexes.

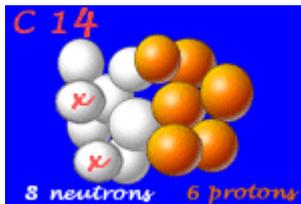
## D'où vient le Carbone 14 ?



Quand on parle du carbone, on pense a priori au Carbone 12, le plus courant, qui est constitué de 6 électrons tournant autour d'un noyau de 6 neutrons et 6 protons (6+6=12 éléments dans son noyau d'où le nom de carbone 12).



Mais, il existe deux autres "formes" de Carbone, que l'on appelle ses isotopes : le Carbone 13 et le Carbone 14. Chacun de ces isotopes comporte 6 protons dans son noyau (sinon, ce ne serait plus du carbone...) mais le Carbone 13 a 7 neutrons et le Carbone 14 en a 8. Chacun a aussi 6 électrons, mais ce n'est pas ce qui importe ici.



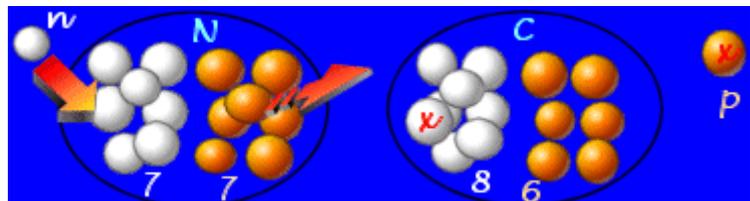
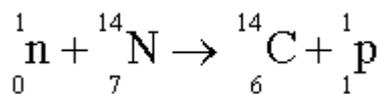
Dans la nature, on trouve 98,89% de Carbone 12, 1,1% de Carbone 13 et  $1,2 \cdot 10^{-12}$  % de carbone 14.

Une partie des neutrons créés dans l'atmosphère par les rayons cosmiques interagissent avec l'azote pour former un isotope radioactif du carbone selon la réaction:

$^{14}\text{N}_{(n,p)}\text{ }^{14}\text{C}$  Réaction mise en évidence par LIBBY en 1946.

Les protons cosmiques d'origine galactique sont plus ou moins déviés par le champ magnétique terrestre. Ceux qui pénètrent dans l'atmosphère donnent naissance à des neutrons sur les molécules d'oxygène et d'azote de l'air. Après leur production, ces neutrons entrent en collision avec les molécules de l'air; à la suite de nombreux chocs, ils sont ralentis et atteignent peu à peu l'énergie thermique des gaz. Ils donnent alors, avec une probabilité quasi- totale, du carbone 14 sur l'azote de l'air. La réaction est la suivante:

$^{14}_6\text{C} \rightarrow \beta^- + ^{14}_7\text{N}$



Le carbone 14 formé s'oxyde rapidement, et donne une molécule de  $^{14}\text{CO}_2$  qui se disperse et marque de façon uniforme par sa radioactivité le gaz carbonique atmosphérique.

Le taux de production du carbone 14 n'est pas constant, ces variations sont difficiles à observer parce qu'elles ne produisent pas un changement très sensible dans la concentration du  $^{14}\text{C}$  atmosphérique.

Houtermans (1966) a montré en effet qu'une variation périodique de 10 ans dans la production du  $^{14}\text{C}$  était atténuée d'un facteur 100. C'est bien ce qui a été trouvé en mesurant l'activité du bois prélevé dans les couches annuelles d'arbres. L'activité du carbone varie pendant un cycle solaire de 1 à 2 pour mille.

Ce carbone est rapidement oxydé pour donner du gaz carbonique (ex : absorbé par les plantes au cours de la photosynthèse). Le bois vivant contient donc toujours une certaine proportion de carbone 14, et on a constaté que cette quantité était constante dans le monde, chaque gramme de carbone contenant suffisamment d'isotopes  $^{14}\text{C}$  pour qu'un détecteur enregistre 13.6 désintégrations par minute et par gramme de carbone (DPM/g).

Par exemple, lorsqu'un arbre est abattu, le bois cesse de vivre, le processus de photosynthèse s'arrête, et il n'y a plus absorption de gaz carbonique.

L'isotope  $^{14}\text{C}$  est alors libre de se désintégrer sans compensation, selon la réaction suivante :

Le carbone 14 est émetteur radioactif  $\beta^-$

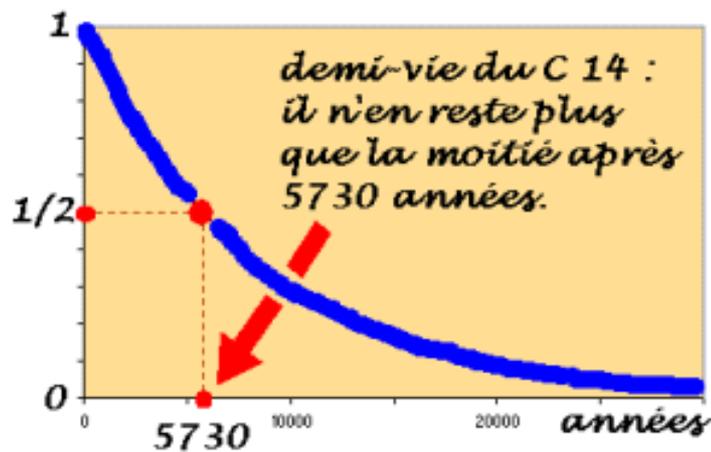


#### Période de désintégration (demi-vie) :

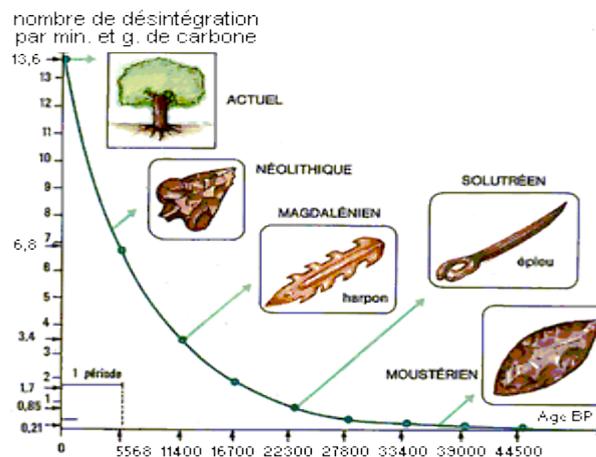
Elle est théoriquement de 5730 ans, valeur adoptée dès 1951 et qui continue d'être utilisée pour le calcul des âges.

Comme tous les noyaux trop riches en neutrons, il est ce qu'on appelle "radioactif Bêta moins". Cela veut dire que, dans le noyau, l'un des neutrons se transforme en proton, en produisant un électron et un neutrino. Ce nouvel électron est éjecté du noyau, accompagné du neutrino qui emmène avec lui l'excédent d'énergie que cette réaction a produite.

Cela se passe lentement : en 5730 ans, la moitié des atomes de Carbone 14 sont redevenus des atomes de Carbone 12. Mais de façon tout à fait régulière, selon la courbe décroissante appelée exponentielle représentée ici en bleu.



Courbe de décroissance exponentielle du 14C



Cette méthode de datation par le carbone 14 a été appliquée, par exemple à du bois prélevé dans des tombes égyptiennes que les archéologues estimaient vieilles de 4600 ans. On a obtenu un taux de comptage correspondant à un âge de 4500 ans, ce qui était une confirmation frappante du raisonnement des archéologues.

Formation et désintégration du carbone 14 se produisent simultanément et se conjuguent pour arriver à un équilibre radioactif qui maintient constantes la composition isotopique et l'activité spécifique du carbone atmosphérique. Donc cette activité naturelle est très faible.

### Retour à la datation

Tout être vivant comporte une certaine quantité d'atomes de carbone 14, qui se désintègrent lentement pour redevenir du Carbone 12. Mais, tant que l'organisme vivant reste vivant, il renouvelle son stock de Carbone 14 puisqu'il mange et respire ... Si bien que tout être vivant (humain, animal ou végétal) contient une proportion relativement constante de Carbone 14 (un

millionième de l'ensemble de ses atomes de carbone). Mais, cette proportion diminue inexorablement après sa mort puisqu'il n'y a plus d'apport en carbone 14. En mesurant la proportion de Carbone 14 restant dans un organisme mort, on peut déterminer depuis quand il a cessé de vivre. La mesure se fait soit avec un appareil sensible à la radioactivité bêta (on compte les "coups par minute" produit par un échantillon du fossile à dater), soit avec un « spectrographe de masse » couplé à un accélérateur de particules (un appareillage sensible à la différence de masse des atomes de carbone 14 et de carbone 12 qui a l'avantage d'être plus sensible et de pouvoir travailler sur de très petits échantillons de quelques milligrammes).

#### Les différents réservoirs de carbone sur la terre :

Parmi les éléments présents à la surface de la terre, le carbone est l'un des plus importants. Il est très diversement réparti :

- sous forme de gaz carbonique dans l'atmosphère,
- sous forme de composés organiques dans la biosphère terrestre et marine,
- sous forme de gaz carbonique, de bicarbonates dissous et de carbonates dans les océans.

Des échanges constants de carbone se produisent dans ce système qui constitue le système échangeable.

Le carbone est beaucoup plus abondant dans le système sédimentaire constitué par les roches sédimentaires calcaires, les sédiments marins, les charbons et le pétrole. Dans les roches de formation très ancienne, le carbone est totalement dépourvu de  $^{14}\text{C}$  (exemple donné pour quelques millions d'années).

Les différents réservoirs sont en équilibre réciproque vis à vis de la teneur en  $^{14}\text{C}$  qui est elle-même homogène dans chacun d'entre eux est considérée comme constante car l'équilibre radioactif est atteint (taux de production = taux de désintégration).

L'équilibre est rompu lorsque cesse l'interconnexion de l'un des réservoirs et seule la décroissance radioactive se produit dans le réservoir isolé.

Il est donc possible de connaître le moment où le réservoir a été isolé, donc de dater cet événement, à condition que l'échantillon n'ait pas à nouveau participé ultérieurement d'une façon quelconque au cycle du carbone. A la surface des océans la plus grande partie du carbone présente dans l'air s'échange avec celui dissous dans les eaux marines et entre dans la constitution des organismes marins; l'autre partie, par la photosynthèse, constitue les cellules de tous les organismes terrestres.

# 4ème Partie : Les différents types de datations

## La datation relative par corrélation ou datation absolue :

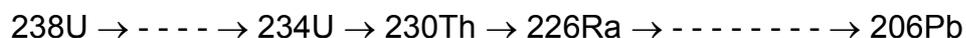
Il existe deux types de datation en archéologie et en géologie: l'une est fondée sur la chronologie relative, l'autre sur la chronologie absolue. La première fait le lien entre des objets archéologiques ou des structures géologiques de façon à les classer par ordre chronologique. Cette méthode permet d'affirmer qu'un objet est plus ancien qu'un autre, sans pouvoir définir l'intervalle de temps qui les sépare. La chronologie absolue, elle, détermine l'âge de l'objet archéologique ou de la roche en années. L'établissement d'une chronologie relative à partir des datations croisées est très aléatoire. La géochronologie marque le premier pas vers une chronologie absolue avec les travaux du baron Gerhard De Geer, géologue et archéologue suédois: il compta les couches de sédimentation, ou varves, déposées annuellement par la fonte des glaciers (il put ainsi remonter jusqu'à 18 000 ans). La dendrochronologie, ou calcul de l'âge des arbres en comptant leurs cernes, permet également de réaliser des datations absolues. Mais c'est surtout grâce à la radiochronologie que les autres techniques de datation absolue ont vu le jour. C'est en effet cette technique qui a permis de dater et d'estimer la durée des différentes ères géologiques. En 1905, le physicien britannique Rutherford réalisa une première datation absolue d'un minéral en mesurant les quantités respectives d'hélium et d'uranium. La radiochronologie utilise le fait qu'il existe de nombreux isotopes radioactifs dans la nature. Ainsi, il se présente six familles radioactives, chacune ayant un élément radioactif de vie très longue (de même ordre que l'âge de la Terre, soit 4,2 milliards d'années): l'élément père, qui se désintègre en des descendants successifs, et les éléments radiogéniques fils, dont la vie est plus courte. Sachant que la masse d'un élément radioactif décroît de façon exponentielle en fonction du temps, la connaissance de cette masse permet d'en déterminer l'âge. Ainsi, la découverte par Williard F. Libby, en 1948, de la datation par le carbone 14 révolutionna la datation archéologique. D'autres techniques de datation absolue ont plus récemment vu le jour, notamment la thermoluminescence.

## La datation U/Tho (Uranium/Thorium):

Elle est utilisée sur les coraux et permet de remonter au delà de l'avant-dernier interglaciaire.

### 1. La filiation radioactive de l'uranium

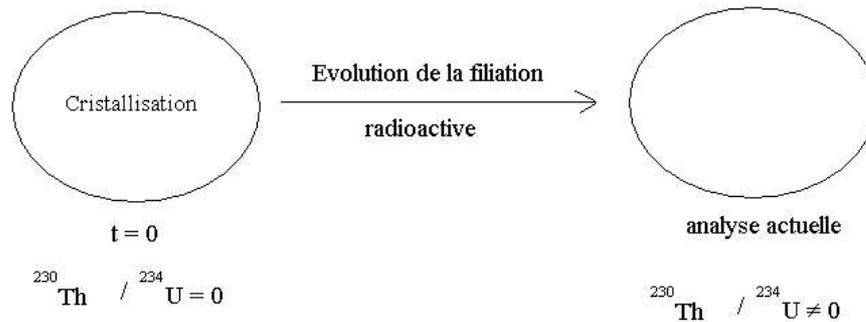
L'uranium 238 ( $^{238}\text{U}$ ) est à l'origine d'une succession de désintégrations radioactives qui aboutissent finalement au plomb 206 stable. Dans cette filiation radioactive on trouve en particulier les désintégrations suivantes :



L'uranium 234 se désintègre en thorium 230 qui à son tour se désintègre en radium 226.

## 2. Méthode de datation Uranium – Thorium

L'uranium et le thorium sont présents en proportions diverses dans tous les matériaux terrestres. Mais lors de la formation des cristaux de carbonates de calcium (calcites), il y a capture de l'uranium 234 et rejet du thorium. On suppose donc qu'au moment de la cristallisation les cristaux de calcite ne contiennent pas de thorium et qu'il n'y a pas d'échange ultérieur avec le milieu extérieur : c'est ce que l'on appelle la « clôture ».



Le thorium détecté actuellement dans ce type d'échantillon proviendra alors de la désintégration de l'uranium 234. C'est une évolution complexe puisqu'elle s'inscrit dans une filiation radioactive mais elle est théoriquement prévisible. La méthode consiste à mesurer par des procédés physico-chimiques le rapport  $^{230}\text{Th} / ^{234}\text{U}$  pour en déduire la date de cristallisation.

## 3. Domaines d'application et précision de la méthode

Cette technique s'applique notamment aux sédiments de stalagmites, coraux, coquillages ou squelettes d'hommes ou d'animaux...

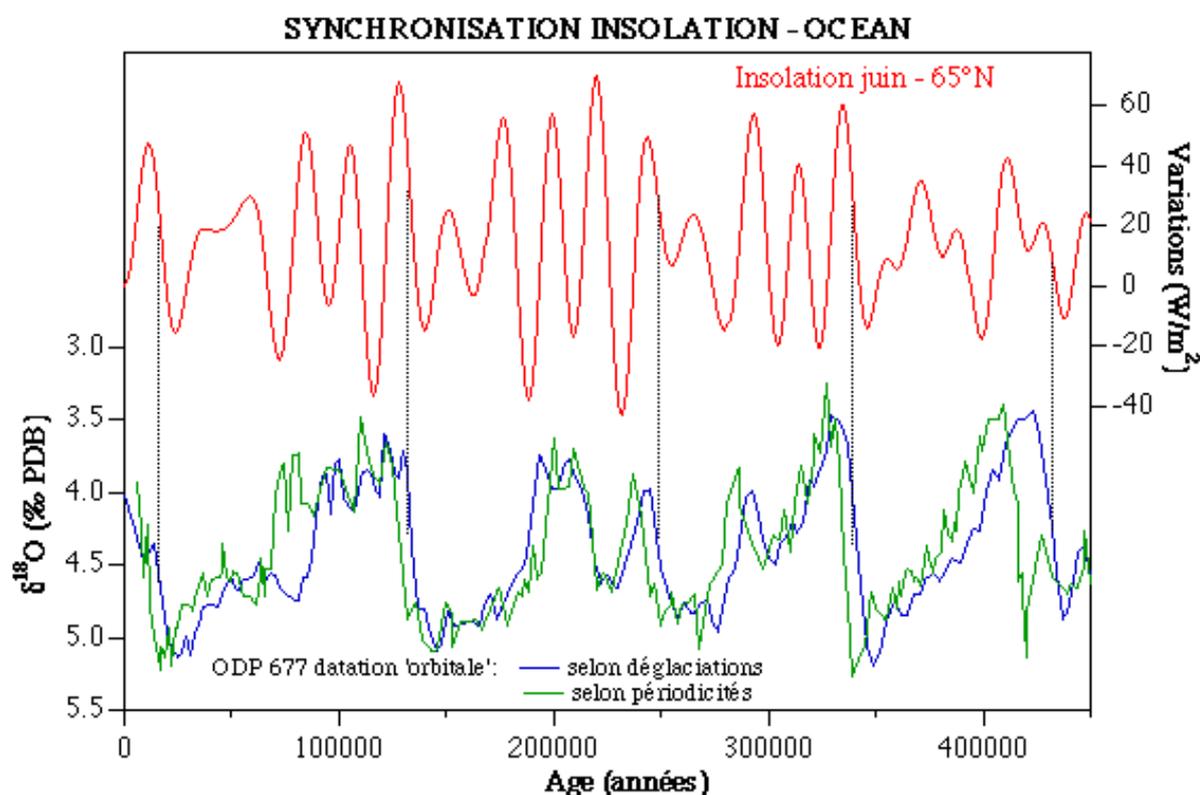
### La datation par modèle glaciologique :

Des restes de moraines, des fossiles typiques des milieux froids, ont montré que la Terre a connu récemment des périodes plus froides, caractérisées par de grandes calottes de glace occupant la partie nord des continents américain et européen. Le stockage d'eau dans ces calottes a fait baisser le niveau de la mer. De plus, comme les précipitations formant ces calottes étaient appauvries en oxygène 18 par rapport à l'oxygène 16, ce stockage a aussi enrichi l'océan en oxygène 18 par rapport à l'oxygène 16. Cet enrichissement a été enregistré dans les carbonates marins, sédimentés au fond des océans et ramenés à la surface à l'aide de carottiers. La composition isotopique de ces carbonates varie aussi, lors de leur formation, avec la température : un réchauffement les appauvrit en oxygène 18 par rapport à l'oxygène 16. La composition isotopique des carbonates permet donc de reconstruire les variations de température et de composition isotopique de l'océan.

### La datation par corrélation astronomique :

L'idée de la datation par corrélation astronomique est que la fonte des glaces en été détermine le bilan annuel d'accumulation des calottes. On utilise donc couramment l'insolation du 21 juin à 65°N pour établir les corrélations et ainsi dater.

La méthode la plus simple consiste à corréler pic-à-pic signal isotopique et insolation. Mathématiquement, il est plus précis de corréler les variations les plus rapides (tangente proche de la verticale), et en pratique la corrélation utilise les déglaciations.



## Conclusion sur le carbone 14 et les autres formes de datation :

A cause de la décroissance de la quantité de Carbone 14 avec le temps, après 75.000 ans, il ne reste plus assez de Carbone 14 pour faire une mesure fiable. Ensuite, la datation au carbone 14 n'est applicable qu'aux êtres vivants (ou aux roches qui contiennent de petits organismes vivants). Il y a plusieurs autres éléments radioactifs dans les organismes vivants, mais aussi dans les roches elles-mêmes. Et certains ont des demi-vies bien plus longues.

En voici quelques-uns, avec leur demi-vie : le Potassium 40 (1,3 milliards d'années), l'Uranium 238 (4,5 milliards d'années) et le Rubidium 87 (47 milliards d'années).

L'uranium 238 (qui a une désintégration très complexe puisqu'il passe par différents états avant de devenir, finalement, du Plomb 206) est très utile pour mesurer l'âge des roches. C'est d'ailleurs grâce à lui que l'on connaît l'âge de la Terre : 4,55 milliards d'années. Chaque technique de datation repose sur des postulats qui sont différents. L'incertitude des datations des forages est parfois importante. Pour prendre deux exemples :

- La différence entre les techniques de datation astronomique basées sur les déglaciations ou les périodes astronomiques peut atteindre plus de 10 000 ans.
- La datation de la dernière inversion magnétique Brunhes-Matuyama, qui sert à dater des séries sédimentaires longues, était de 780 000 ans selon la technique radio métrique K/Ar, puis a été révisée à 730 000 ans à partir de la technique radio métrique Ar/Ar (Méthode dérivée de la technique K/Ar) et par corrélation entre insolation et série sédimentaire.

# 5ème Partie : Exercices de datation

## Exercice 1 :

Les ossements d'un homme préhistorique, mesurés au carbone 14, montrent qu'il ne reste que 0.0021% de proportion contenue habituellement par un être humain vivant. A quelle époque a-t-il vécu ?

On sait que la période du carbone 14, temps nécessaire à la diminution de 50% de sa masse est de 5500 ans.

On pourrait résoudre ce problème en résolvant une équation différentielle mais nous avons préféré choisir une méthode plus accessible à notre niveau : l'étude d'une suite numérique.

### Résolution de l'exercice :

$$U_0 = 100$$

$$U_1 = 100/2$$

$$U_2 = (100/2)/2 = 100/4 = 100/2^2 = 100/2$$

Donc il semble que la suite soit géométrique de raison  $q = \frac{1}{2}$ , donc la suite de la forme :

$$U_n = U_0 * q^n$$

$$\text{Au final } U_n = U_0/2^n.$$

$$\text{Donc comme } U_n = 0.0021 \Leftrightarrow 0.0021 = 100/2^n \Leftrightarrow 2^n * 0.0021 = 100 \Leftrightarrow 2^n = 47619$$

Avec la calculatrice :

$$2^{15} = 32768$$

$$2^{16} = 65536$$

$$\Rightarrow 15 < n < 16$$

Par affinage du calcul on trouve :  $n = 15.5393$

Par la suite en multipliant  $n$  par la période ( $t$ ) on trouve l'âge de l'ossement.

$$\Rightarrow n \times t = 15.5393 \times 5500 = 85466$$

L'âge de cet homme est donc d'environ 85466 ans.

## Exercice 2 :

Un bois fossile subit 1462 désintégrations par 24 heures, alors qu'un échantillon de bois actuel de même masse en subit 46784 par 24 heures.

La période  $T$  du carbone 14 est 5730 ans.

### Résolution de l'exercice :

L'étude de la suite numérique  $U_n = U_0/2^n$  permettra de résoudre cet exercice.

$$U_0 = 46784$$

$$U_n = 1462$$

$$\text{Donc on a : } 1462 = 46784/2^n \Rightarrow 2^n = 32$$

Au final  $n = 5 \Rightarrow$  L'âge du bois fossile  $= 5 \times T = 5 \times 5730 = 28650$  ans.  
Le bois fossile a donc 28650 ans à partir de sa mort.

>Ces deux exercices utilisent les suites numériques et peuvent ainsi former une courbe qui a la particularité d'être de la forme  $y = U_0 * \exp(-0,6931x)$ .

Cf.  $\Rightarrow$ Excel C14 suite.

### Exercice 3 :

Grâce à Excel simplifier les calculs des exercices précédents et ainsi pouvoir les résoudre avec plus de précision et aussi plus rapidement.

>Le nombre 0.6931 étant  $\ln(2)$ , nous avons obtenue la formule suivante :

$$y = N_0 * \exp((- \ln(2) * t) / P).$$

Il faut maintenant exprimer  $t$  (nombre d'années de l'objet) en fonction de  $y$  (proportion de carbone 14), de  $P$  (période) et de  $N_0$  (proportion initiale de carbone 14).

$$\Rightarrow (y / N_0) = \exp((- \ln(2) * t) / P)$$

$$\Rightarrow \ln(y / N_0) = (- \ln(2) * t) / P$$

$$\text{Au final : } t = (-P / \ln 2) * \ln(y / N_0)$$

Ensuite il nous a suffi de rentrer cette formule dans le calculateur Excel.

Cf.  $\Rightarrow$ Excel C14 exponentiel.

Grâce au calculateur Excel, nous avons pu faciliter la résolution de ce type d'exercices. En effet juste avec les données de départ (demi-vie, proportion de C14 initial, et enfin la proportion de C14 de l'objet) le calculateur peut trouver directement le nombre d'années de l'objet.