

TABLES DE MATIERES

Introduction générale p.3

Chap. I : Présentation générale du carbone 14

I. <u>Production du carbone 14</u>	p.4
II. <u>Propriétés du carbone 14</u>	p.4
III. <u>Le carbone 14 dans l'Univers</u>	p.5
IV. <u>Le cycle du carbone</u>	p.6

Chap. II : Principe de la méthode de datation au C-14

I. <u>Généralités et principe de la méthode</u>	p.8
II. <u>Les limites de la méthode</u>	p.10
1. Les erreurs indirectes	
a. L'activité du système solaire	
b. Le champ magnétique terrestre	
c. Le fractionnement isotopique	
d. L'effet réservoir	
e. Influence récente de l'activité de l'homme	
2. Les erreurs directes	
III. <u>Les corrections de la méthode</u>	p.15
1. Standardisations des activités	
2. Dérive du taux de ^{14}C	
3. Etablissement de l'équation $\Delta^{14}\text{C}$	
4. Calibrations des dates ^{14}C	
IV. <u>Techniques de comptage</u>	p.21
1. Les comptages proportionnels	
a. Le comptage proportionnel à carbone gazeux	
b. Le comptage proportionnel à carbone liquide	
2. Le spectromètre de masse par accélération (SMA)	

Chap. III : Les différentes méthodes de datation

I. <u>Les méthodes de datation dites « relatives »</u>	p.25
1. La Typologie	
2. La Palynologie	
3. La stratigraphie	
4. La Paléontologie	

II. <u>Les méthodes de datation dite « absolues »</u>	p.27
1. Les méthodes basées sur les phénomènes radioactifs	
• La datation au Carbone 14	
• La méthode Potassium/Argon : K/Ar	
• Méthode de datation par Uranium/Thorium	
• Méthode de datation par le couple Rb/ Sr	
2. Les méthodes basées sur des défauts cristallins	
• La thermoluminescence	
• La résonance paramagnétique électronique (RPE) ou résonance de spin électronique (ESR)	
• Les traces de fission	
3. Les méthodes basées sur des phénomènes de diffusion	
• Hydratation de l'obsidienne	
4. Les méthodes basées sur des phénomènes cycliques	
• La dendrochronologie	
• L'archéomagnétisme	

Chap. IV : Méthodes de datation par un compteur à scintillation liquide au Laboratoire de carbone 14

I. <u>Présentation et description du matériel expérimental</u>	p.32
1. Le compteur	
2. Le banc de synthèse du benzène	
II. <u>Traitemen</u> t d'un échantillon.....	p.34
1. Prétraitement physique	
2. Prétraitement chimique	
3. Synthèse du benzène	
4. Comptage	
III. <u>Exploitation des résultats</u>	p.42
IV. <u>Conclusion</u>	p.44
V. <u>Applications</u>	p.45
<u>Conclusion générale</u>	p.48

INTRODUCTION GENERALE :

Le présent travail porte sur l'étude de la méthode de datation au carbone 14 et quelques unes de ses applications.

La datation au carbone 14 constitue un outil important et privilégié pour la datation des objets anciens. Les applications de la datation au ^{14}C s'étendent aussi sur plusieurs domaines de la science de la terre et de l'environnement. On peut citer l'archéologie, l'océanographie, la paléoclimatologie...

Plusieurs techniques de datation ont été utilisées depuis la découverte de l'isotope ^{14}C , par le Physicien Américain Frank Willard Libby en 1946. Il eut l'idée aussi de l'utilisation de cet élément à des fins de datation.

Cette méthode de datation fût introduite au Sénégal vers les années 1966 par le Pr. Cheikh Anta Diop. Il utilisait une technique de comptage dite compteur à scintillation gazeux(CO_2). Le laboratoire est devenu fonctionnel vers l'an 2000, après un long arrêt, avec l'installation de nouveaux équipements. La nouvelle technique mise en œuvre est une technique de comptage en scintillation liquide(C_6H_6).

Ainsi nous nous sommes intéressés à l'étude de la datation au carbone 14, dans le cadre de notre mémoire. Nous avons organisé ce travail de la façon suivante :

Dans le chapitre I, nous présentons l'isotope Carbone 14. Nous verrons son mode de production, ses caractéristiques et sa répartition dans l'univers.

Dans le chapitre II, nous allons faire une description du principe de la méthode de datation au carbone 14.

Dans le chapitre III, nous abordons les différentes méthodes de datation lesquelles nous groupons en deux catégories de méthodes : Il s'agit des méthodes dites relatives et des méthodes dites absolues.

Ensuite, **dans le chapitre IV**, nous étudions les différents processus expérimentaux de la datation à l'aide d'un compteur à scintillation liquide dont nous disposons au sein de notre laboratoire et avec lequel on a effectué nos expériences.

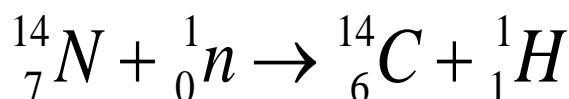
En conclusion, nous rappellerons les résultats obtenus dans cette étude et quelques perspectives de la méthode de datation au ^{14}C .

Chap. I : Présentation générale du carbone 14

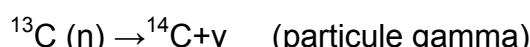
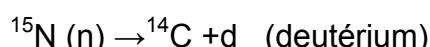
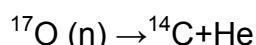
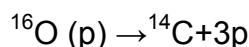
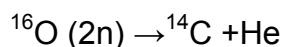
I. Production du carbone 14

Le carbone 14 est produit par des rayons cosmiques provenant de la haute atmosphère. Ces rayons, pourvus de protons, se dirigent vers la terre, avec des directions différentes. Ainsi ces rayons sont obligés de heurter le champ magnétique terrestre qui grâce à son intensité et à sa direction arrête quelques rayons. Ceux qui réussissent à passer, voient leurs protons choquer les molécules de l'atmosphère que sont l'azote et l'oxygène. Ce sont ces chocs sur les molécules de l'air qui vont donner naissance à des neutrons à l'intérieur des noyaux des atomes de ces molécules. L'arrangement des nucléons dans les noyaux devenant ainsi instable en raison donc d'un excès de neutrons. Dans ce cas ces noyaux tendent à se stabiliser en réagissant avec les excès de neutrons.

L'azote réagit, avec une probabilité presque totale, avec un neutron et donne naissance à un carbone 14. Le schéma réactionnel est le suivant :



Les autres réactions possibles sont :



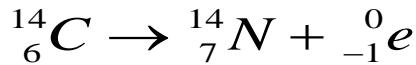
Ces réactions sont d'une importance mineure ici car, elles sont presque improbables. Le carbone 14 a aussi des origines artificielles. Il est produit lors des essais nucléaires de 1945 à 1980 et des rejets nucléaires dans les centrales et en médecine.

II. Propriétés du carbone 14

Le carbone pur est présent dans la nature sous deux formes : le graphite de couleur grise et le diamant de couleur transparente.

Le carbone 14 a des propriétés intéressantes, contrairement aux deux autres isotopes ^{13}C et ^{12}C .

Il est radioactif émetteur β - .La désintégration β - est due à l'interaction faible lors de la transformation d'un neutron en un proton au sein du noyau. Le carbone 14 se désintègre avec une période conventionnelle de 5568 ans (1951).



Il se forme de l'azote, une particule β - (il est un électron) et un antineutrino (l'antimatière du neutrino).

Comme le rayonnement cosmique bombarde la terre depuis longtemps et que le carbone 14 formé disparaît aussi, il s'établit un équilibre entre la création et la décomposition du carbone 14. Cet équilibre, s'il existe, maintient constante la teneur en carbone 14 dans la nature, c'est-à-dire l'activité du ^{14}C . L'activité est le nombre de radionucléide de la dite substance qui se désintègre par unité de temps. L'activité du ^{14}C est de $13,56 \pm 0,07$ désintégration par minute et par gramme de carbone (Karlen et al. 1966). L'activité peut aussi s'exprimer en Bq(Becquerel).

III. Le carbone 14 dans l'Univers

Le carbone 14 n'est pas à l'état isolé, il se trouve dans le CO_2 atmosphérique et est très diversement réparti dans l'Univers. Tenons à préciser que la forme la plus courante du carbone dans la nature est du dioxyde de carbone.

Dans les sédiments : roches calcaires, sédiments marins, les charbons, les pétroles...

Sur la surface de la terre : sous formes de CO_2 dans l'atmosphère, sous forme de composés organiques dans la biosphère terrestre et marine.

Dans les océans : sous forme de gaz carbonique, de bicarbonates dissous et de carbonates.

Par exemple, donnons ici le contenu en carbone pour :

Une surface terrestre = $5,11018 \text{ cm}^2$ (Valeurs données par Baes et al (1976); Woodwell et al (1978); Stuiver (1978))

Atmosphère = $0,125 \text{ g/cm}^2$

Biosphère terrestre = $0,166 \text{ g/cm}^2$

Humus = $0,20 \text{ à } 0,60 \text{ g/cm}^2$

Dans les océans:

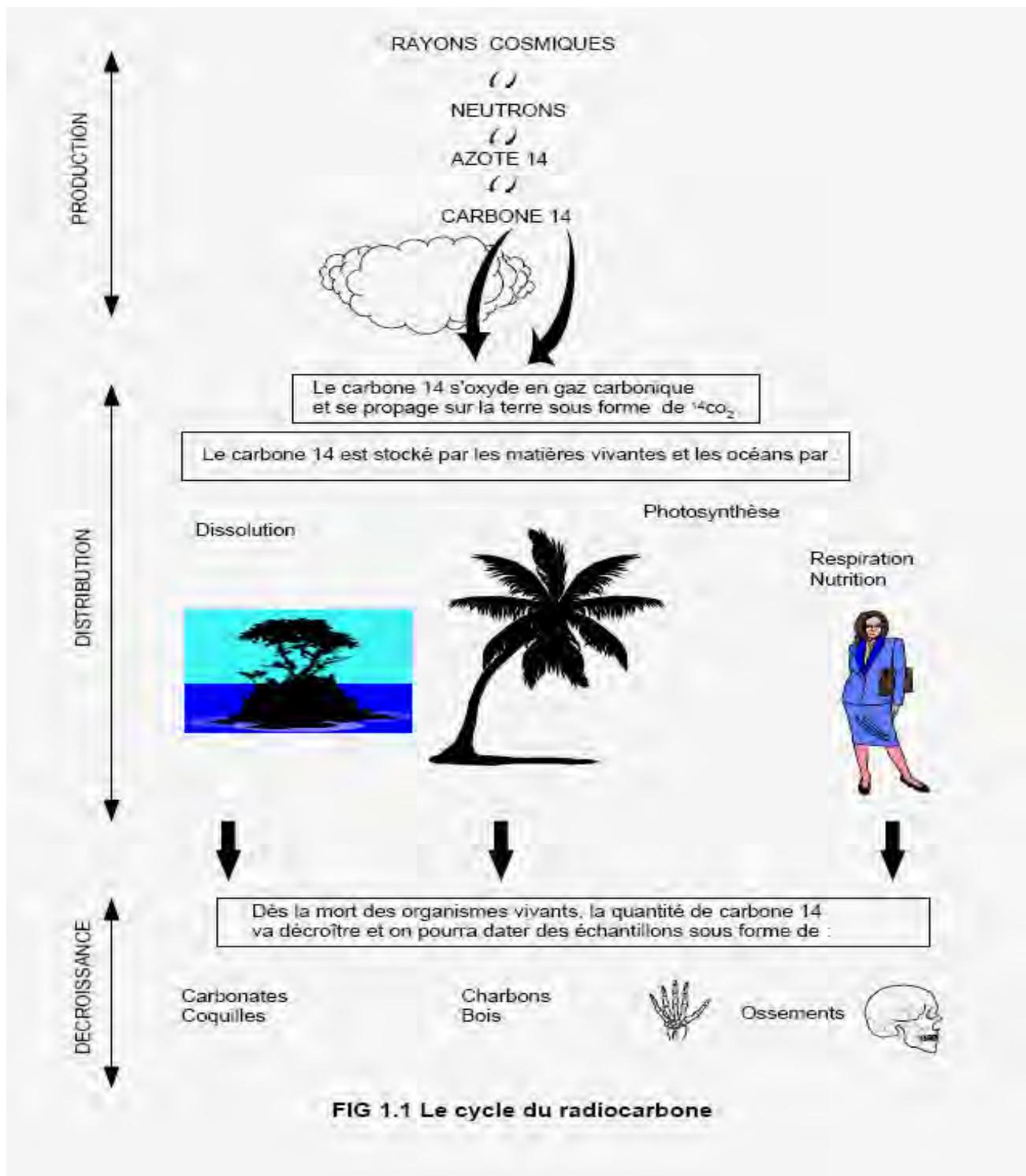
Bicarbonates, Carbonates= $7,64\text{g/cm}^2$

Matières organiques dissoutes = $0,32\text{g/cm}^2$

Ainsi, des échanges de carbone s'effectuent perpétuellement entre ces différents milieux.

IV. Le cycle du carbone 14

En résumé, on peut retenir que le carbone 14 se crée dans la haute atmosphère, ensuite s'oxyde en gaz carbonique et se propage sur l'humanité ; il se consomme par les organismes vivants et se stocke et enfin ce carbone 14 disparaît à la mort.



D'après: S.CHALLEMEL(2000)

Chap. II : Principe de la méthode de datation au Carbone 14

I. Généralités et Principe de la méthode

Le carbone 14 se propage dans l'atmosphère sous forme de CO_2 . Il est ainsi capté et consommé par :

- les êtres vivants animaux par respiration et nutrition,
- les végétaux par photosynthèse,
- de même que les océans par dissolution etc.

À la mort de l'organisme, toute la quantité de CO_2 contenant l'isotope ^{14}C , commence à disparaître. Cette perte continue de ^{14}C n'est plus remplacée ni stoppée jusqu'à sa disparition complète.

La méthode consiste donc à mesurer la teneur en ^{14}C présent à l'instant de la mesure, dans l'échantillon, et la comparer à celle qu'elle avait à sa mort juste avant que le processus de désintégration ait commencé. Connaissant ces deux valeurs, on peut calculer l'âge d'un matériau fossile en appliquant la loi de désintégration radioactive ci-dessous :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Ces deux valeurs $N(t)$ et N_0 étant connus, il ne faut pas que, une quantité de ^{14}C quelconque fût introduit dans l'échantillon après sa mort ou qu'une autre quantité de ^{14}C disparaîsse pour une cause autre que la décroissance radioactive.

Etablissement de la loi de désintégration radioactive :

Soit N le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon à l'instant t c'est-à-dire à l'instant de la mesure et N_0 le nombre des noyaux radioactifs de l'échantillon à l'instant initial $t=0$

ΔN le nombre de noyaux désintégrés pendant un intervalle de temps Δt , il est proportionnel à N et Δt : $\Delta N = -\lambda N \Delta t$

(Le signe – s'explique par le fait que ΔN et Δt sont algébriquement de signes contraires :

N diminue quand Δt croît)

Si $\Delta t \rightarrow dt$ (infiniment petit); alors $dN = -\lambda N dt$, en intégrant cette relation entre $t=0$ et

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

λ est la constante de désintégration radioactive

Remarques: $\frac{dN(t)}{dt} = A(t)$ activité de la source ou taux de décroissance

De la relation (1) on en déduit le temps t qui est l'âge absolu: $t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N_0}{N(t)}\right)$

À $t = T$, $N(t) = \frac{N_0}{2}$ donc $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$; Ce qui entraîne: $\ln 2 = \lambda T$

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

L'application numérique donne : $\frac{1}{\lambda} = \frac{5568}{\ln(2)} = 8032,952 \cong 8033$

Le carbone 14, emmagasiné par les êtres vivants disparaît en suivant un processus de désintégration dont le schéma réactionnel a été déjà vu.

Pour étudier la loi de désintégration radioactive du ^{14}C , on s'intéresse d'abord au nombre de particules émises, puisque c'est ce nombre qui nous édifie sur le temps mis depuis que la décomposition a commencé. Ce nombre est défini comme étant l'activité du ^{14}C . Cette activité déterminée par KARLEN et al (1966) est de $13,56 \pm 0,07$ particules β^- émises par minutes et par gramme de Carbone 14.

L'activité A d'un radio-isotope est le nombre de désintégrations par unité de temps dans une quantité donnée de ce radio-isotope. L'activité s'exprime en Becquerel(Bq); il représente le nombre de désintégrations par seconde (dps). Elle peut aussi s'exprimer en Curie(Cu). Le Curie (Cu) est l'activité d'un gramme de Radium. $1\text{Cu} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

On définit aussi l'activité spécifique qui est le nombre de noyaux qui se désintègrent par seconde et par gramme de l'isotope radioactif.

La valeur de la radioactivité naturelle a été mesurée par les physiciens, ils ont aussi montré que toute matière carbonée isolée de toute source de production de ^{14}C perd tous les 5730 ± 40 ans (Godwin, 1962) la moitié de sa teneur initiale.

Notons aussi, qu'entre 1946 et 1950 plusieurs valeurs de la période de ^{14}C ont été publiées allant de 7200 ± 500 à 4700 ± 470 ans, celle-ci a été fixée en 1951 à 5568 ± 30 ans.

Par la suite les techniques de mesures devenant de plus en plus nombreuses et précises, H. Godwin publia en 1962 une nouvelle valeur qui est égale à 5730 ± 40 ans.

Néanmoins c'est la valeur de 5568 ans dite période conventionnelle ou demi-vie du ^{14}C qui est, et continue d'être, utilisée afin d'éviter toute confusion au sein de la communauté scientifique.

L'activité initiale de ^{14}C qu'avait un échantillon à dater, n'ait vraiment pas connu avec exactitude, car cette époque ne correspond pas souvent à notre ère, et aussi nous ne disposons pas de tous les moyens de la déterminer en valeur exacte. On la prend constante car la production et la disparition du carbone 14 dans l'atmosphère sont supposées complémentaires.

La méthode requiert cette constance de l'activité pour tous les échantillons des fossiles appartenant tous, aux dernières 40 000 ans au moins.

Cette supposition n'est pas du tout juste à cause de plusieurs facteurs dont nous discuterons plus loin. Ce qui va beaucoup influer sur les dates, jusqu'à même soulever des doutes sérieuses sur l'utilisation et la fiabilité de la méthode.

C'est ainsi que ; plus tard vers les années 1960, on va penser à un réajustement de tous les âges radiocarbonés, en donnant des activités standardisées pour la méthode.

Avant de parler de réajustement des dates ^{14}C , nous allons tout d'abord donner les principales causes de variation de l'activité initiale du carbone. Ces causes ont donné naissance aux limites de la méthode.

II. Les limites de la méthode

1. Les limites indirectes

Rappelons les hypothèses qui sont à la base de la méthode de datation au carbone 14 :

- La concentration en ^{14}C dans l'atmosphère est la même que celle d'aujourd'hui.
- La concentration relative en ^{14}C dans la biosphère est uniforme.
- La mort de l'organisme correspond exactement à l'instant où cessent les échanges avec le milieu extérieur.

- Après arrêt des échanges, la teneur en ^{14}C n'est modifiée que par décroissance radioactive du ^{14}C .

En toute rigueur ces hypothèses ne sont pas vérifiées. De nombreux phénomènes peuvent les fausser.

Nous pouvons citer entre autres : Les phénomènes physiques tels que le champ magnétique terrestre et l'activité du système solaire ; les effets réservoir ; la contamination de l'échantillon...

La teneur originelle en radiocarbone No, n'a pas toujours été constante tout au long des 50 derniers millénaires et qu'elle a varié dans d'importantes proportions pour diverses raisons dont, l'activité solaire et l'intensité du champ magnétique terrestre (M.Fontugne (2002)).

a. L'activité du système solaire

Les étoiles de notre galaxie contribuent à la formation de rayons cosmiques. Mais l'activité solaire est plus responsable du flux de rayons cosmiques et donc du nombre de protons susceptibles d'interagir avec les molécules de l'air (l'azote et l'oxygène).

Le flux de rayons cosmiques au sommet de l'atmosphère est composé de 98% d'ions et de 2% d'électrons. Les ions sont essentiellement des protons (environ 87%) et des noyaux d'hélium et quelques traces de noyaux lourds tels que : Mg, Si, S, Ca, Cr

Les rayons cosmiques sont émis avec une énergie basse depuis leur source. Ils subissent une accélération avant de parvenir à notre planète et donc voient leur énergie croître.

Le milieu où vont se propager les rayons n'est pas vide : On y trouve entre autre un certain type de nuages (nuage moléculaire, nuage diffuse, nuage interstellaire thermalisé, nuage chaud ionisé....) qui vont interagir avec les rayons cosmiques.

En plus de cette interaction, il y'a en une plus importante qu'est le champ magnétique terrestre.

b. Le champ magnétique terrestre

Le champ magnétique module le flux de protons cosmiques grâce à son intensité et à sa direction. Il dévie la trajectoire de ces rayons composés de particules. Ces protons se déplaçant dans le vide, où règne un champ magnétique terrestre, nous l'avons vu, sont responsables des réactions aboutissant à l'isotope carbone 14.

Car rappelons le, d'après les lois de la Physique, toute particule chargée électriquement (comme les protons cosmiques) qui entre dans une région en présence d'un champ magnétique voit sa trajectoire déviée en fonction de sa masse, sa charge électrique et sa vitesse.

Les scientifiques pensent que le champ magnétique est apparu juste après la formation de la Terre (il y'a 4,5millards d'années).Depuis lors, le champ magnétique a fortement varié. Ils ont montré que le flux magnétique qui quitte le soleil a augmenté d'un facteur de 1,4 depuis 1964 et d'un facteur de 2,3 depuis 1901.

On admet actuellement que la plus grande partie de la variation à long terme du ^{14}C dans l'atmosphère est due à une variation dans le taux de production. Une partie des protons galactiques est dévié par le champ magnétique terrestre, au voisinage de la Terre : Il s'en suit qu'une diminution de l'intensité du champ magnétique terrestre par exemple, va avoir pour conséquence une augmentation du nombre de protons incidents, et par suite, une augmentation du nombre d'atomes de ^{14}C produits. (Barbetti, 1980).On observe ainsi donc une bonne corrélation entre la variation sinusoïdale de l'intensité du champ magnétique terrestre (Bucha et al. 1970) et les variations à long terme du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'atmosphère.

c. Le fractionnement isotopique

Le concept de fractionnement isotopique rend compte des variations dans la répartition naturelle des isotopes d'un élément.

Lors des processus d'assimilation biologique de CO_2 atmosphérique, par les organismes vivants ou l'eau de mer, il se produit toute une série de réaction physico-chimique pour lesquelles intervient l'atome de carbone.

A la fin de chaque réaction qui est un passage d'une phase à une autre, le nombre d'atomes de chaque isotope varie (augmentation ou diminution) en fonction des phases. Il s'en suit une modification de la composition isotopique (ou fractionnement isotopique).

Ces modifications sont mesurables et sont mises en évidence par la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Le carbone 13 est un isotope stable dont la concentration est mesurable avec beaucoup de précision par spectrométrie de masse. Ces mesures isotopiques s'expriment en termes de différence $\delta^{13}\text{C}$ entre le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de l'échantillon et le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ d'un carbone standard.

d.L'effet réservoir

La datation de matériaux provenant des océans fournit parfois des âges trop anciens. Ces matériaux subissent un vieillissement, les valeurs d'âges qui leur sont attribuées après datation au carbone 14 donnent ce qu'on appelle des âges apparents.

Ce phénomène de vieillissement des âges radiocarbone est appelé effet réservoir.

La teneur du ^{14}C dans les eaux n'est pas rigoureusement constante; elle dépend des échanges avec l'atmosphère et de l'importance de stock de carbone dans l'eau.

Le carbone ^{14}C formé dans l'atmosphère entre d'une part par dissolution du CO_2 dans les eaux superficielles et d'autres parts, grâce aux phénomènes de la photosynthèse du cycle du carbone.

Pour les eaux profondes, les échanges sont lentes, le renouvellement en ^{14}C n'est plus suffisant pour compenser la décroissance radioactive d'où un appauvrissement en ^{14}C par rapport à l'atmosphère. Pour les eaux superficielles, les échanges sont rapides, mais aussi, elles subissent des mélanges avec les eaux profondes.

Les eaux océaniques profondes sont plus appauvries en ^{14}C que les eaux océaniques superficielles.

Au départ l'effet réservoir n'était pas très connu des physiciens. On l'estimait uniforme dans tous les réservoirs du monde, et on l'attribuait à une valeur égale à 400 ans.

C'est –à-dire l'âge calculé, à partir des échantillons marins n'était pas en fait des âges réels, mais des âges apparents. Et pour avoir l'âge radiocarbone correspondant, il faut tenir compte de l'effet réservoir en enlevant 400 ans à l'âge apparent. On fait donc un rajeunissement du matériau daté.

L'âge réservoir est fonction de la circulation de masse d'eau océanique et du mélange entre les différentes eaux dans l'océan. Il dépend donc du lieu géographique et du temps. L'effet réservoir dans les côtes nord du Sénégal est de 511 ± 50 BP et dans les côtes Mauritanien 421 ± 15 BP. (M.NDEYE, 2008).

D'après Siegenthaler et al. , (1980), Les variations climatiques peuvent aussi être responsables de variations du taux de production de ^{14}C dans l'atmosphère car elles influencent le taux d'échanges du carbone entre les différents réservoirs.

e. Influence récente de l'activité de l'homme

Nous pouvons mentionner aussi dans ce travail l'influence récente de l'homme sur la variation du taux de ^{14}C .

En dehors des effets naturels, l'homme, depuis l'ère moderne, à cause de ses différentes activités est responsable d'une variation de la concentration en ^{14}C .

Il y'a eu d'abord l'effet des combustibles fossiles tels que le charbon et le pétrole au XIX^e S. Le charbon est issu des plantes fossilisées, dont le ^{14}C a disparu depuis longtemps par décroissance radioactive. Ainsi la combustion de charbon en grande partie peut diluer la concentration atmosphérique en ^{14}C par rapport à la concentration des isotopes stables ^{13}C et ^{12}C . C'est en datant avec précision le bois provenant des cernes d'un arbre récemment mort que Hans SUESS découvrit qu'il y'avait une décroissance régulière de l'activité de ^{14}C depuis le l'ère industrielle.

Cette diminution de l'activité appelée effet SUESS atteignait l'ordre de 2% en 1950 (SUESS 1954).

Mais cet effet allait très vite être masqué par d'autres perturbations plus importantes quelques années plus tard : il s'agit des essais nucléaires. Les neutrons émis lors des explosions nucléaires réagissent avec les molécules de l'air tel que l'azote pour donner du ^{14}C . Ces réactions qui ont eu dans les années 1950 et 1960 ont doublé la concentration du ^{14}C . C'est l'effet de BOMBE.

Ces deux effets ont des conséquences majeures. Puisque aucun matériau récent ne peut pas être utilisé comme référence pour la méthode radiocarbone.

Mais il est bon de noter aussi que, cette augmentation transitoire du taux de production de ^{14}C a donné une occasion importante aux scientifiques pour étudier les vitesses de transferts de quelques radio-isotopes entre les différents réservoirs.

2. Les limites directes :

- ✓ Pour un compteur à scintillation liquide

Ces erreurs sont nombreuses et variées. Ils s'agissent :

- Erreur sur le nombre de coups de l'échantillon
- Erreur sur la mesure du standard
- Erreur sur la masse de l'échantillon lors des phases de prétraitement et de synthèse
- Erreur sur la masse du benzène
- Erreur sur le bas bruit de fond

- Erreur sur le fractionnement isotopique $\delta^{13}\text{C}$
- Etc.

Nous allons développer ces points dans la suite de notre travail.

III. Les corrections de la méthode

La méthode de datation au ^{14}C , longtemps considéré comme fiable et absolue allait très vite être remise en cause.

Les âges radiocarbone obtenus pour des échantillons historiques étaient très jeunes, très jeunes par rapport aux âges attendus. Ces âges n'étaient pas tout à fait conformes avec les prévisions.

C'est ainsi qu'on commencé les doutes, en ce qui concerne la fiabilité des âges ^{14}C . L'exemple le plus célèbre est le cas du Linceul de Turin.

Le Linceul de Turin ou Suaire de Turin est un drap en lin ancien qui montre l'image d'un homme qui présente les traces de tortures physiques correspondant à un crucifiement. Il est conservé dans la Chapelle Royale de la Cathédrale Saint-Jean Baptiste de Turin en Italie.

La publication des résultats des dates du Linceul l'attribuant un âge médiéval (1260-1390) a été fortement validé par la communauté scientifique en raison de la fiabilité de la méthode jusqu'ici parfaite.

Toutes les conditions pour une très bonne opération étaient réunies :

- Elimination totale des pollutions carbonées
- Variations de la teneur en ^{14}C uniquement par désintégration
- Une teneur originelle connue
- Formation normale de la matière carbonée
- Des mesures soigneuses et des publications claires

Ces résultats n'étaient pas en conformité avec l'âge attendu.

Ainsi des tentatives d'explications à ce désaccord ont commencé ; la première émise était que le Suaire était fabriqué de toute pièce peut être par un faussaire ou par un plaisantin. L'opinion n'arrêtait pas là, puisque le comment un individu à cette époque (moyen âge) pouvait réaliser une telle imitation n'avait jusque là pas de réponse.

Toutes les explications données n'étaient pas satisfaisantes pour justifier ce désaccord. Il en vient donc d'émettre l'incroyable : la méthode de datation au ^{14}C n'est pas fiable.

Ainsi la communauté scientifique n'a accepté que la méthode de datation au ^{14}C que la méthode a une limite. Ces limites il fallait d'abord les élucider afin de pouvoir les corriger. Les causes de ces erreurs ont été discutées plus haut.

On a vu que la composition isotopique du carbone n'est plus constant, la normalisation n'est plus que l'ajustement de l'activité d'un échantillon vivant à un niveau équivalent au rapport isotopique.

Il est connu maintenant que la teneur originelle en radiocarbone n'a pas toujours été constante tout au long des 50 000 dernières et qu'elle a varié dans d'importantes proportions pour diverses raisons.

Ceci a engendré des modifications de la composition isotopique du carbone 13. Ces modifications peuvent être mise en évidence par la mesure de la teneur en ^{13}C . Elle est mesurable directement et avec précision à partir du CO_2 provenant directement de l'échantillon par SMA (Spectrométrie de masse).

Ces résultats de mesure pour des raisons de commodité s'exprime en termes de différences

$\delta^{13}\text{C}$ entre le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de l'échantillon et le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ d'un carbone standard

$$\delta^{13}\text{C} = 1000 \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{éch}} - ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{std}})}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{std}}} \quad (1)$$

1. Standardisations des activités

Le standard universellement adopté est le PDB (Bélemnite de la PeeDee, formation, USA) est égale à 0‰. Par définition $\delta^{13}\text{C}(\text{PDB}) = 0\text{‰}$.

On donne ici le $\delta^{13}\text{C}$ pour différents milieux :

$$\delta^{13}\text{C} (\text{CO}_2 \text{ atmosphérique}) = -6,8\text{‰}$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{coquilles marines}) = -2\text{‰} \text{ à } +3\text{‰}$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{végétaux marins}) = -8\text{‰} \text{ à } -30\text{‰}$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{végétaux d'eau douce}) = -8\text{‰} \text{ à } -24\text{‰}$$

$$\delta^{13}\text{C} (\text{plantes terrestres}) = -27\text{‰} \text{ à } -14\text{‰}$$

Les fractionnements isotopiques sur le ^{13}C affectent aussi le ^{14}C . Il apparaît aussi donc une dérive du ^{14}C , et comme le ^{13}C , cette différence va s'exprimer en termes de variation $\delta^{14}\text{C}$.

$$\delta^{14}\text{C} = 1000 \frac{(^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{éch}} - ^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{std}})}{^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{std}}} \quad (2)$$

Les rapports : $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{éch}}$ représente l'activité A_S de l'échantillon et $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{std}}$ représente l'activité A_{ON} normalisée initiale de l'échantillon.

D'où donc la relation donnant $\delta^{14}\text{C}$ s'établit comme suit :

$$\delta^{14}\text{C} = 1000 \frac{(A_S - A_{\text{ON}})}{A_{\text{ON}}} \quad (3)$$

Le premier standard utilisé est l'acide oxalique (I), mais le standard moderne utilisé A_{ON} représente 95% de l'activité de cette acide oxalique normalisé avec une différence $\delta^{13}\text{C} = -19\text{‰}$.

Donc $A_{\text{ON}} = 0,95 A_{\text{OX}}$ et $\delta^{14}\text{C}$ devient :

$$\delta^{14}\text{C} = 1000 \frac{(A_S - 0,95 A_{\text{OX}})}{0,95 A_{\text{OX}}} \quad (4)$$

Depuis plusieurs années maintenant un nouvel acide oxalique (II) est utilisé, d'abord, par certains laboratoires avec une normalisation du $\delta^{13}\text{C} = -25\text{‰}$. Cette valeur est maintenant générale par convention internationale.

2. Dérive du taux de ^{14}C

Une fois que l'on a choisi le standard, effectué les corrections d'âges des activités des échantillons, on constate qu'il subsiste toujours des différences entre ces valeurs qui devaient être théoriquement trouvées pour l'échantillon A_S . Normalisée cette activité devient A_{SN} .

Pour normaliser cette activité on introduit la différence $\Delta^{14}\text{C}$ définie comme suit :

$$\Delta^{14}\text{C} = 1000 \frac{(A_{\text{SN}} - A_{\text{ON}})}{A_{\text{ON}}} \quad (5)$$

L'âge radiocarbone est calculé en supposant un temps t indépendant de la teneur en ^{14}C atmosphérique durant les 40 000 dernières années.

L'activité spécifique (activité par gramme de carbone) après normalisation est égale à $\delta^{13}\text{C} = -19\text{\textperthousand}$ est l'activité standard absolue.

Pour une période de Libby (5568 ans), l'âge t d'un échantillon est donné par :

$$t = -8033 \ln\left(\frac{A_{SN}}{A_{ON}}\right) \quad (6)$$

D'après la relation (5) :
$$\frac{A_{SN}}{A_{ON}} = 1 + \frac{\Delta^{14}\text{C}}{1000} \quad (7)$$

Donc :

$$t = -8033 \ln\left(1 + \frac{\Delta^{14}\text{C}}{1000}\right) \quad (8)$$

Comme la teneur en ^{14}C varie en fonction du temps et selon le lieu où l'on se trouve et en plus du fractionnement isotopique, donc il en sera de même pour $\delta^{14}\text{C}$ car cette dernière valeur est fonction de la teneur.

$\Delta^{14}\text{C}$ varie aussi avec la teneur en ^{14}C . Mais la correction de cette dérive annule les erreurs dues au fractionnement isotopique.

Ni les valeurs de $\Delta^{14}\text{C}$ ni celles de $\delta^{14}\text{C}$ ne varient à cause de la différence d'âge car la correction de cet effet d'âge a été déjà faite avec les standardisations du $\Delta^{14}\text{C}$ et $\delta^{14}\text{C}$ (standard voisin d'un bois du XIX^e) et du $\delta^{13}\text{C}$ (standard voisin des coquilles marines).

Les signes "moins" souvent rencontrés s'expliquent par le fait que les teneurs en carbone des échantillons sont inférieures aux standards universellement adoptés.

Puisque le temps t s'exprime en fonction de la dérive $\Delta^{14}\text{C}$ du carbone, on va établir une relation entre $\Delta^{14}\text{C}$ et les valeurs connues $\delta^{14}\text{C}$ et $\delta^{13}\text{C}$.

L'activité de l'échantillon normalisée $A_{SN} = A_S \left[1 - 2 \left(\frac{25 + \delta^{13}\text{C}}{1000} \right) \right] \quad (9)$

D'après (9) :
$$\frac{A_{SN}}{A_S} = \left[1 - 2 \left(\frac{25 + \delta^{13}\text{C}}{1000} \right) \right] \quad (10)$$

3. Calibration des âges radiocarbone

Après avoir appliqué à la méthode toutes les corrections nécessaires pour que ses résultats soient plus corrects : standardisation de l'activité initiale, correction du fractionnement introduit par $\delta^{13}\text{C}$On constate que des erreurs restent toujours.

Il s'agit, du fractionnement isotopique du ^{14}C durant les changements qu'a subit l'objet à dater.

Les âges obtenus jusque là n'étaient pas donc tout à fait corrects. Et pour ceux –ci soient plus proche de l'âge vrai, il faut connaître exactement la teneur en ^{14}C de l'objet à dater au moment de sa formation autrement dit connaître son rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ initial. Libby dans sa méthode l'avait sous-estimé.

Mais le Physicien Néerlandais Hessel De Vries, dans ces travaux qu'il publia en 1958, est le premier à découvrir cette limite de l'hypothèse de Libby en comparant les âges d'arbres fossiles déterminés par ^{14}C à ceux obtenus par comptage des cernes annuels(dendrochronologie).Ainsi à partir de là il faut connaître en plus de la teneur initiale en ^{14}C de l'objet, mais aussi l'évolution dans le temps de la décroissance radioactive de cette teneur, donc du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$.

Le moyen de connaître et de reconstituer cette évolution, peut consister à comparer les âges ^{14}C à un âge calendaire du même objet, déterminé par une autre méthode telle que la dendrochronologie. Tel est le principe de la calibration des âges radiocarbones. Cette calibration cherche à connaître et à normaliser la valeur de l'activité de l'échantillon A_S pour avoir une nouvelle valeur A_{SN} .

Comme il est difficile de faire des déterminations absolues de quantité de ^{14}C et donc de l'activité ^{14}C , il est préférable d'exprimer les valeurs en pourcentages ; ce qui revient à mesurer la dérive exprimé par la variation mathématique (Δ) du taux de ^{14}C de l'échantillon normalisé par rapport à un standard normalisé.

La dérive est l'écart entre la déviation et ce qui a été initialement prévu.

La calibration des âges radiocarbones conventionnelles exprimés en BP se fait grâce à des programmes informatiques. Le résultat est un intervalle de temps en années réelles c'est à dire des années exprimés avant ou après J.C (Jésus Christ).

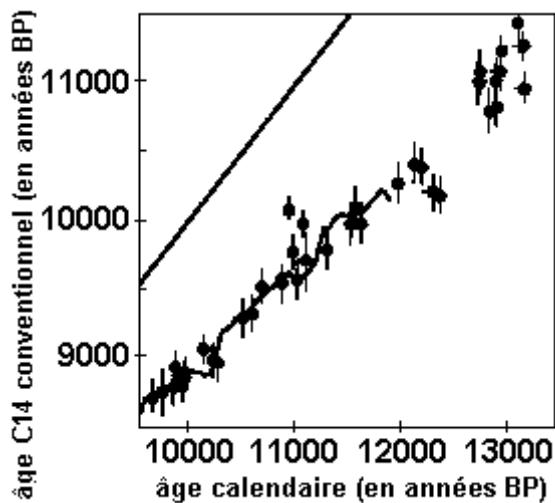


Figure 1

Dérive des âges ^{14}C par rapport aux âges calendaires obtenus par la dendrochronologie

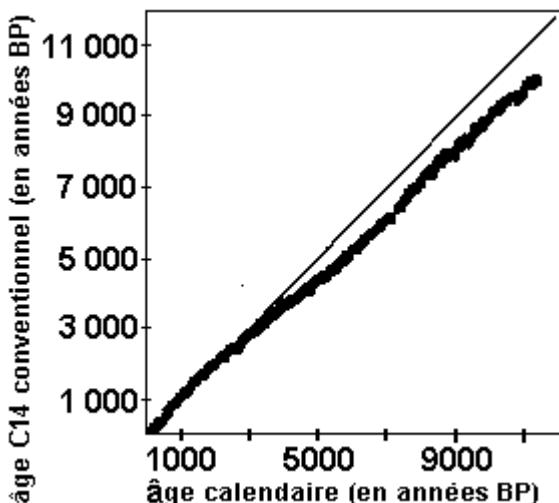


Figure 2

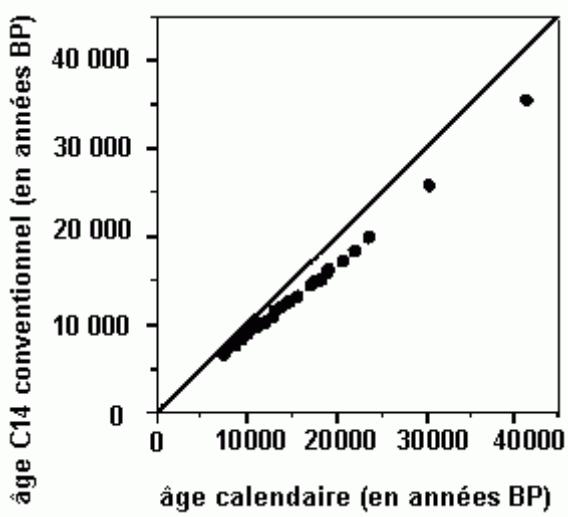


Figure 3

Dérive des dates ^{14}C par rapport aux âges calendaires obtenues par la méthode U/Th

Source : Figure 1,2 et 3 :<http://ma.prehistoire.free.fr/accueil.htm>

Etablissement de l'équation $\Delta^{14}\text{C}$

L'activité de l'échantillon normalisée $A_{SN} = A_S \left[1 - 2 \left(\frac{25 + \delta^{13}\text{C}}{1000} \right) \right]$ (9)

La relation (7) introduit dans la relation (9) donne :

$$\frac{A_s}{A_{0N}} \left[1 - 2 \left(\frac{25 + \delta^{13}C}{1000} \right) \right] = 1 + \frac{\Delta^{14}C}{1000} \quad (10)$$

$$\text{Et d'après (3), on a : } \frac{A_s}{A_{0N}} = 1 + \frac{\delta^{14}C}{1000} \quad (11)$$

Les relations (10) et (11) donnent :

$$\frac{\Delta^{14}C}{1000} + 1 = \left[1 + \frac{\delta^{14}C}{1000} \right] \left[1 - 2 \left(\frac{25 + \delta^{13}C}{1000} \right) \right] \quad (12)$$

En développant cette expression on trouve l'équation $\Delta^{14}C$:

$$\Delta^{14}C = \delta^{14}C - 2(25 + \delta^{13}C) \left(1 + \frac{\delta^{14}C}{1000} \right) \quad (13)$$

Ainsi donc on a exprimé $\Delta^{14}C$ en fonction de $\delta^{14}C$ et $\delta^{13}C$. On voit que $\Delta^{14}C$ n'est pas fonction des concentrations atmosphériques du carbone 14.

A partir d'ici on peut calculer l'âge d'un échantillon en utilisant la formule (8).

Cette formule doit impliquer les hypothèses suivantes :

- L'utilisation d'une période conventionnelle égale à 5568 ans
- La constance de la teneur du ^{14}C atmosphérique durant tout le passé
- L'utilisation de l'acide oxalique comme standard
- L'année 1950 étant choisie comme année de référence de l'âge radiocarbone : tout âge radiocarbone ayant pour référence 1950 est donné en année BP (Before Present).

IV. Techniques de comptage

1. Les comptages proportionnels

Notons qu'il existe trois moyens de mesure de la décroissance de la teneur d'un isotope radioactif en général :

- On peut détecter au cours de leur apparition les atomes fils obtenus par désintégration de l'atome père, ou bien on peut mesurer le nombre d'atomes accumulés dans un espace pendant un intervalle de temps donné. Cette méthode est très difficile, voir impossible pour le carbone 14 car l'atome fils obtenus l'azote est très répandu dans la nature donc se mélange avec les autres atomes donc difficilement détectable. Mais on peut employer cette procédure dans la méthode de datation Potassium/Argon.
- On peut aussi compter un par un tous les atomes de cet isotope qui se désintègrent pour une masse donnée d'échantillons. Il faut pour cela que chaque désintégration produise un effet (physique) détectable pour être compter. C'est le cas pour le radiocarbone, qui émet lors de sa désintégration un électron d'énergie, bien que faible, mais détectable par des appareils sensibles. L'appareil utilisé est un Compteur. On distingue plusieurs types : Compteur à scintillation gazeux, ou liquide.
- On peut aussi isoler tous les atomes de l'isotope radioactif restant après désintégration (non désintégrer). La séparation des atomes désintégrés et des atomes encore non désintégrés se fait avec un accélérateur de particules. Cet accélérateur sépare les particules en fonction de leur masse ou de leur charge. C'est la méthode des accélérateurs dite « Spectrométrie de masse par accélération (SMA) ».

a. Le comptage proportionnel à carbone gazeux

Le compteur proportionnel à carbone gazeux détecte des rayonnements ionisants dans un échantillon de gaz en utilisant des électrodes situées dans un compteur.

La majorité des laboratoires utilisent le CO_2 le CH_4 ou le C_2H_2 . Tous ces composés passe par des étapes de purification pour ne pas inclure d'autres sources d'erreurs. L'avantage de ces compteurs est leur flexibilité en termes de quantité de gaz de 1mL à 7L.

La précision des résultats dépend des échantillons mais aussi de la nature du compteur.

C'est la méthode qu'utilisait le Professeur CHEIKH ANTA DIOP dans le laboratoire de Radiocarbone à l'IFAN depuis 1966 jusqu'à vers les années 1980.

Le laboratoire, après un long arrêt, repris vers les années 2000 avec une rénovation des équipements.

La méthode est due à D e Vries et Barendson (1953) ; elle permet de mesurer l'activité du CO₂, par exemple, en phase gazeuse selon la technique mise au point par Libby.

Au lieu d'introduire le carbone solide purifié, on remplit un nouveau type de compteur fonctionnant en régime proportionnel avec le CO₂ synthétisé à partir du carbone de l'échantillon.

Le carbone de l'échantillon est transformé en gaz que sont généralement le méthane (CH₄), l'acétylène (C₂H₂) ou encore le gaz carbonique (CO₂). Ce gaz provient de l'échantillon après combustion. Il constitue le gaz de remplissage du compteur.

Dans ce type de comptage, de manière générale, c'est le CO₂ qui est le plus utilisé.

b. Le comptage proportionnel à carbone liquide

Dans ce type de compteur, on introduit l'échantillon à mesurer sous la forme d'un liquide : le benzène.

Pour cela, l'échantillon est brûlé ou traité avec de l'acide, ensuite on synthétise le benzène à partir du gaz carbonique. On ajoute à cette solution de benzène une solution de molécules organiques, dite solution scintillante.

Cette solution a la propriété d'émettre des rayonnements lumineux si elle (la solution) est traversée par une particule chargée (comme l'électron par exemple). Le détecteur à scintillation est une enceinte photoélectrique capable de recueillir, de transformer et d'amplifier le rayonnement lumineux. Il répertorie ensuite sur des échelles de comptages toutes les désintégrations.

Actuellement nous utilisons ce type de compteur à l'IFAN.

2. Le spectromètre de masse par accélération(SMA)

La technique de spectromètre de masse par accélération (SMA) pour la datation radiocarbone consiste à compter les atomes de ¹²C et les atomes ¹⁴C restants dans un échantillon que l'on veut dater. La SMA permet de discriminer les isotopes d'un même atome en fonction de leur masse et de les compter dans un intervalle de temps relativement court. L'accélérateur de particules fournit l'énergie aux ions ou aux atomes contenus dans le spectromètre.

Cette énergie permet :

- d'une part, à éliminer en cassant le bruit de fond des molécules. Ce bruit est la limite de la spectrométrie de masse classique.
- D'autre part cette énergie permet d'identifier les ions non seulement par leur masse, mais aussi par leur numéro atomique.

La SMA a une très grande sensibilité 10^6 atomes, et a la possibilité de mesurer des rapports isotopiques très faible 10-15(ultra-traces).

On sépare, par exemple, les atomes ^{14}C désintégrés à ceux restants et on fait le dosage entre eux, non pas par leur radioactivité, mais par le courant électrique que produit leur décharge, si on les a tous ionisés au préalable. Cette séparation des ions de masse 14 est d'autant plus efficace que les ions sont rapides.

Cette séparation par des masses est réalisé dans les accélérateurs spéciaux dit « accélérateur TENDEM ou T ENDETRO » qui sont d'importantes machines de physiques nucléaires dont certains sont maintenant uniquement consacrées à l'analyse radiocarbone. Il en existe au Centres des Faibles Radioactivité de Gif-sur-Yvette en France.

Chap. III : Les différentes méthodes de datation

Le développement des sciences, dans la première moitié du XIX^e, a permis la mise au point des méthodes permettant de dater des matériaux témoins de nos origines, de notre évolution et des étapes qui ont composé notre histoire. La restitution de l'histoire de la Terre et de l'Homme ne peut se faire sans la mesure du temps qui permet d'établir la chronologie des événements. Cette chronologie peut se faire par des datations.

On peut classer les méthodes de datation de deux façons :

Méthode de datation « relative »

Méthodes de datation « absolue »

I. Les méthodes de datation dites « relatives »

Relative puisqu'il ne nous donne pas des dates chiffrées, mais permet juste de comparer, afin de révéler le plus jeune ou le plus vieux entre deux objets. Cette méthode permet de donner des successions d'événements sans préciser exactement les années. Il existe quatre principes de bases qui régissent les règles de datation « relative »

a-) Principe de superposition

Les couches les plus récentes recouvrent les couches les plus anciennes.

b-) Principe de continuité

Les lois physiques sont les mêmes, quelque soit le temps et le lieu; sur Terre comme dans l'Espace. Ce principe stipule que les couches sédimentaires définies par le même faciès ont le même âge sur toute son étendue, et deux couches présentant le même contenu paléontologique, même éloignées, sont du même âge.

c-) Principe de recouplement

Toute modification d'une strate (pli, faille, érosion, filon, intrusion....) est postérieure aux structures qu'elle affecte.

d-) Principe d'inclusion

Le contenu est plus vieux que le contenant.

Il existe plusieurs méthodes de datations relatives. Parmi eux on peut citer :

1. La Typologie

La typologie s'appuie sur le principe selon lequel les formes d'objets (silex, poteries, vêtements....) évoluent en fonction du temps. Les modes, les techniques, les habitudes, les significations de ces objets permettent de tenter une reconstruction d'une chronologie relative.

2. La Palynologie

La palynologie étudie les éléments fossilisés constitués d'une paroi organique. Elle porte son étude sur les pollens (vecteur mâle des plantes à fleurs) et des spores (vecteur mâle de la dissémination pour les mousses et les champignons). Elle permet donc de reconstituer les végétations, les cultures...bref les relations entre l'homme et la nature.

Comme disaient F.Malrain,V.Matterne,P.Méniel :Les paysans gaulois, Errance, Paris,2002 « Les données palynologiques font apparaître la présence de prairies puis de champs à proximité des fermes durant la période gauloises tandis qu'au début de notre ère la tendance avec des champs plus près de l'habitat et des parois plus éloignés »

3. La stratigraphie

La stratigraphie est une discipline des sciences de la Terre, il étudie la succession des différentes couches géologiques ou strates (couches de roches ou couches de sol). Elle permet de reconstituer les événements géologiques.

4. La Paléontologie

La paléontologie étudie les anciennes traces de vie sur Terre. Elle supporte donc la théorie d'évolution.

La méthode de datation dite « relative » pose souvent des problèmes de fiabilité. Ces principes de base ne sont pas toujours respectés.

Il y'a souvent des modifications inattendues, qui ne sont pas prise en compte par ces principes. Toutefois la méthode reste toujours applicable et constituent un support très important dans l'étude chronologique du passé et supporte bien attendue la méthode dite « absolue ».

II. La méthode de datation dite « absolue »

Une datation absolue donne des dates chiffrées, exprimées le plus souvent en années.

La datation absolue, dans la plupart des cas, s'intéresse aux phénomènes physico-chimiques (C'est-à-dire désintégration en général qui obéit à des lois physiques et chimiques) que subissent les objets préhistoriques à dater. Le calcul du degré de transformation de ces phénomènes permet de donner un âge à ces objets.

Nous subdivisons les méthodes de datation « absolue » en quatre groupes.

1. Les méthodes basées sur les phénomènes radioactifs

a. Les méthodes directes

Les méthodes directes utilisent une loi de désintégration décroissante ; l'idée même a été émise à l'origine de la méthode, par LIBBY. Cependant cette méthode, nous le verrons dans la suite, suppose d'avoir une information sur la quantité de l'isotope initiale et celle de ce même isotope pendant la mesure, et à partir de là, on peut déterminer l'âge.

- La datation au Carbone 14

Principe : l'isotope ^{14}C se désintègre avec une période “conventionnelle” de 5568 ans. La mesure de la teneur isotopique restant du ^{14}C dans un échantillon comparée à la teneur de ce ^{14}C dans ce même échantillon juste au moment de la disparition du ^{14}C permet de nous donner des âges radiocarbones.

Technique de datation : Compteurs, Spectrométrie de masse par accélération

Période datée : Le ^{14}C permet de dater jusqu'à 40 000 ans.

Matériaux datées : Charbon de bois, os (humains et animaux) bois, cuirs, Tissus, peintures, matériaux organiques et carbonatés etc.

Limite : Le ^{14}C ne permet pas d'aller au-delà de 40 000 ans environ. Cependant les nouvelles technologies de datation et de calibration permettent de reculer cette date.

Applications : Nombreuses et variées notamment en Géochimie, Archéologie, Océanographie, en climatologie....

- La méthode Potassium/Argon : K/Ar

Principe : Les roches magmatiques contiennent un isotope ^{40}K qui se désintègre en ^{40}Ca et en gaz inerte l'argon ^{40}Ar .

La datation est basée sur la proportion dans la roche du potassium restant et de l'argon formé. En mesurant la proportion ^{40}K et de l' ^{40}Ar , on peut calculer l'âge par exemple d'une roche.

Technique de datation : Spectrométrie de masse par accélération (SMA)

Période datée : On sait que le Potassium se désintègre par branches selon le schéma réactionnel suivant :

88,2% de ^{40}K se transforme en : $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^-$

avec $\lambda_1 = 4.962 \cdot 10^{-10}$ Année-1

et seulement les autres 11,8% donnent : $^{40}\text{K} + e^- \rightarrow ^{40}\text{Ar}$

avec $\lambda_2 = 0.581 \cdot 10^{-10}$ Année-1.

La loi de désintégration du ^{40}K est $N(t) = N_0 [e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}]$

A $t=T$; $N=N_0/2$: la période T de désintégration du potassium devient :

$T = \ln(2) / (\lambda_1 + \lambda_2) = 1,25 \cdot 10^9$ ans.

Comme la période de désintégration du potassium est très grande, la méthode potassium/Argon permet de déterminer jusqu'à des milliards d'années donc jusqu'à des ères très reculées de l'histoire.

Matériaux datées : Roches magmatiques, volcan

Limites : La méthode K/Ar ne permet pas la datation au dessous de 40 000 ans

Applications : Datation de toute l'histoire de l'humanité, chronologie du paléolithique ancien.

b. Les méthodes isochrones

Les méthodes isochrones cherchent à déterminer cette inconnue sur la quantité de l'isotope initiale, en supposant l'homogénéité de cette teneur sur l'échantillon lorsqu'il s'est formé originellement pour tout échantillon appartenant à cette ère.

- Méthode de datation par Uranium/Thorium

Principe : La désintégration de l'Uranium donne l'apparition du Thorium. La détermination par des procédés physico-chimiques du rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ permet la datation. L'uranium est généralement contenu dans les carbonates, elle se mélange avec les autres isotopes. Quand un système contenant ces isotopes est isolé, leur concentration revient progressivement dans un état d'équilibre.

Technique de datation : Spectrométrie de masse

Période datée : de 40 000 à 300 000 ans

Matériaux datées : Sédiment de stalagmites, coraux, squelettes, coquillages

Applications : datation des sites du paléolithique moyen

Limite : L'Uranium est un élément naturel mobile donc qui se mélange très vite avec les autres éléments dans la nature et par conséquent très difficile à isoler.

- Méthode de datation par le couple Rubidium/ Strontium

Principe : Ceux sont deux isotopes (^{85}Sr et ^{87}Sr) présents dans les roches à l'état de traces. On cherche à connaître la quantité de rubidium et de strontium piégée dans le matériau au moment de sa formation. Le travail consiste donc en la mesure des abondances relatives de ces éléments par rapport à un élément de référence le strontium 87 qui n'est pas radioactif.

Période datée : Jusqu'à 5 milliards d'années

Matériaux datées : roche, pierres....

Limite : Le ^{87}Sr initiale est très difficile à mettre en évidence.

Applications : Etudes géochimiques pour la diffusion des éléments.

2. Les méthodes basées sur des défauts cristallins

- La thermoluminescence

Principe : Certains matériaux stockent de l'énergie au fur et à mesure qu'ils subissent des rayonnements de types β , λ , α émis par des isotopes radioactifs, des rayons X ou des rayons cosmiques.

Ces matériaux chauffés à une certaine température environ 500 °C restituent cette énergie stockée sous forme de photons. Le calcul du nombre de photons émis par un détecteur permet de mesurer la quantité d'énergie absorbée.

Technique de datation : Par un appareil de thermoluminescence

Période datée : de 200 000 à 400 000 ans

Matériaux datées : terres cuites, pierres brûlées

Limites : saturation de stockage d'énergie pour certains matériaux, les matériaux doivent contenir suffisamment d'énergie pour être sensible à une irradiation, ils ne doivent pas non plus subir une autre irradiation artificielle avant l'analyse.

Applications : Apport à l'archéologie, utile dans les musées

- La résonance paramagnétique électronique (RPE) ou résonance de spin électronique (ESR)

Principe : Cette méthode est identique à celle utilisée par la thermoluminescence. La mesure de la dose archéologique se fait sous champ magnétique intense par irradiation par une onde électromagnétique. Ce qui permet d'avoir le nombre d'électrons piégés, donc l'énergie stockée.

Période datée : jusqu'à 1 millions à 5 millions d'années

Matériaux datées : coraux, émail dentaire, ossements...

Applications : en archéologie, datations de sites du paléolithique, datation non destructives...

- Les traces de fission

Principe : Cette méthode concerne les déchets radioactifs causés par des particules nucléaires dans un métal ou un verre.

La datation est calculée en comparant la densité de traces de fission spontanée avec des traces de fission induite volontairement.

Période datée : 40 000 à 1 millions d'années

Matériaux datées : météorites, tectites.....

Technique de datation : méthode de Physique du solide

3. Les méthodes basées sur des phénomènes de diffusion

Hydratation de l'obsidienne

Principe : Cette méthode est utilisée pour calculer les âges d'objets fabriqués en obsidienne. L'obsidienne est une roche volcanique vitreuse, riche en silice. Lorsque l'obsidienne est taillée la couche superficielle s'hydrate progressivement. On peut dater un objet en fonction de l'épaisseur de la couche hydratée.

Technique de datation : Méthode de Physique du solide

Période datée : 200 à 200 000 ans

Matériaux datées : matériaux vitaux

Limite : L'hydratation varie selon les régions, il donc nécessaire de faire une étude inverse ou comparée sur des objets en obsidienne dont on connaît déjà les dates pour établir une relation entre l'épaisseur de la couche hydratée et l'âge de l'objet.

4. Les méthodes basées sur des phénomènes cycliques

- La dendrochronologie

Principe : Le principe consiste en la lecture des anneaux de croissance d'arbres. Les successions des cernes sont complétées, mesurées, comparées afin de remonter le temps et trouver des dates.

Période datée : Jusqu'à 11 000 ans BP

Matériaux datées : Feuilles, arbres

Limites : cette méthode nécessite un bon échantillonnage spatial et temporel

Applications : Cartographie, commerce du bois, signature climatique ...

- L'archéomagnétisme

Principe : Les échantillons ayant subit une cuisson conservent sous forme d'une aimantation la direction et l'intensité du champ magnétique terrestre quand ils subissent un chauffage.

La connaissance de cette variation du champ en fonction du temps permet de dater un four ou un foyer, par exemple, à partir de son aimantation.

Période datée : jusqu'à plusieurs milliers d'années

Matériaux datées : matériaux ferromagnétiques, four de poteries ou four domestique....

Limite : il faut que le matériau à dater n'ait pas été déplacé depuis sa dernière chauffe (pour qu'il garde constant l'orientation exacte qu'il donne).

Chap. IV : Méthodes de datation par un compteur à scintillation liquide au Laboratoire de Radiocarbone à l'IFAN

I. Présentation et description du matériel expérimental

1. Le compteur

Un détecteur à scintillation est composé d'un scintillateur et d'un photomultiplicateur.



Photo : Spectromètre-analyseur à scintillation liquide *Tricard 3170 TR/SL* installé dans la salle Théodore Monod du Laboratoire par le Radiocarbone de Dakar

Le scintillateur est constitué d'un matériau qui permet la conversion de l'énergie de la particule incidente généralement des particules β -, α ou γ ou encore des particules cosmiques...en photons. Ces photons sont reçus par la photocathode du photomultiplicateur qui émet des électrons ; ces électrons à leur tour viennent heurter une dynode qui réémet plusieurs électrons vers une autre dynode. L'ensemble des électrons est collecté par l'anode qui constitue le signal de sortie du détecteur à scintillation. Ce signal est proportionnel à l'énergie de la particule incidente.

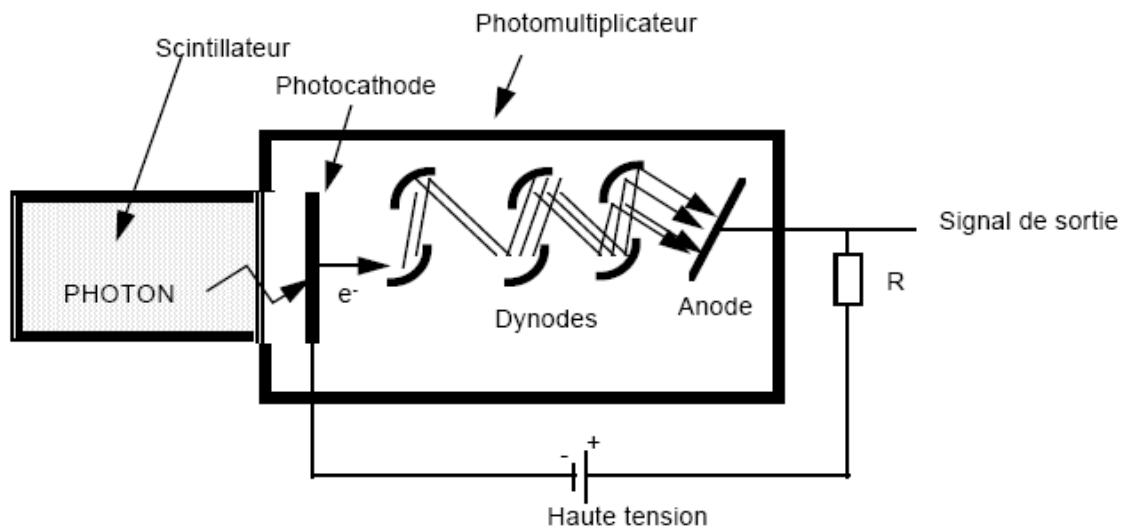


Schéma : Principe de détecteur à scintillation (S.CHALLEMEL :(2000))

Lorsqu'un atome de carbone 14 se désintègre, il émet une particule β^- et un neutron qui se partage de manière aléatoire l'énergie du noyau de ^{14}C .

Mais c'est la particule β^- qui seule joue un rôle dans le comptage en scintillation liquide, il possède une énergie sous forme cinétique. Cette énergie est théoriquement comprise entre 0 et 156 KeV.

La particule transmet son énergie, aux molécules du milieu dans lequel elle se trouve c'est-à-dire dans la solution scintillante : soluté (liquide scintillant) et solvant (benzène de l'échantillon).

Le solvant transforme l'énergie de la particule β^- en énergie d'excitation et transmet cette nouvelle énergie aux molécules du soluté. Celles-ci sont donc excitées et retournent dans leur état fondamental en émettant un photon lumineux. Le nombre de photons émis est proportionnel à l'énergie de la particule β^- .

Le nombre de photons émis est enregistré par un compteur.

3. Le banc de synthèse du benzène



Photo : Banc de synthèse du benzène du Labo. Radiocarbone IFAN:

Le principe de fonctionnement du banc de synthèse de l'échantillon broyé jusqu'à la synthèse du benzène sera expliqué plus bas.

II. Prétraitement des échantillons

1. Prétraitement physique

Tout d'abord l'échantillon doit être prélevé avec soin dans le gisement où il se trouve. Ensuite on enlève les impuretés physiques visibles à l'œil nu. Il s'agit principalement des radicelles qui entourent ou perforent les charbons ou les os, et d'autres corps étrangers en général contenu dans l'échantillon.

Ce traitement se fait à l'aide des pinces pour les corps étrangers visibles à l'œil nu.

Ensuite on utilise une loupe pour grossir les objets afin de mieux voir les impuretés plus petites. Après on lave proprement l'échantillon avec de l'eau distillée, ensuite à l'étuve et on procède par séchage.

L'échantillon est sorti à l'étuve, pour passer à la deuxième étape de traitement.

2. Prétraitement chimique

Certains échantillons sont contaminés depuis leur formation sur la terre (bois, feuilles...) sous la terre (os ...) etc.

En dehors des impuretés physiques, il y'a aussi les impuretés carbonées étrangères qui polluent l'échantillon.

Parmi les principaux polluants on peut citer :

Les acides humiques

Les halogènes comme le calcium ou le magnésium....

Les radicelles

Etc.

Le prétraitement de l'échantillon dépend du type d'échantillon en place :

- Les os : de manière générale on utilise la méthode Login

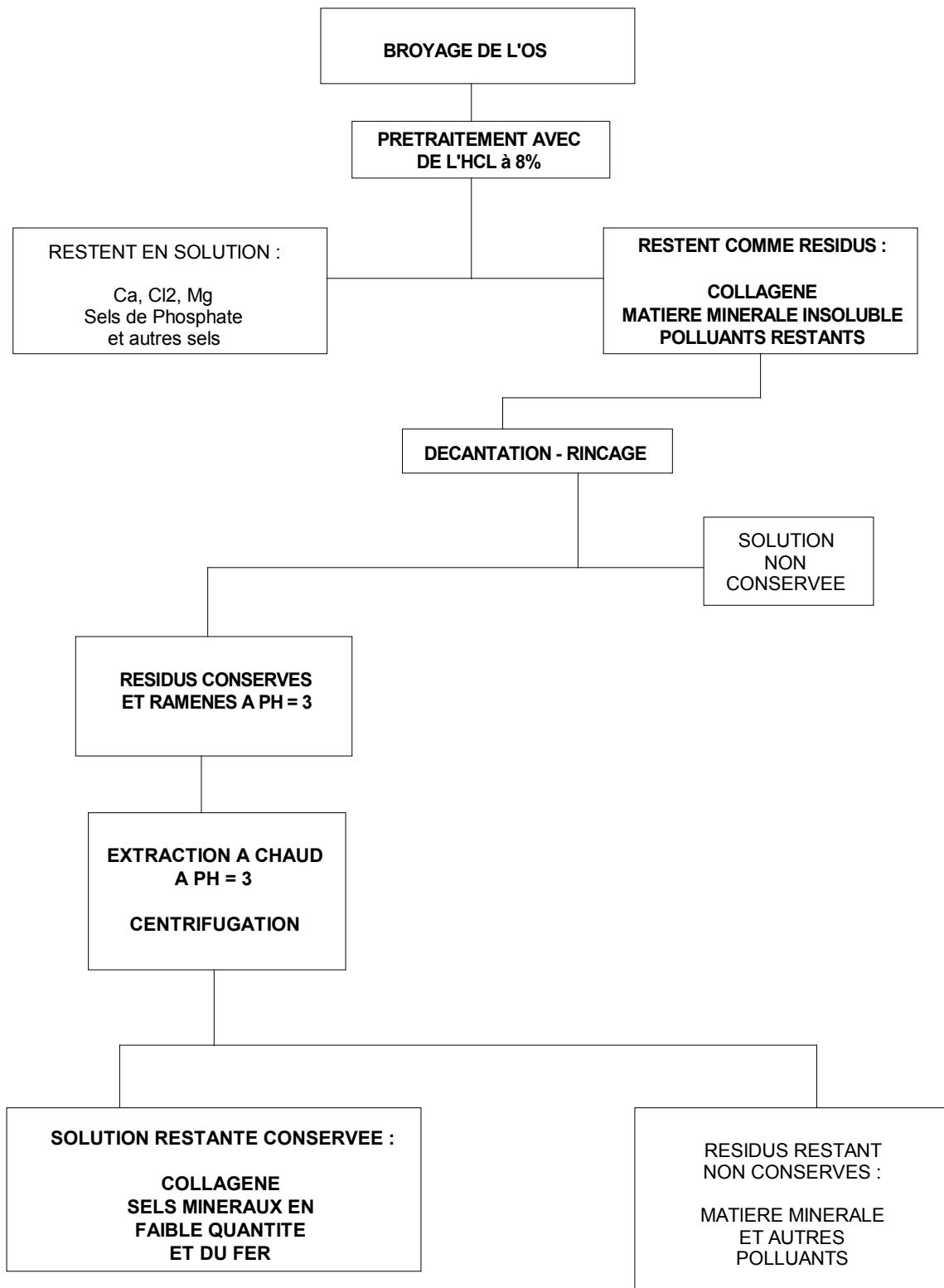


Schéma du principe de la méthode (Login 1977)

Cependant on peut utiliser l'apatite de l'os qui est une partie minérale principalement constitué de phosphate de calcium. L'utilisation de cette partie de l'os a plus de rendement qu'avec le collagène.

- Les matières organiques : bois, charbon de bois, tourbes...

On fait une attaque HCl à N=2 à froid suivi d'une réaction alcaline avec NaOH à 0.5N à chaud avec rinçage intermédiaire. Ces concentrations peuvent parfois varier, cela dépend des échantillons.

- Les carbonates : coquilles marines.....

On fait une attaque acide HCl à 2N dans la couche superficielle afin de ne donner que le "cœur" de l'échantillon.

Nous tenons à préciser que ces modes de traitements chimiques peuvent varier. Tout dépend de l'échantillon utilisé et de l'expérimentateur et des conditions expérimentales. Donc de manière résumée : l'acide élimine les polluants tels que : les carbonates de Calcium ; les carbonates de Magnésium et tous les composés solubles dans l'acide. La soude élimine les polluants tels que : les acides humiques, les acides fulviques.

On met ce mélange sous une hotte et on chauffe entre 10 à 15mn. On rince ensuite avec de l'eau distillée jusqu'à un PH neutre. Pour obtenir un PH neutre, on attaque les coquilles par une solution d'acide. Et s'il s'agit d'un échantillon de charbons, on procède par une attaque Acide Base (comme base, on utilise souvent la soude NaOH 5 à 8%).

Et pour la sécurité, tout se passe dans la hotte pour éviter d'avaler les vapeurs.

Après avoir mis au PH neutre, on amène l'échantillon à l'étuve pour le sécher et déterminer sa masse.

Il restera maintenant à broyer l'échantillon, sans pour autant avoir de la poudre, mais de petits grains et on détermine encore la masse de l'échantillon broyé.

La masse qu'on doit prendre pour continuer à la prochaine étape doit varier entre 15 à 21 grammes (Il est souhaitable que cette masse soit proche de 15 g). Enfin on mélange cet échantillon avec du Lithium (Li) pour une masse proportionnelle à la masse de l'échantillon.

Ce mélange obtenu, on passe à la 3^e étape.

3. Synthèse du benzène

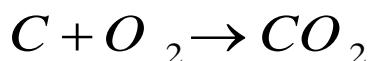
La méthode consiste à transformer le CO₂ provenant de l'échantillon en un composé organique liquide comme le benzène par exemple.

Cependant il faut noter que plusieurs autres composés organiques ont été d'abord utilisés.

Il s'agit entre autres du méthanol, du toluène ou encore du para aldéhyde mais ne faisaient pas l'affaire car ils sont très difficile à synthétiser et n'ont pas un bon rendement.

Tout se passe à la salle de synthèse du benzène.

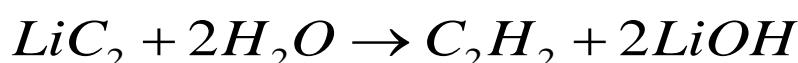
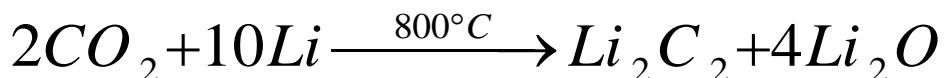
On introduit ce mélange d'échantillon organique (bois, charbons, tourbes....) dans un four d'un banc de synthèse. Ce banc est hermétiquement fermé et on fait un vide primaire. On allume le four qui est connecté à un moniteur programmé pour l'arrêt du four après 4heures de temps de chauffage pour une température de 800° C. Ce chauffage est accompagné d'un balayage d'oxygène. La réaction qui se déroule est la suivante :



On refroidit ensuite pendant 4 heures.

Ensuite on attaque l'échantillon par un acide (HCl à 8%) ou une base (NaOH) selon que l'échantillon soit de nature acide ou basique. L'objectif visé dans cette étape est la neutralisation pH=7(neutre) du produit final de l'échantillon en cours de traitement.

Le four est aussi connecté à un récipient contenant de l'eau distillée. Avec cette eau on fait une hydrolyse par petit jets d'eau sur le mélange. Cette réaction d'hydrolyse (coquilles+Li) conduit à la formation de l'acétylène C_2H_2 .



Cet acétylène est captée par des pièges à azote. L'eau contenu dans le mélange est bloqué par une autre eau à -75°C.

On déplace le C_2H_2 à l'autre extrémité du dispositif et on le fait passer dans un ballon contenant du Vanadium à 50°C.



Il se passe donc une réaction qui aboutit au benzène. Le benzène est récupéré et liquéfié avec de l'azote et de l'alcool. La réaction donne 2 grammes de benzène.

4. Comptage

L'énergie du noyau de carbone 14 est aléatoirement partagée entre la particule β - et le neutron qu'il émet lors de sa désintégration. L'énergie de la particule β - seul nous intéresse ici car elle joue un rôle dans le comptage. Cette énergie, elle est sous forme cinétique, elle varie théoriquement entre 0 à 156 KeV.

On fabrique une solution scintillante qu'on met dans un flacon de comptage.

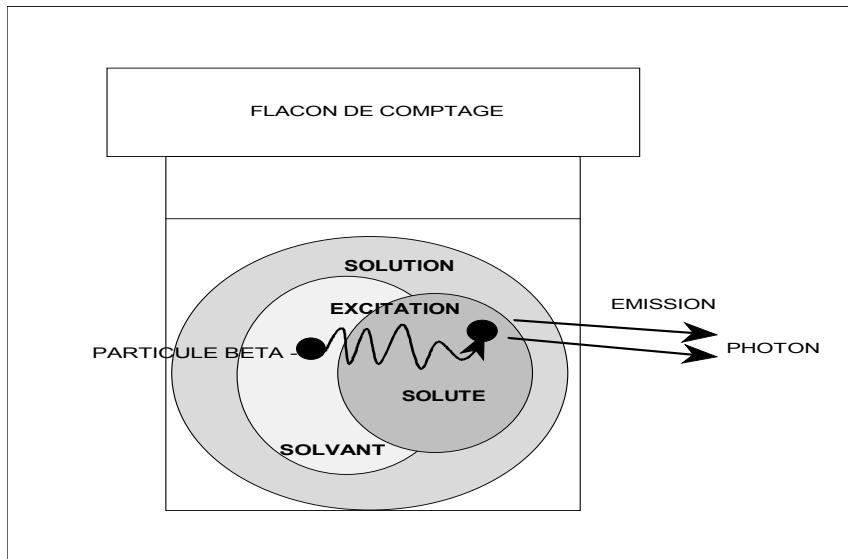


Figure 4 : Flacon de comptage en scintillation liquide ^{14}C

Dans le flacon, les particules β - transmettent leur énergie par collisions aux molécules de la solution scintillante.

Le solvant transforme son énergie reçue en énergie d'excitation et transmet cette nouvelle énergie aux molécules du soluté. Ces dernières sont donc excitées, elles retournent dans leur état fondamental en émettant un photon lumineux. Le nombre de photons émis est fonction de l'énergie de la particule β -.

Ce flacon est ensuite amené dans le compteur à scintillation liquide plus précisément dans la chambre de comptage entre deux photomultiplicateurs (PMT) disposés de manière diamétralement opposés.

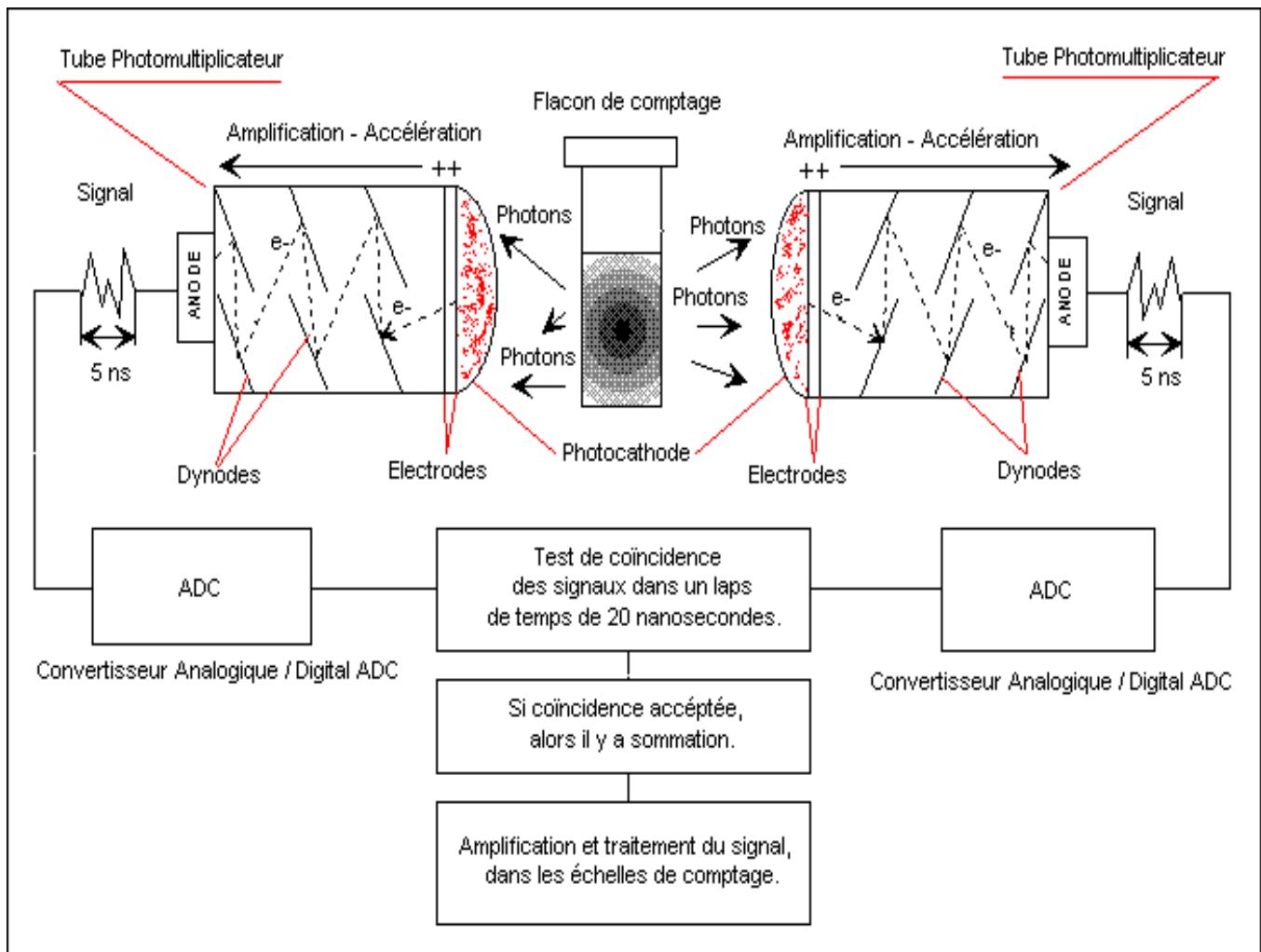


Schéma : processus de comptage des photons émis par la solution scintillante

Les photons lumineux ainsi émis sont captés par chaque photomultiplicateur par une cathode. L'impact des photons sur les photocathodes produit des photoélectrons, qui sont ensuite accélérés par des dynodes situées à l'intérieur du tube PMT, déclenchant ainsi une cascade d'électrons. Ce flux d'électrons induit une impulsion électrique qui sera détecté sur l'anode finale de chaque PMT. L'impulsion a une amplitude proportionnelle au nombre de photons détectés. Le signal provenant de chaque photomultiplicateur est enregistré dans un circuit électrique qui ne produira un véritable signal de sortie que si les signaux des PMT arrivent en même temps.

Si les impulsions satisfont à la condition de coïncidence, elles sont sommées, amplifiées et enregistrées puis accumulées pour donner le nombre de désintégration. Durant 2 jours le compteur tourne. Ainsi pour le calcul de l'activité, on prend la moyenne des activités données pour tous les cycles.

On utilise cette activité pour faire des calculs de détermination de l'âge de l'échantillon. Ce calcul est une différentiation entre ce carbone obtenu et le carbone atmosphérique.

Cependant comme toute mesure, celle-ci est accompagné de plusieurs incertitudes dont :

- Le quenching également appelé affaiblissement lumineux car elle correspond à une diminution du nombre de photons émis par l'échantillon.

Il peut être d'ordre chimique : ce quenching se traduit par une perte d'énergie lors du transfert d'énergie entre le solvant et le soluté. Toute l'énergie n'est donc pas transformée en photons. Ou d'ordre physique : il s'agit d'une atténuation des photons émis par la solution car elles sont parfois absorbés ou dispersés.

- La chimiluminescence : c'est une production de lumière suite à une ou des réactions chimiques dans la solution scintillante.
- La photoluminescence : elle provient de l'exposition du mélange scintillant à la lumière du soleil ou d'une lampe ultra-violet.
- Le bruit de fond : il y'a le bruit de fond instrumental lié au fonctionnement du PMT, le de bruit de fond provenant des radiations cosmiques, les radiations dues au Potassium 40 contenu dans le verre des flacon de comptage, et des radiations dues au tritium(³H) contenu dans l'eau utilisée pour la production de l'acétylène.
- Le bruit aléatoire : ils sont introduits dans le circuit électrique par des interférences de lignes (haute tension) et des interférences de fréquence (radio, moteur...). Il contribue aux impulsions.

D'autres erreurs, moins fréquentes peuvent influer sur nos résultats, il s'agit de :

- L'électricité statique : le plastique se charge en électricité statique. Quand il se décharge il émet des impulsions. Donc il est préférable d'utiliser un flacon en verre pour diminuer cet effet.
- La variation du volume de la solution dans le flacon : quand le volume diminue, la lumière émise par les photons peut tomber sur les parties non efficaces du PMT. Les photons pour mieux être détectés doivent tomber sur les centres des PMT.

Toutes ces erreurs ont pour conséquence de créer d'autres impulsions. Ces derniers s'ajoutent aux impulsions dues à la désintégration du ¹⁴C.

De nos jours de puissants et sophistiqués compteurs sont maintenant utilisés pour annuler la majeure partie de ces erreurs.

Mais le bruit de fond ne peut pas être éliminé par un compteur. Ce bruit de fond dépend du type de compteur dont on dispose.

Au Laboratoire de Radiocarbone de l'Ifan, le bruit de fond du compteur à scintillation est de 0.2 CPM (Coups Par Minute). Le compteur est de type Tri-Carb 3170TR/SL.

III. Exploitation des résultats

Quelque soit le type de matériel utilisé pour la mesure de la teneur en radiocarbone pour un échantillon donné, on cherche à obtenir le nombre N_t de noyaux restants après désintégrations d'un noyau radioactif pour un temps suffisamment long. Cette valeur de N_t étant obtenue, on l'exprime en fonction de N_0 qui représente le nombre de noyaux initiaux de l'échantillon. Ensuite on tire la valeur de l'âge avec la formule :

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

On donne à N_0 une valeur arbitraire conventionnelle en ne tenant pas compte des fluctuations de la teneur originelle dans le passé et de l'influence des activités récentes de l'homme. Cette valeur, nous l'avons dit est égale à celle de l'atmosphère en l'année 1850 après J.C, donc n'ayant pas encore subit l'effet SUESS (1955) ni l'effet de bombe.

Ceci étant il est donc distribué un standard universellement adopté (Standard International du NBS/National Bureau of Standard) par tous les laboratoires et qui permet d'avoir un âge ^{14}C .

On a choisi l'année 1950 qui serve de point de départ au calendrier carbone 14.

Le standard utilisé provient d'un échantillon de bois de 1850 mais dont la mesure de sa teneur a été faite en 1950. Toute mesure de la teneur d'un échantillon donne des âges exprimés en Before Present c'est à dire qui ont pour origine l'année 1950=0 BP. L'âge radiocarbone exprimé en année BP présente toujours une marge d'erreur.

Puisque les phénomènes de désintégrations radioactives sont tout à fait aléatoires, ils obéissent à certaines lois de probabilités.

En plus les compteurs ne permettent pas de connaître la valeur exacte de la teneur en radiocarbone, mais la moyenne des activités durant les 2 à 3 jours de marche du compteur.

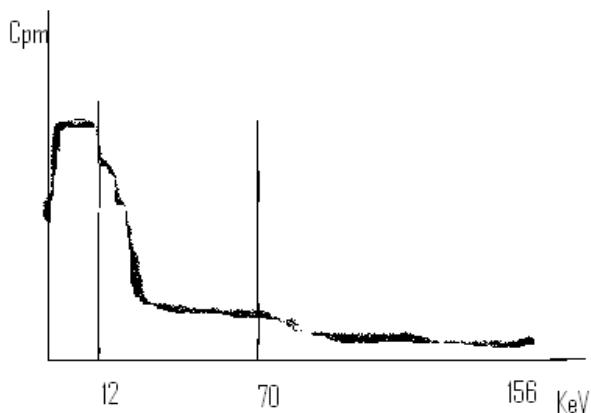
Les résultats obtenus présentent donc nécessairement des incertitudes qui dépendent de plusieurs facteurs dont :

- La durée du temps de mesure : Pour les compteurs ce temps doit être assez long (2 à 3 jours par exemple) pour qu'on puisse trouver une moyenne de coups par minute plus étroite donc plus appréciable.
- La faible énergie du rayonnement radioactif qui peut parfois échapper au détecteur même quelque soit sa sensibilité.
- Le bruit de fond de la machine
- La très faible teneur de ^{14}C dans les matières carbonées à dater

Ces incertitudes se réduisent considérablement avec des logiciels de calibrages informatiques par exemple CALIB 4.0 .Ce logiciel permet de faire une calibration sur un intervalle de 0 à 24 000 ans.

Au Laboratoire de l'IFAN, le logiciel utilisé pour le comptage est : Quanta Smart sous Windows NT.

Pour l'exploitation du spectre obtenue, on travaille sur la partie dite « région d'intérêt ».Ce spectre est une sommation du spectre ^{14}C et tous les spectres des autres manifestations tels que le bruit de fond.



La zone d'intérêt ou fenêtre d'énergie est entre 12 et 70 KeV. En dehors de cette intervalle, il y'a les autres effets lumineux autre que l'effet lumineux due aux photons provenant de la désintégration du ^{14}C .

Dans la théorie le spectre ^{14}C peut atteindre 156 KeV, mais dans la pratique elle ne dépasse pas 80 KeV.

Par convention internationale, les âges carbone sont exprimés en BP .Chaque échantillon analysé est affecté d'un code appelé code laboratoire.

Depuis la réhabilitation du laboratoire le code **DK** est utilisé à la place **Dak** utilisé précédemment par le Prof Cheikh Anta Diop

Comme toute mesure expérimentale la déviation standard qui exprime l'intervalle d'erreurs est calculé. Pour notre laboratoire les déviations standard sont inférieures à 100BP.

Exemple : DK-1 est l'échantillon du Khant GPS prélevés à 0.3m de profondeur des cotes nord du Sénégal. L'échantillon révèle un âge égal à 2448 ± 34 ans BP (Before Present c'est-à –dire l'origine est l'année 1950).

Puisque l'âge ayant subit toutes les ajustements nécessaires est donné dans un intervalle de dates, cette même valeur en BP donne [195-57] ans BC (Before Christ c'est-à-dire des dates calibrés Avant Jésus Christ).

On fait précéder ces chiffres d'une référence portant le sigle du laboratoire de mesure par exemple et le numéro d'ordre qu'on attribue à cette analyse.

IV. Conclusion

Les difficultés de mesures exactes des datations ^{14}C sont :

- La nécessité d'avoir un appareillage très sensible et très stable : il y'a toujours des imperfections infimes mais non négligeables sur les appareils et qui influent beaucoup sur les résultats.
- La connaissance parfaite à chaque instant du bruit de fond : Pour les compteurs qui nécessite 2 à 3 jours de mesures, on ne peut pas connaître avec exactitude les valeurs des bruits de fond à chaque instant. On fait une moyenne, ce qui n'est pas en toute rigueur fiable.
- L'obligation de compter plusieurs fois sur des compteurs différents pour espérer avoir une moyenne précise

V. Applications

Les applications sont nombreuses et variées :

En Océanographie : l'océanographie est une discipline scientifique qui a pour objectif l'étude des mers et des océans. (cf. Microsoft Encarta 2007).

Dans ce mémoire, nous étudions des échantillons végétaux ou coquilles...provenant des mers ou des océans.

Cette étude a pour but de faire l'étude de l'effet réservoir et de déterminer sa valeur dans les côtes nord- ouest du Sénégal.

La détermination de l'âge réservoir(R) des eaux océaniques de surface permet d'évaluer l'intensité de l'upwelling dont dépend la valeur de R.

L'upwelling est la remontée d'une certaine quantité d'eaux profondes vers les eaux de surface.

Pour cela on étudie la différence entre âges d'une coquille marine et d'un échantillon organiques comme le charbon ou les végétaux continentaux etc.

Le cas étudié ici est un échantillon de coquilles marines du *Khant* au nord du Sénégal. Ce site est situé à 22 km au nord-est de Saint-Louis dans une vaste étendue d'eau correspondant au delta du fleuve Sénégal. Le site s'étend de 14 km de long et de 1,7 km de large. Ce site est découvert en 1969 par Ravisé. D'après les quelques investigations menées par celui-ci, le site du khant aurait vécu il y'a 5000 BP.

Les résultats obtenus pour quatre échantillons sont consignés dans le tableau suivant :

Code Du Labo	Nom de L'échantillon	Profondeur (m)	Activité (cpm/g)	2S%	tSIE	Age BP	Age BP calibré	Age BC calibré
DK- 1	Khant GPS	0.3	6.7052	5.35	650.21	2448±34	2448- 2006	195-57
DK- 2	Khant	2	6.33666	6.14	651.46	2633±29	2358- 2243	409- 294
DK- 3	Khant	3.2	6.5608	5.30	649.40	2663±49	2447- 2285	498- 336
DK- 4	Xoor Nook	0	6.7052	5.35	648.27	2912±29	2748- 2647	799- 698

Tableau : Echantillons de coquilles marines provenant du site *Khant* (dans le nord du Sénégal)

Valeurs des activités, des tSIE, des 2S%, de la profondeur du prélèvement et des dates correspondants à chaque échantillon.

tSIE : (Tranformed Spectral Index of the External Standard=Index Spectral de la Transformée Inverse sur le Standard Externe) : le degré de quenching est indiqué grâce à un standard externe. Son rôle est d'éliminer toutes les distorsions de spectre provoquées par des variations de volume, les quenching chimiques, physiques....Les tSIE permettent de mesurer la qualité de transmission de l'émission β - au travers du soluté.

Age ^{14}C BP: Age radiocarbone conventionnel donné en année BP (Before Present)

Cal Age ^{14}C BP: calendrier radiocarbone. Il a pour origine l'an 1950

Cal Age ^{14}C BC: Age radiocarbone donné en BC (Before Christ).

2S%: déviation standard .Pour tenir compte du caractère aléatoire de la désintégration du Carbone 14, les résultats du comptage sont accompagnés d'un nuage d'incertitudes, qui correspond à 2 fois l'écart type sur la mesure.

La calibration des âges radiocarbones se fait avec des programmes de calibration.

Ces résultats prouvent que le système de datation au carbone 14 installé au Laboratoire de Dakar est un outil performant et à rendement qualitatif. En raison du bruit de fond réduit l'âge peut être calculé avec précision.

Des enquêtes ont été auparavant mené sur des coquilles marines situées dans un emplacement semblable, dans la partie nord du Sénégal. Les résultats sont concordants et ils peuvent être utilisé pour l'arrangement chronologique complet pour différents niveaux entropiques d'âges allant du Néolithique à l'âge du Fer.

En Archéologie : la datation au ^{14}C est très utilisé pour dater des composés organiques tels que les roches calcaires, les coquilles, les bois, les ossements etc. jusqu'à des périodes très reculées par exemple 51 000 ans. Ces datations ont également permis de retracer l'histoire de l'humanité, et celle de la terre.

Le C14 est traceur :

Dans le domaine de l'hydrologie : l'hydrologie est l'étude du comportement des eaux dans les sols. Des techniques isotopiques donnent des informations sur les mouvements, les sources et les qualités d'eau dans tous les différents environnements. Parmi ces isotopes, on peut citer le ^{14}C , le ^{13}C , le tritium, l'Oxygène 18 etc.

Pour étudier le transfert de matière, on peut utiliser des traceurs radioactifs et isotopiques de même que les traceurs chimiques fluorescents.

Son champ d'application est vaste.

En radioprotection, il contribue au projet de surveillance radiologique au niveau des mesures de la radioactivité des atomes constituants le sol, l'eau ou l'air.

Dans le domaine de l'industrie (agroalimentaire, matériaux, génie civil....) les traceurs sont utilisés pour des contrôles non destructifs des études d'écoulements, de circulations de matière, des mesures d'usures, des contrôles de la teneur, d'homogénéité...

Le domaine d'application des traceurs s'étend aussi dans la médecine.

Certaines molécules qui composent les êtres vivants subissent de temps à temps des modifications appelées mutations. Ces molécules organiques ont un squelette constitué d'atomes de carbone. On peut donc marquer ces molécules avec des ^{14}C . Ce marquage des molécules fournit des renseignements sur les mécanismes des réactions chimiques qui se produisent.

Il est donc nécessaire de disposer d'une échelle de mesure qui indique en combien de temps se produit une mutation. Les molécules étudiées sont les ADN (Acides Désoxyribonucléiques).

Les réactions étudiées en général sont les réactions de photosynthèse.

En paléoclimatologie : Cette discipline a permis d'avoir une notion sur la chronologie précise de l'enchaînement des évènements climatiques passés. Ceci grâce à la datation des échantillons tels que les sédiments marins et lacustres, les stalagmites, les coraux ou les arbres.

En mesurant aussi la teneur en ^{14}C , contenu dans un matériau volcanique, il est possible de connaître la fréquence des éruptions volcaniques et des glissements de terrain associé.

L'étude des climats passés, est venue aussi donner le rôle du CO_2 dans le réchauffement climatique.

On a pu mettre en évidence d'importantes variations dans la composition de l'air au cours des millénaires et l'existence d'un lien entre la concentration de CO_2 et la température de la terre.

La radioactivité du ^{14}C a permis de connaître les conditions de vie dans le passé à savoir sur la température, la concentration de gaz dans l'atmosphère et les océans. Par exemple on a pu constater que l'homme du Cro-Magnon avait une atmosphère 30 à 40% plus riche en ^{14}C que nous.

CONCLUSION GENERALE :

Notre travail a porté sur la méthode de datation au ^{14}C et quelques applications faites au sein du Laboratoire. Nous avons également considéré d'autres méthodes de datation. Nous les avons groupés en deux catégories de méthodes:

Méthodes dites relatives et méthodes dite absolues.

On a également fait une étude descriptive des différentes techniques de datation à savoir : méthodes des compteurs à scintillation (gazeux(CO_2) ou liquide(C_6H_6)) ou bien encore la Spectrométrie de Masse par Accélération (SMA).

Notre travail expérimental a porté sur la mesure de quatre échantillons de coquilles marines. Ceci nous a permis d'avoir les résultats suivants :

- L'activité (cpm/g) de chaque échantillon
- L'âge (en BP) et (en BC) calibré pour chaque échantillon

En termes de perspectives on pourra étudier la dérive du taux de ^{14}C ($\Delta^{14}\text{C}$) dans des sites situés au SENEGAL ou la calibration des âges radiocarbones par d'autres méthodes et techniques de datation plus modernes.

Références Bibliographiques

BARD.E(1999)

La datation au Carbone 14 fait peau neuve.

La recherche n°323. p. 52-56.

Baes C.F., Goeller H.E., Olsson R.S., Rotty R.M. (1976)

The global carbon dioxide problem.

Oak Ridge Laboratory, Tenn.

Barbetti. M. (1980)

Geomagnetic strength over the last 50.000 years and changes in Atmospheric ^{14}C concentrations.

Radiocarbon, 2. p.192-199

Challemel. S. (2000)

La datation au carbone 14.

Examen de probatoire. p. 3 -22.

Chelet. Y(2006)

La radioactivité.

Manuel d'initiation, Edition Nucléon 2006, p.374-399

DIO.P.C.A. (1974)

Physique Nucléaire et Chronologie Absolue

IFAN Dakar et les NEA. Dakar-Abidjan

Dupain-K et Germai.G

Datation par le Radiocarbone en scintillation liquide.

Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 38^e année, n° 1-2.p 50-53

Donald. H. L. (1974)

Applications of Liquid scintillation Counting

Academic Press New York and London.

Délibrias. G,

Le Carbone14.

Chapitre XV. Centres des faibles radioactivités. Laboratoire mixte CNRS-CEA.

Domaine du CNRS, BP 191190, Gif-sur-Yvette, France

Délibrias. G et Giot. P.R

Correction et Calibrations des âges ^{14}C .

Bulletin de la Société Préhistorique Française, tome 70, 1973, CNRS, n°5

Djindjan. F,
Cours de méthodologie générale de l'Archéologie. N°5
Datations absolues. Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne.
Institut d'Art et d'Archéologie (non édité)

Evin. J. (2002)
Le Radiocarbone.
Géologie de la Préhistoire, Edition GEOPRE, Perpignan, Pages 1181-1198

Evin. J. (1995)
Possibilité et nécessité de la calibration des datations C-14 de l'archéologie du Proche-Orient.
Paléorient.vol .1/1.Pages 5-16 © CNRS

Fontugne. M. (2002)
La dérive des âges carbone 14 Géologie de la Préhistoire, Edition, GEOPRE, Perpignan 1199-1205.

Fontugne. M.
Les derniers progrès de Calibrage des âges radiocarbones permettent-ils une révision des chronologies entre 25 et 50 000 ans BP ?
Laboratoires des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR1572, CEA / CNRS. P. 79-87.

Godwin. H. (1962)
Half life of radiocarbon.
Nature, p.195, 984

Guillou. H
La mesure du temps en Géologie
Laboratoires des Sciences du Climat et de L'Environnement CEA/CNRS
Gif- sur-Yvette, France

Karlen.I, Olsson .I.U, Kallberg.P, Kilicci .S,
Absolute determination of the activity of two ^{14}C dating.
Arkiv.Geofysik, vol.6, p. 465-471

Ndèye. M. (2008)
Marine reservoir ages in northern Senegal and Mauritania coastal waters.
Radiocarbon, Vol 50, Nr 2, 2008, p.281-288

Ndèye. M., Ka. O, Bocoum. H, Diallo. A. O. (2004)
Rehabilitation of the laboratories de Carbone 14 –Dakar (SENEGAL) with a super low-level liquid scintillation counting system.
Radiocarbon, vol. 46, Nr 1, p. 117-122.

Oachim. R, Tomczak. M,
On the distribution bomb Carbon -14 in the southern ocean
International WOCE newsletter, 23, p.26-28

Ravisé A, Thilman G, Marius C. (1975)
Etude d'un squelette néolithique de la région de Saint-Louis
Bulletin de l'IFAN 37/687-701

Richardin .P. and Martine. R
Un nouveau millénaire pour l'archéologie : Spectrométrie de masse par Accélérateur et datation par le carbone-14
Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France – C2RMF -UMR 171 CNRS 6, rue des Pyramides, F75041 Cedex 01

Stuiver. M and Polach. H. A. (1977)
Discussion: Reporting of ^{14}C data.
Radiocarbon, vol. 19, n° 3, .p 355-363

Stuiver.M. (1978b).
Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes.
Science. P.199-253

Stuiver M, Reimer P.J (1993)
Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes
Science, p.199-253

Siegenthaler. V., Heimann. M, and Oeschger .H (1980)
 ^{14}C variation causes by changes in the global Carbone cycle.
Radiocarbon, p.177-191

Suess. H.E (1954a)
Natural radiocarbon and the rate of exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the sea.
Proc .Williams Bay Conf. NAS-NSF. p.52

Woodwell.G.M, Whittaker.R.N, Reiners.W.A, Likens.G.E, Delwiche.C.and Botkin.D.B. (1978).
The biota and the word carbon budget.
Science, p.141, 199

TITRE : METHODE DE DATATION PAR LE CARBONE 14 ET SES APPLICATIONS

Nature du mémoire : DEA Physique Atomique et Nucléaire, présenté par
M. Matar SENE
Maître ès sciences physiques

Composition du jury :

Président : M. Ahmadou WAGUE Professeur FST/UCAD

Membres: M. Maurice NDEYE Maître-assistant de Recherche IFAN/UCAD

M. Mamadi BIAYE Maître de Conférences FASTEF/UCAD

M. Aboubacar Sadikh NDAO Maître de Conférences FST/UCAD

Présenté et soutenu le, 22 Octobre 2009 à l'I.T.N.A à 10^H00mn

Résumé

Le présent travail a porté sur l'étude de la méthode de datation par le carbone 14 et quelques une de ses applications.

Au cours de cette étude, nous avons fait dans le chapitre I, une présentation générale de l'isotope ^{14}C : sa production, ses propriétés et sa répartition dans l'Univers.

Dans le chapitre II, nous avons abordé le principe de la méthode de datation par le ^{14}C . Dans ce chapitre, nous avons également fait une étude sur les erreurs qui accompagnent la méthode et les calibrations nécessaires pour que la méthode soit applicable. En plus, nous avons décrit les différentes techniques de datation à savoir les compteurs à scintillation et la spectrométrie de Masse par Accélération.

Dans le chapitre III, nous avons fait une étude descriptive des autres méthodes de datation où on utilise le couple K/Ar ou U/Th

Dans le chapitre IV, nous avons abordé la partie expérimentale. Il consiste à la datation d'échantillons de coquilles marines à l'aide du compteur à scintillation liquide de type Tri-Carb 3170TR/SL. Grâce au compteur à scintillation dont on dispose au niveau de notre laboratoire, et que nous avons utilisé dans nos expériences, nous avons calculé les teneurs en ^{14}C de plusieurs échantillons et nous avons déterminé leur âge respectif en unité BP (Before Present).

Nous envisageons de faire, dans le futur, des études sur d'autres méthodes et techniques de datation plus modernes.

Mots-clefs : datation, carbone 14, compteur à scintillation, réservoir, calibration.