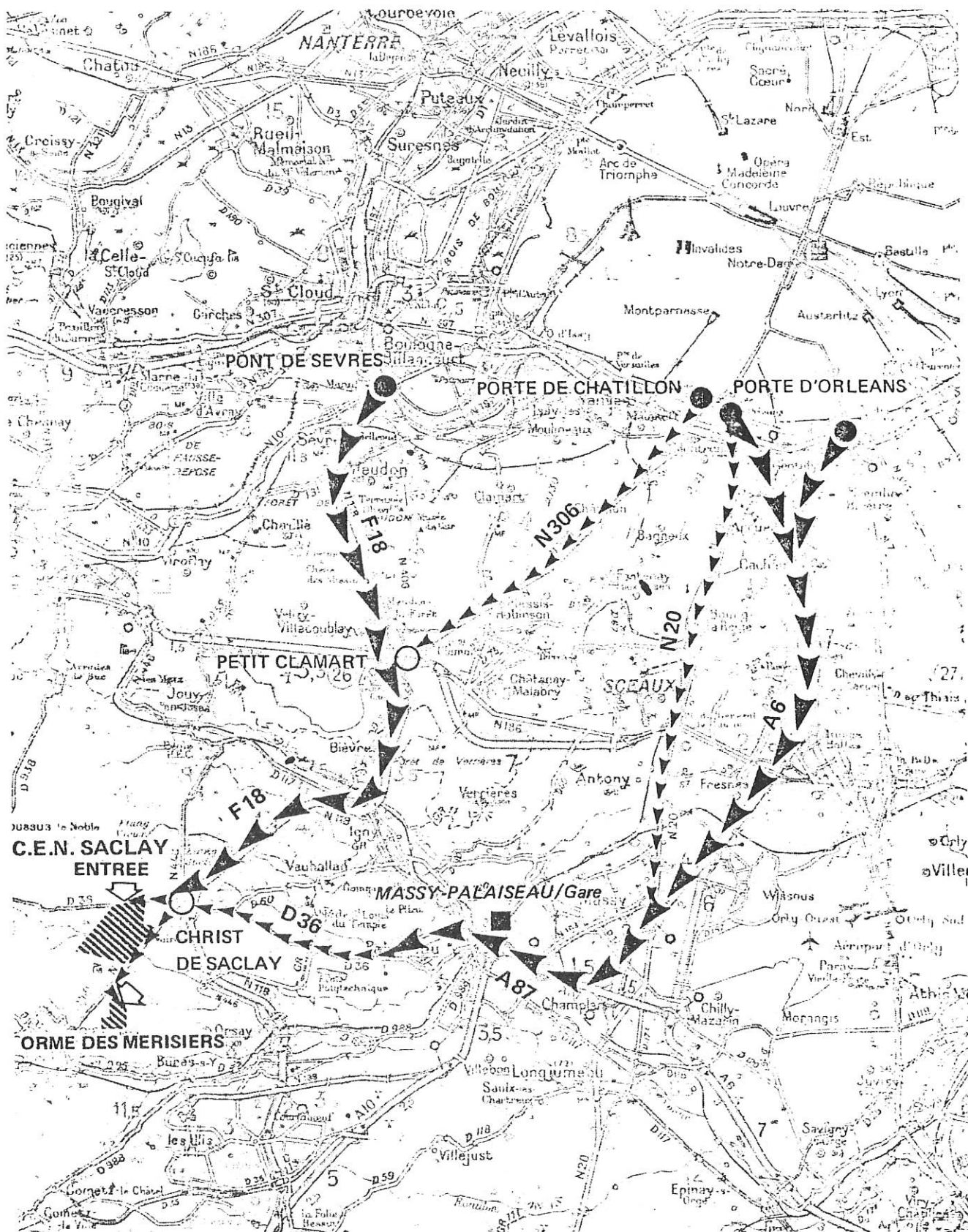


Jeudi 10 Mars 1983

Jeudi 5 Mai 1983

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay



Trois groupes d'environ soixante adhérents ont été accueillis le 10 mars et 3 autres le 5 mai dans la salle de conférences par un responsable du site qui a remis une documentation à tous les assistants et a exposé ce qui suit :

I.- LE C.E.N.-

Le Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay (C.E.N.S.) occupe un plateau situé à 18 km de Paris non loin des premiers laboratoires aménagés dès 1946 dans le Fort de Châtillon, devenu par la suite le Centre de Fontenay-aux-Roses. L'ensemble couvre 150 ha dont 25 ha de bâtiments, 30 ha de voirie et 145 ha d'espaces verts.

A l'époque, ce site était entièrement agricole et a été choisi par Frédéric Joliot-Curie ; environ 7500 personnes travaillent sur place dont 5800 agents C.E.A. (Commissariat à l'Energie Atomique), 800 agents des filiales, 500 collaborateurs divers et stagiaires et 600 agents extérieurs assurant des tâches de maintenance et d'entretien.

Il existe aujourd'hui cinq centres : C.E.N. de Fontenay-aux-Roses, de Saclay, de Grenoble, de Cadarache, de Valrho, le C.E.N.S. étant le plus important. L'ensemble groupe 30 000 personnes.

Rappelons que le C.E.A. a été créé par une ordonnance du 18/10/1945 signée par le Général de Gaulle. Il avait pour mission de promouvoir l'énergie atomique dans le pays.

Quatre grandes unités de missions :

- . la Direction des Applications Militaires,
- . l'Institut de Recherche Fondamentale,
- . l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire,
- . l'Institut de Recherche Technologique et de Développement Industriel.

Il a été créé également :

- Un Institut National des Sciences et Technologies Nucléaires dans le but de spécialiser les ingénieurs sortant des Grandes Ecoles.
- L'Office des Rayonnements Ionisants,
- L'Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs,
- Les Centres d'Etudes Nucléaires où ces unités sont implantées et l'Etablissement Siège,
- Les Services Fonctionnels Centraux,
- Les filiales et participations du C.E.A. telles que :

- . La COGEMA (Compagnie Générale des Matières Atomiques) s'occupant des éléments combustibles de la mine jusqu'au retraitement,
 - . La CICI (Compagnie Internationale de Calcul en Informatique),
 - . FRAMATON qui fabrique des réacteurs de puissance,
 - . TECHNIQUE ATOME qui construit des réacteurs de recherche, callogènes et des propulseurs navals,
 - . NOVATON
- etc ...

La caractéristique essentielle du C.E.N.S. est l'équilibre qu'il présente entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée.

La Recherche Fondamentale est assurée par 40% des effectifs dans les domaines de la Physique, Biologie, Chimie, Métallurgie, Thermodynamique, etc ... au moyen d'une infrastructure lourde (accélérateurs linéaires de particules, Synchrotron à protons (Saturne), Réacteur de recherche à neutrons).

La Recherche Appliquée, assurée par 60% des effectifs, est axée sur l'étude et le développement des Réacteurs électronucléaires, la Séparation isotopique, l'enrichissement de l'uranium et les Applications des rayonnements ionisants à l'industrie et à la médecine à l'aide de Réacteurs expérimentaux d'irradiation (OSIRIS) et des laboratoires qui permettent ensuite l'examen des produits irradiés.

L'activité importante du C.E.N.S. est la production de radioéléments artificiels : ce sont des éléments que l'on soumet à un flux de particules chargées ou neutres. Devenus instables, ils reviennent à leur stabilité en émettant des rayonnements que l'on utilise comme traceurs, en thérapie ...

II.- LES FILMS.-

Un premier film datant de 1980 fait le point des besoins actuels et futurs en énergie et les possibilités de les couvrir. La conclusion étant que les Centrales Nucléaires sont indispensables pour la France qui importe 75% de l'énergie qui lui est nécessaire.

Il faudrait 200 Centrales Nucléaires pour assurer la totalité de l'électricité actuellement consommée en France mais ce nombre ne sera jamais atteint car les gouvernements préfèrent diversifier les sources d'énergie, même si elles coûtent plus cher (pétrole, gaz, charbon, solaire, géothermie, etc ...). C'est regrettable car le kWh nucléaire est de loin le moins cher et 100.000 T. d'uranium français nous donnent une

indépendance totale, surtout depuis l'invention du surrégénérateur (réacteur créant plus de combustible qu'il n'en utilise).

L'objection des dangers de la Radioactivité n'est absolument pas fondée comme le prouve un deuxième film qui montre que nous vivons déjà dans un "bain radioactif" provenant de la nature qui dépasse de loin ce qu'émettent les déchets d'une centrale nucléaire.

Les chiffres suivants sont significatifs :

- 60 millirem sont émis par une radiographie,
- 50 " " sont émis par les rayons cosmiques,
- 50 " " sont émis par le sol, les roches (granit),
- 25 " " sont émis par la nature en général,
- 1 " " est émis par un téléviseur,
- moins de 1 millirem est émis par les déchets radioactifs ! et la vitrification de ces déchets à laquelle procède la France apporte toute sécurité dans ce domaine.

Un troisième film nous explique ce qu'est la radioactivité. Le monde aurait été créé de la façon suivante :

- Le premier jour, Dieu crée un tout petit grain de matière, le "neutron", particule infiniment petite mais très dense, sans charge électrique.
- Le deuxième jour, il fait en sorte que ce neutron puisse se scinder en deux autres grains de matière, le "proton", à peine moins lourd que le neutron, chargé positivement, et "l'électron", 2000 fois plus léger, de charge négative.
- Le troisième jour, il décide que l'Univers tout entier sera constitué par ces 3 particules multipliées à l'infini ; les protons et les neutrons peuvent se grouper en blocs compacts, les "noyaux", grâce à des forces d'attraction extrêmement puissantes (les forces nucléaires). Chaque noyau attire autour de lui, par le jeu des forces électriques, une enveloppe d'électrons pour former "l'Atome".
- Le quatrième jour, désirant éviter une trop grande quantité d'atomes, il invente des lois pour imposer au noyau une direction naturelle. Un bon nombre d'entre eux est condamné à plus ou moins long terme et seul un nombre limité de privilégiés a droit à la solidité éternelle.
- Le cinquième jour, ces principes étant bien définis, il ne lui reste plus qu'à fabriquer des milliards et des milliards de neutrons, de protons, d'électrons, donc d'atomes pour voir apparaître tous les corps de l'Univers.

Toute la radioactivité réside dans les noyaux d'atomes qui peuvent être solides, parfaitement structurés ou fragiles et mal équilibrés (noyaux instables).

Pour comprendre les noyaux instables et leurs réactions, il faut d'abord connaître les noyaux stables. La différence vient du nombre de protons et de neutrons dans le noyau.

Par exemple, un élément qui comprend 60 nucléons soit 28 protons et 32 neutrons ; c'est la seule répartition qui donne la stabilité.

Avec 1 neutron de moins et 1 proton de plus, ce serait un noyau instable. Il en est de même avec 1 neutron de plus et 1 proton de moins. On peut essayer toutes les combinaisons de 60 nucléons, il n'y en a qu'une qui soit stable.

Ceci est le résultat de 2 lois :

- Tendance à la symétrie : autant de protons que de neutrons. C'est très net pour les petits noyaux stables comme le calcium qui comprend 20 nucléons, soit 10 protons et 10 neutrons.
- A ce désir de symétrie vient s'ajouter, surtout pour les gros noyaux, la répulsion des protons. Les protons chargés positivement se repoussent. Cela ne gêne pas la cohésion du noyau car elle est assurée par des forces nucléaires beaucoup plus puissantes. Mais le noyau trouve un meilleur équilibre avec moins de protons et plus de neutrons.

Pour 209 nucléons par exemple, la stabilité est 83 protons pour 126 neutrons.

Si l'on passe en revue la composition de tous les noyaux stables, on constate que les plus légers sont symétriques jusqu'à une quarantaine de nucléons, tandis que les noyaux plus lourds sont de plus en plus dyssymétriques jusqu'au dernier noyau stable qui comprend 83 protons pour 126 neutrons, soit 209 nucléons.

Au-delà, il y a trop de dissymétrie, ou trop de répulsion, donc pas de noyaux stables.

On connaît donc bien tous les noyaux stables.

En conclusion, les Centrales Nucléaires sont les moins polluantes des industries et la méfiance qu'elles inspirent est totalement injustifiée comme cela sera expliqué lors de la visite qui va suivre et qui concerne le Réacteur OSIRIS (maillon irradiation) et le laboratoire d'examen des Combustibles irradiés (L.E.C.I.)

III.- OSIRIS.-

Il s'agit d'un réacteur thermique datant de 1966 et possédant comme combustible de l'uranium enrichi contenu dans des grains en alliage de zirconium et, comme modérateur de neutrons, ainsi que comme réfrigérant, de l'eau ordinaire. L'Uranium se présente sous forme de "cara-

mels" inclus dans des caissons en zirconium qui nous sont montrés. Osiris permet de faire des tests sur les matériaux de structure des centrales électronucléaires. Pour cela on construit des dispositifs simulant les conditions dans lesquelles se trouveraient ces éléments de structure ou ces combustibles dans un réacteur. Pour la filière à eau pressurisée, on porte de l'eau à 350°, 140 kg de pression, on place des éléments combustibles dans un circuit sous flux neutronique et l'on fait varier la puissance ...

Il permet également, grâce à un poste d'irradiation relié à un laboratoire du C.N.R.S. (Centre National de Recherche Scientifique), l'analyse par activation.

Un petit échantillon dont on veut connaître la quantité d'impuretés est envoyé par des tubes hydrauliques.

La troisième mission du réacteur est de fabriquer des radios éléments artificiels.

La dernière mission est le dopage du silicium pour fabriquer des semi-conducteurs.

Avant de pénétrer dans l'enceinte du réacteur, notre guide rappelle le principe des réactions nucléaires qui consiste à bombarder dans certaines conditions un atome avec un neutron de façon à provoquer une fission de cet atome en deux nouveaux noyaux avec libération d'énergie thermique. C'est une réaction en chaîne qu'il convient de contrôler au moyen de barres mobiles de certains métaux qui ont la faculté d'absorber les neutrons.

Des régulations automatiques asservies à un ordinateur permettent, par le jeu de ces barres, de contenir la réaction dans des limites prédéterminées. La chaleur produite est éliminée par 4200 m³ d'eau qui est refroidie par des aéroréfrigérants extérieurs.

Un grand luxe de moyens permet de surmonter toutes les panes ou irrégularités éventuelles et confèrent une grande sécurité au système. Lire à ce sujet le compte rendu de visite de la Centrale Nucléaire de Saint Laurent des Eaux du 26 mai 1981.

La visite proprement dite du réacteur OSIRIS se fait après franchissement d'un sas car le local est pressurisé (pour la protection de l'environnement ; s'il y a un incident, les gaz, les poussières resteront confinés à l'intérieur).

L'enceinte, vaste et circulaire, est en béton précontraint de grande épaisseur pouvant résister à des pressions élevées aussi bien intérieures qu'extérieures. Elle est occupée en son centre par le réacteur qui se trouve à 10m. de fond d'une masse d'eau déminéralisée (piscine) ayant un pH de 6 et présentant une fluorescence bleue (rayonnement Cherenkoff dû aux rayonnements très intenses issus du réacteur).

Cette eau remplit 3 missions :

- ralentir les neutrons (après la fission ils ont une vitesse d'environ 20 000 km/s, l'eau les ramène à une vitesse d'environ 2 km/s),
- évacuer les calories,
- protéger le personnel contre l'irradiation.

On distingue les tubulures de refroidissement ainsi que les barres amovibles qui permettent de soumettre des éprouvettes à l'irradiation, éprouvettes qui seront ensuite étudiées par le laboratoire d'examen des combustibles irradiés ou bien commercialisées (cobalt et iode radioactifs pour traitements médicaux, silicium dopé au phosphore par transmutation nucléaire pour transistors, neutronographie permettant d'obtenir une image différente et complémentaire de la radiographie, etc ...)

IV.- L.E.C.I. (Laboratoire d'examen des combustibles irradiés).

Fondé en 1959, le but de ce laboratoire est d'effectuer des examens non destructifs, des travaux de démantèlement et d'usinage, des examens de métallurgie sur tous les éléments combustibles et sur les montages expérimentaux irradiés.

Il est constitué par 11 cellules situées au centre d'un vaste bâtiment où travaille une centaine d'agents. Ces cellules sont protégées par des murs en béton de 1m. d'épaisseur et toutes les manipulations qui y sont effectuées sont commandées de l'extérieur par des bras articulés qui reproduisent les mouvements de l'opérateur. L'observateur des manipulations se fait à travers un hublot en verre de 1m. d'épaisseur et spécialement traité. La paroi qui lui fait face est munie d'un accès qui ne peut être franchi qu'après décontamination de la cellule, ce qui demande de nombreuses semaines.

Toutes les cellules sont desservies par un convoyeur automatique et les éprouvettes irradiées peuvent être introduites par des sas situés soit à l'arrière, soit au dessus. Ces éprouvettes sont véhiculées, entre le réacteur et la cellule, dans des récipients de toutes tailles appelés "châteaux" ; ils sont en acier, de forme cylindrique et remplis de plomb, les éprouvettes irradiées n'occupant qu'un tube central dans lequel elles sont introduites ou extraites par poussée.

Chaque cellule a une fonction bien déterminée (métrologie, spectrométrie, stockage, usinage ...), et, grâce au convoyeur, les matériaux irradiés peuvent passer de l'une à l'autre selon une planification préétablie. A noter que l'Agence Internationale de Vienne contrôle les doses d'irradiation afin de s'assurer qu'il n'y a ni pertes ni détournements ; il n'est pas certain que ce contrôle "obligatoire" soit effectué par tous les pays ...

Toutes les cellules sont reliées à un bureau de contrôle central dans lequel sont enregistrées différents paramètres et, en particulier, la radioactivité, toute anomalie déclenchant l'alerte des équipes de secours.

Dans le bâtiment, et de part et d'autre des cellules, se trouvent deux ateliers : le premier est un atelier de mécanique qui permet l'entretien du matériel existant et la création d'appareillages spéciaux demandés par les responsables des cellules ; le deuxième est un atelier de manutention et de stockage des matériaux irradiés au moyen des "châteaux" déjà cités qui approvisionnent chaque cellule. Cette partie du L.E.C.I. est celle qui présente le plus de risques d'irradiations et les agents qui y travaillent sont très surveillés.

ANNEXE

LA DESINTEGRATION DES NOYAUX ET LA RADIOACTIVITE

(Texte de Madame Eymar)

Le carbone est formé d'un noyau léger de 12 ou 13 nucléons et de 6 électrons. Il y a donc deux isotopes :

$$\begin{aligned} C_{12} &= 6 + 6 \\ C_{13} &= \underbrace{6}_{\text{protons}} + \underbrace{7}_{\text{neutrons}} \end{aligned}$$

L'azote a également 2 isotopes stables :

$$\begin{aligned} N_{14} &= 7 + 7 \\ N_{15} &= 7 + 8 \end{aligned}$$

L'oxygène en a 3 :

$$\begin{aligned} O_{16} &= 8 + 8 \\ O_{17} &= 8 + 9 \\ O_{18} &= 8 + 10 \end{aligned}$$

On pourrait ainsi faire l'inventaire de tous les noyaux stables en partant de l'hydrogène $H_1 = 1 + 0$, $H_2 = 1 + 1$, jusqu'au bismuth 209 (83 + 126).

Ainsi, du plus léger des noyaux jusqu'au plus lourd, on connaît parfaitement toute la composition de tous les groupements solides, stables.

Les autres sont instables et donc radioactifs.

On en trouve une cinquantaine à l'état naturel, comme les noyaux d'uranium. Il y a également ceux que l'on parvient à fabriquer dans les laboratoires en lançant des projectiles sur les noyaux. Cela se fait à l'aide d'accélérateurs de particules ou au moyen de réacteurs nucléaires. On a déjà répertorié plus d'un millier de noyaux naturels ou artificiels.

Ils sont radioactifs car, étant instables, ils tendent à devenir stables. Pour y parvenir, il faut qu'ils se désintègrent. Il n'y a que trois possibilités de radiations (autres que la radiation électromagnétique γ) :

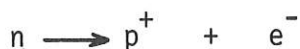
$$\alpha, \beta^+, \beta^- \text{ (alpha, bêta } ^+, \text{ bêta } ^-)$$

Par exemple le Carbone 14 radioactif :

$$C_{14} = \begin{matrix} 6 & + & 8 \\ \text{protons} & & \text{neutrons} \end{matrix}$$

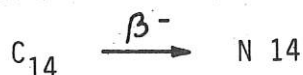
Pour 14 nucléons, le seul noyau stable est formé de 7 protons et 7 neutrons. C'est l'azote 14.

Donc, pour que le carbone 14 devienne stable, il faudra qu'un neutron disparaisse pour devenir proton.



Le neutron ainsi donne un proton et un électron (pour l'équilibre des charges électriques).

Lorsque le proton devient neutron, il y a éjection de l'électron, c'est la particule β^- (béta moins). En même temps le noyau a changé de structure et de nom. Le carbone 14 est devenu azote 14

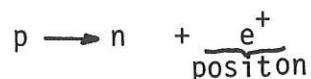


On rencontre ainsi cette désintégration β^- chez tous les noyaux instables qui ont trop de neutrons et qui vont vers l'équilibre.

Prenons maintenant le cas d'un noyau qui a trop de protons, par exemple l'oxygène 14 radioactif :

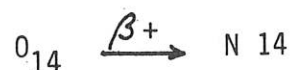
$$O_{14} = \begin{matrix} 8 & + & 6 \\ \text{protons} & & \text{neutrons} \end{matrix}$$

Pour retrouver la répartition stable, un proton va devoir se transformer en neutron



Au moment de la désintégration, un proton devient neutron, alors que jaillit un positon.

C'est la désintégration β^+ (béta plus)



Le troisième type de réaction est la désintégration α .

Il est réservé aux noyaux trop lourds et trop gros.

Le plus lourd des noyaux stables compte 209 nucléons. Mais on connaît encore des noyaux plus lourds et donc instables.

Ils perdent quatre nucléons à la fois. C'est la particule α (alpha) ; 2 protons et 2 neutrons



Il éjecte une particule α . Donc on passe de 210 nucléons à 206.



L'uranium 238 est le plus lourd des noyaux présents dans la nature. Il faut 14 désintégrations successives et des millions d'années avant d'aboutir à un noyau stable. Au passage, parmi les noyaux intermédiaires, on trouve le radium 226.

Ainsi apparaissent des noyaux de moins en moins lourds mais toujours radioactifs. Cela ne s'arrêtera qu'avec le plomb 206, qui enfin a un noyau stable.

β^- , β^+ . L'émission γ (gamma) se produit après désintégration α ,

Le radium 226 par exemple est radioactif



9 fois sur 10, il y a éjection de la particule α mais, 1 fois sur 10, le nouveau noyau va apparaître après la désintégration avec un trop plein d'énergie qu'il va perdre immédiatement en émettant un rayon γ , petit photon.

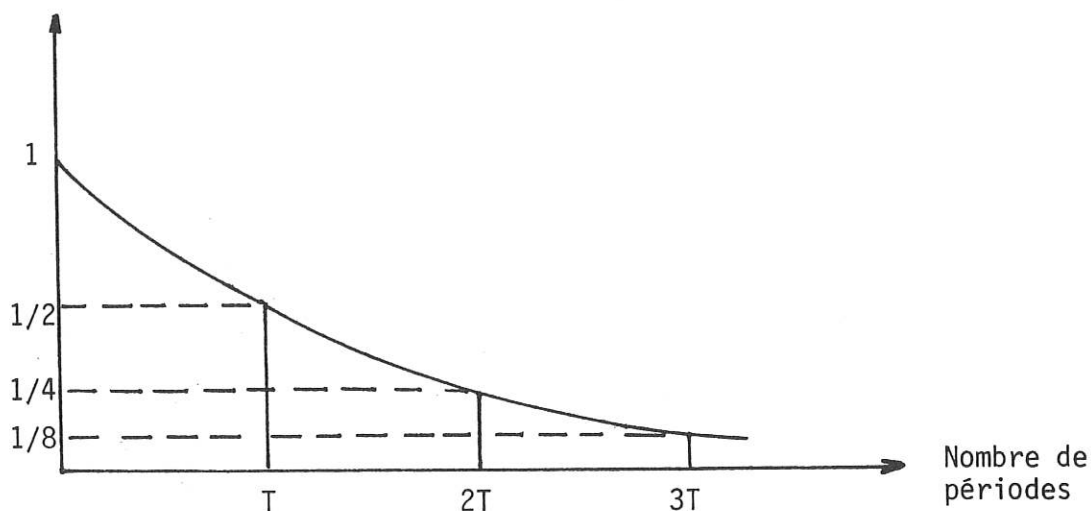
L'émission γ se fait moins d'un milliardième de seconde après la désintégration.

On ne peut prévoir quand un noyau va se désintégrer.

Les noyaux instables meurent par accident, accident dont la probabilité est bien définie. Comme dans le moindre échantillon radioactif, il y a toujours un très grand nombre de noyaux identiques, le calcul des probabilités permet de prévoir parfaitement le nombre de désintégrations. On ne sait pas quel noyau va se désintégrer, mais on sait combien. De plus, le nombre de noyaux radioactifs diminue progressivement. Le temps nécessaire pour que la moitié d'entre eux soit désintégré est toujours le même pour un type de noyaux donnés.

C'est la période radioactive. Mais les désintégrations ne s'arrêtent pas là. Nouvelle division par 2; Il en restera le quart après 2 périodes, le huitième après 3 périodes ...

Taux de la désintégration



La longueur des périodes radioactives est très différente d'un corps à un autre. Par exemple, l'oxygène 14 a une période de 73 secondes.

Il est très instable. Chaque noyau d'oxygène 14 a une chance sur 100 de se désintégrer par seconde.

A l'opposé, les noyaux d'uranium 238 se désintègrent très lentement. Pour voir un noyau d'uranium se désintégrer il faut attendre 4 500 000 milliards d'années. Le radium 226 a une période de 1600 ans. Il a une chance sur 70 milliards de se désintégrer par seconde.

Mais prenons un millionième de gramme de radium ($\frac{1}{1\ 000\ 000}$ g). Cela fait 250 mille milliards de noyaux.

Bien que chacun d'eux n'ait qu'une toute petite chance de se désintégrer, on aura 37 mille désintégrations par seconde.

Nous conseillons aux adhérents de se reporter à la conférence faite au Cercle de Documentation et d'Information le 5 février 1980, (fascicule janvier-mars 1980) sur "La Radioactivité à votre service", par Monsieur Ginot, chef du département des relations publiques au Commissariat à l'énergie atomique.