



*À l'occasion des 120 ans
de la découverte de la
radioactivité*

Professeur Jacques Foos

Chalon sur Saône 1^{er} décembre 2016

Professeur Jacques Foos

Chalon sur Saône 1^{er} décembre 2016

*Les applications de la
radioactivité dans la vie
quotidienne*

02/12/2016

Professeur Jacques Foos

2

La découverte de la radioactivité

Qu'est ce que la radioactivité ?

Les applications de la radioactivité

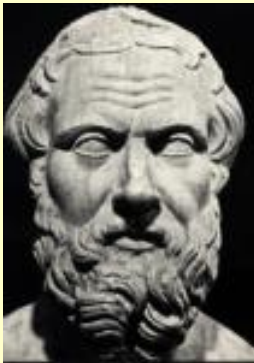
Qu'est ce que la radioactivité ?

Les applications de la radioactivité



La découverte de la radioactivité

"Le doux et l'amer, le chaud et le froid, les couleurs ne sont que des apparences. En réalité, il n'y a que les atomes et le vide. Tout ce qui existe résulte des chocs et des combinaisons qui ont lieu entre d'infimes corpuscules insécables, tous faits de la même matière et doués de mouvement, les atomes ... Ces atomes sont invisibles"



DÉMOCRITE (vers 460 - vers 370 av J-C)

"Car s'il y avait des atomes dans la nature, cela irait contre les plus grands principes de la raison"



LEIBNITZ (1646 - 1716)

Historique de la découverte de la radioactivité

1895 : découverte des rayons X par W. Röntgen



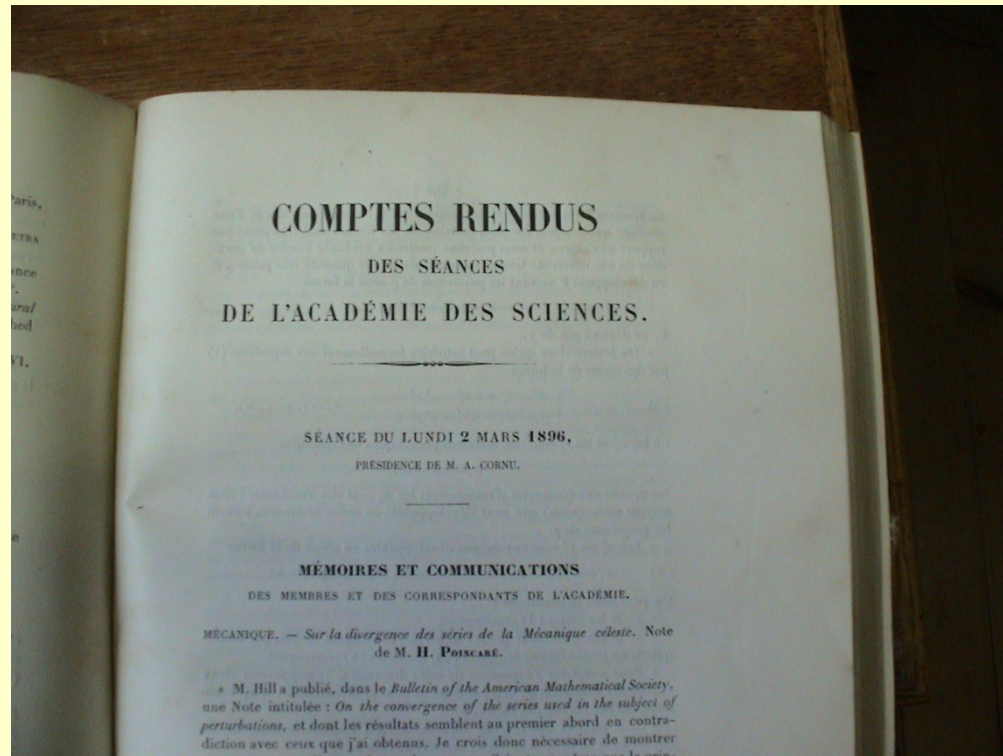
Historique de la découverte de la radioactivité

1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



Historique de la découverte de la radioactivité

1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



Historique de la découverte de la radioactivité

1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel

Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents

Note de Mr Henri Becquerel

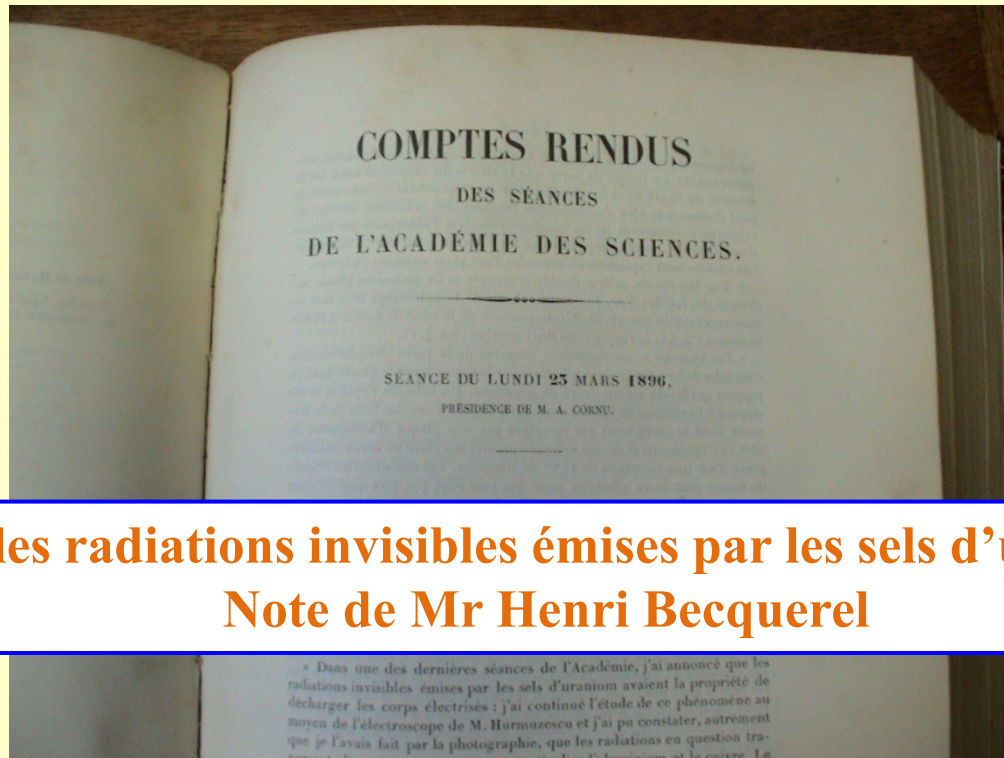
« Les expériences que je rapporterai ont été faites avec les radiations émises par des lamelles cristallines de sulfate double d'uranyle et de potassium, corps dont la phosphorescence est très vive. »

« On peut vérifier très simplement que les radiations émises par cette substance, quand elle est exposée au soleil ou à la lumière diffuse du jour traversent non seulement des feuilles de papier noir mais encore divers métaux, par exemple une plaque d'aluminium et une mince feuille de cuivre. »

dans un châssis opaque en toile noire, fermé d'un côté par une plaque

Historique de la découverte de la radioactivité

1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium
Note de Mr Henri Becquerel

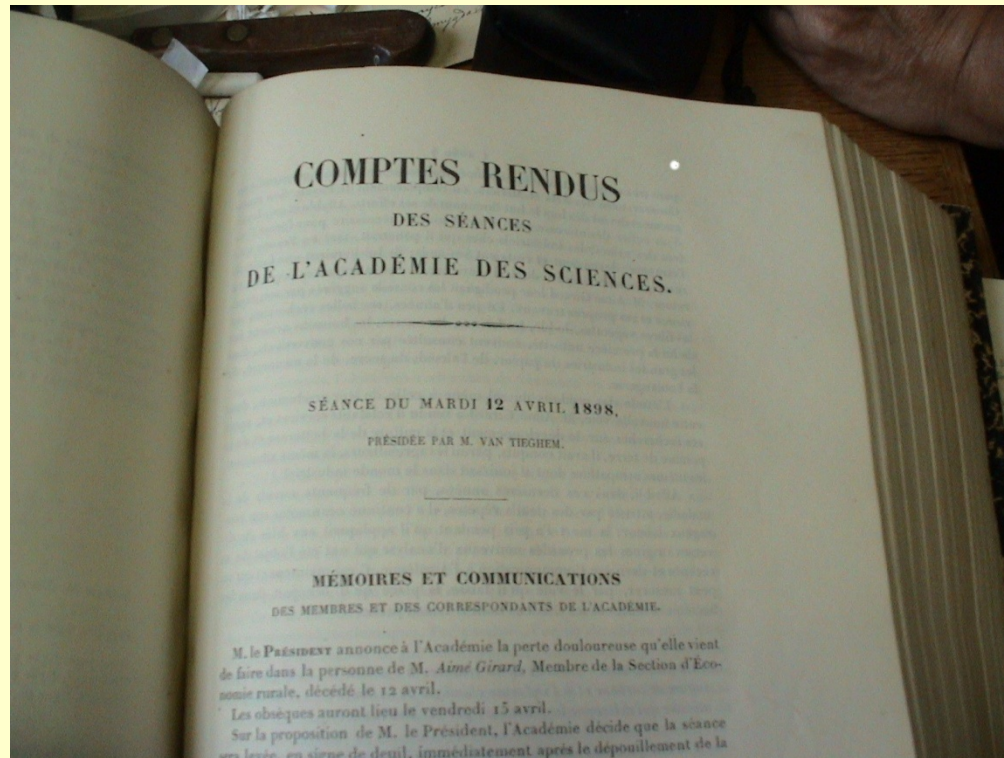
Historique de la découverte de la radioactivité

En 1896 : H. Becquerel a 44 ans ; P. Curie a 37 ans
M. Curie a 29 ans ; J. J. Thomson a 40 ans
E. Rutherford a 26 ans ; A. Einstein a 17 ans
M. Planck a 38 ans ; N. Bohr a 11 ans
O. Hahn a 17 ans ; L. Meitner a 18 ans
J. Chadwick a 5 ans ; E. Schrödinger a 9 ans
L. de Broglie a 4 ans ; A. Compton a 4 ans

et I. Curie a -1 an ; F. Joliot a -4 ans
W. Pauli a -4 ans ; W. Heisenberg a -5 ans
E. Fermi a -5 ans ; J. Oppenheimer a -8 ans
E. Teller a -12 ans ; G. Seaborg a -16 ans

Historique de la découverte de la radioactivité

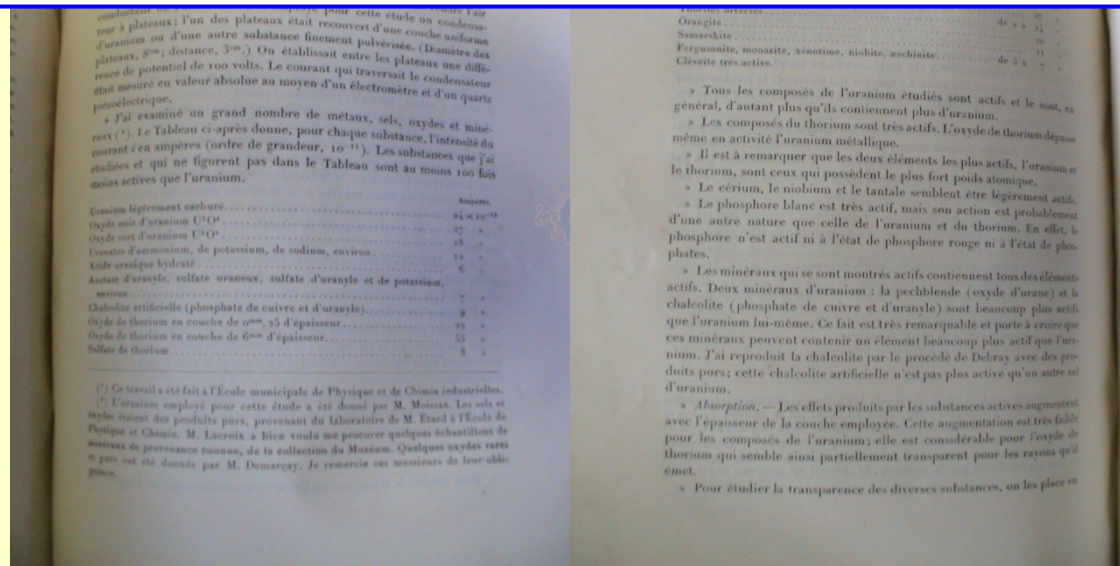
1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium Note de Mme Sklodowska Curie, présentée par M. Lippmann



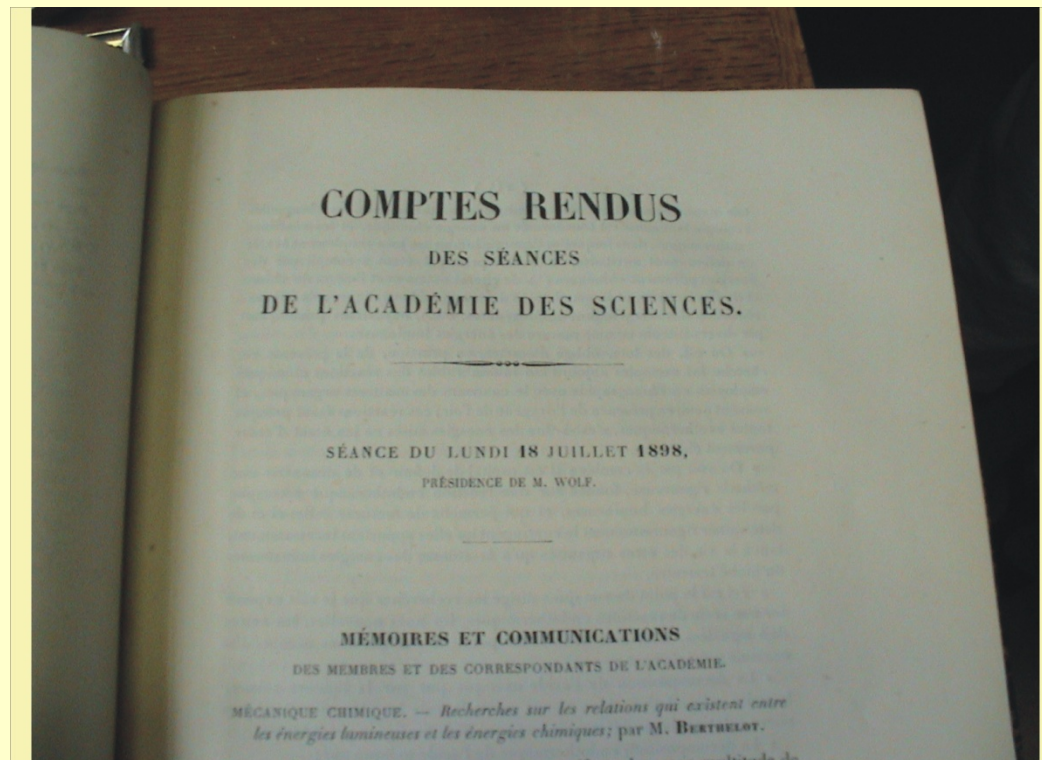
Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
Fluoxytantalate de potassium	2
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johanngeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8 \text{H}_2\text{O}$	52
Chalcolite synthétique	24

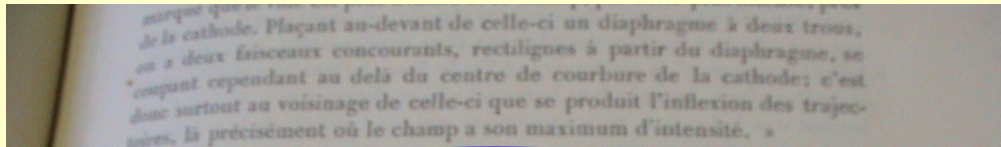
Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



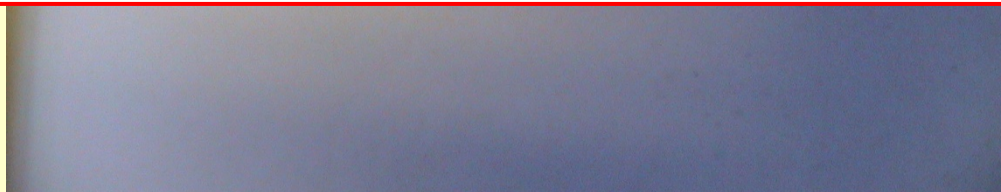
Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



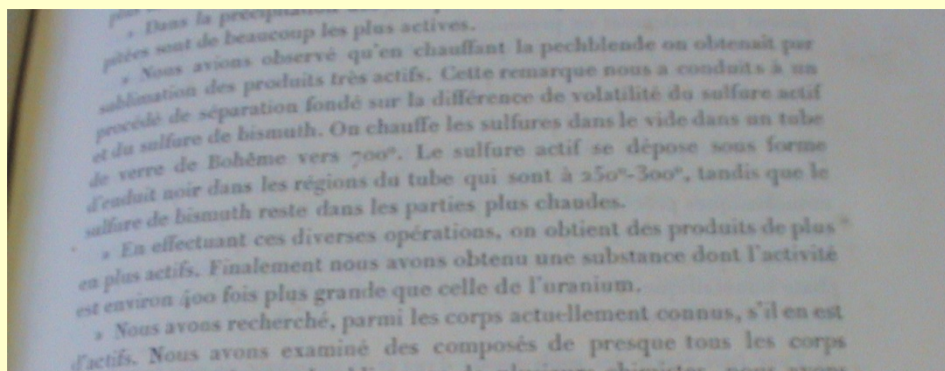
Sur une substance nouvelle radio-active contenue dans la pechblende(*)
Note de M. P. Curie et M^{me} S. Curie présentée par M Becquerel

** Ce travail a été fait à l'École municipale de Physique et Chimie industrielles. Nous remercions tout particulièrement Mr Bémont, Chef des travaux de Chimie pour les conseils et l'aide qu'il a bien voulu nous donner.*



Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

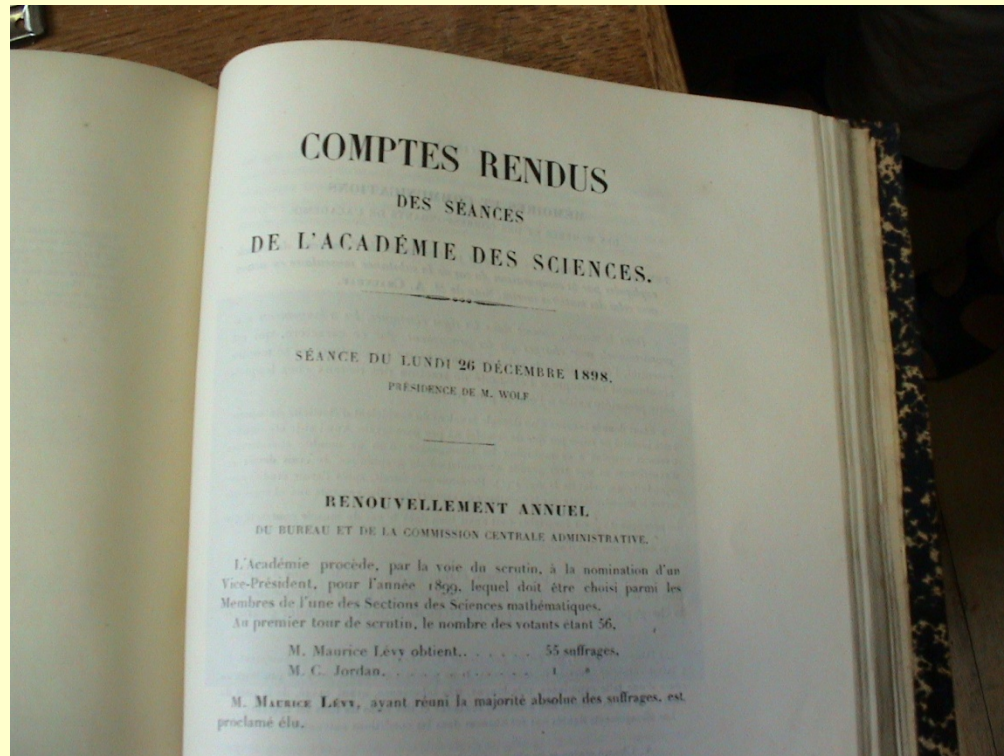


« Nous croyons donc que la substance que nous avons retirée de la pechblende contient un métal non encore signalé, voisin du bismuth et de ses propriétés analytiques. Si l'existence de ce nouveau métal se confirme, nous proposons de l'appeler *polonium* du nom du pays d'origine de l'un de nous »

« Mr Demarçay a bien voulu examiner le spectre du corps que nous étudions. Il n'a pas pu y distinguer aucune raie caractéristique en dehors de celles dues aux impuretés. »

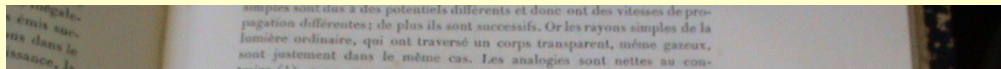
Historique de la découverte de la radioactivité

1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

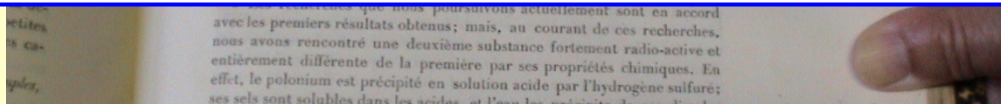


Historique de la découverte de la radioactivité

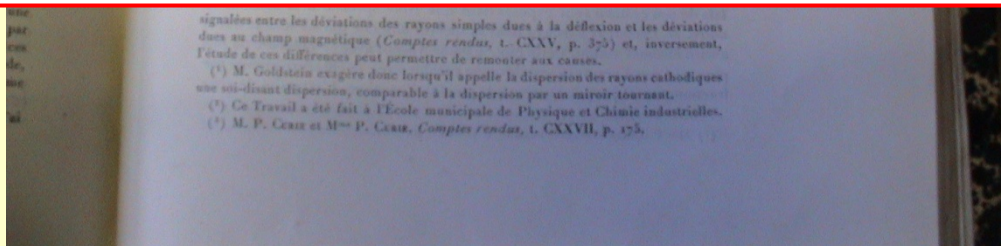
1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



Sur la nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende
Note de M. P. Curie, Mme P. Curie et de M. G. Bémont,
présentée par M Becquerel

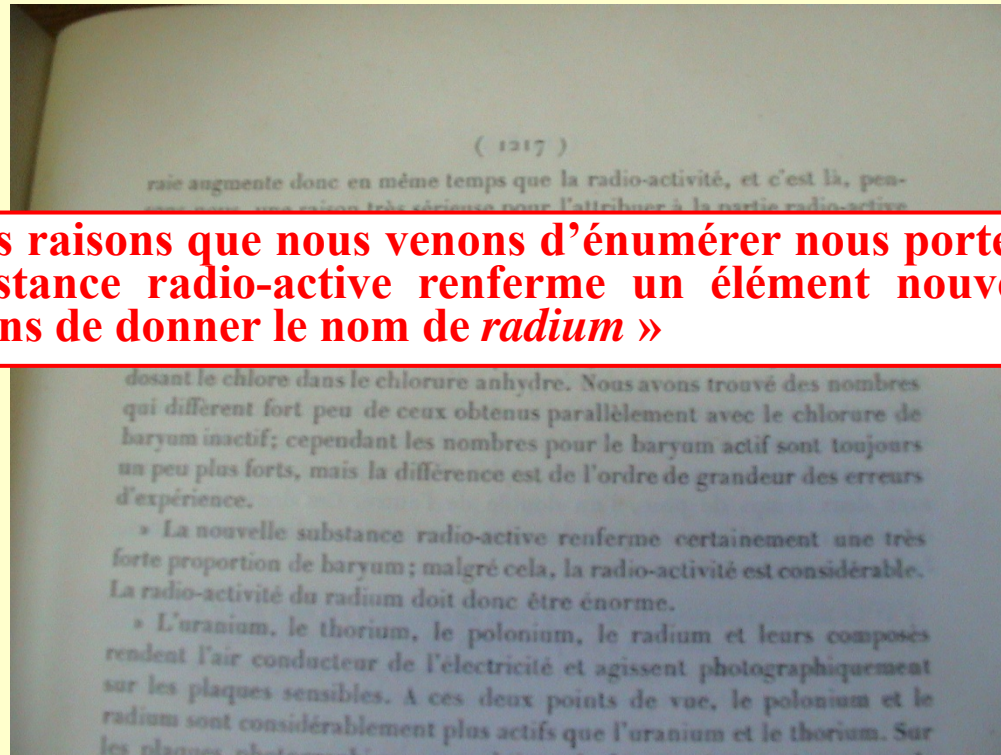


« La nouvelle substance radio-active que nous venons de trouver a toutes les apparences chimiques du baryum »



Historique de la découverte de la radioactivité

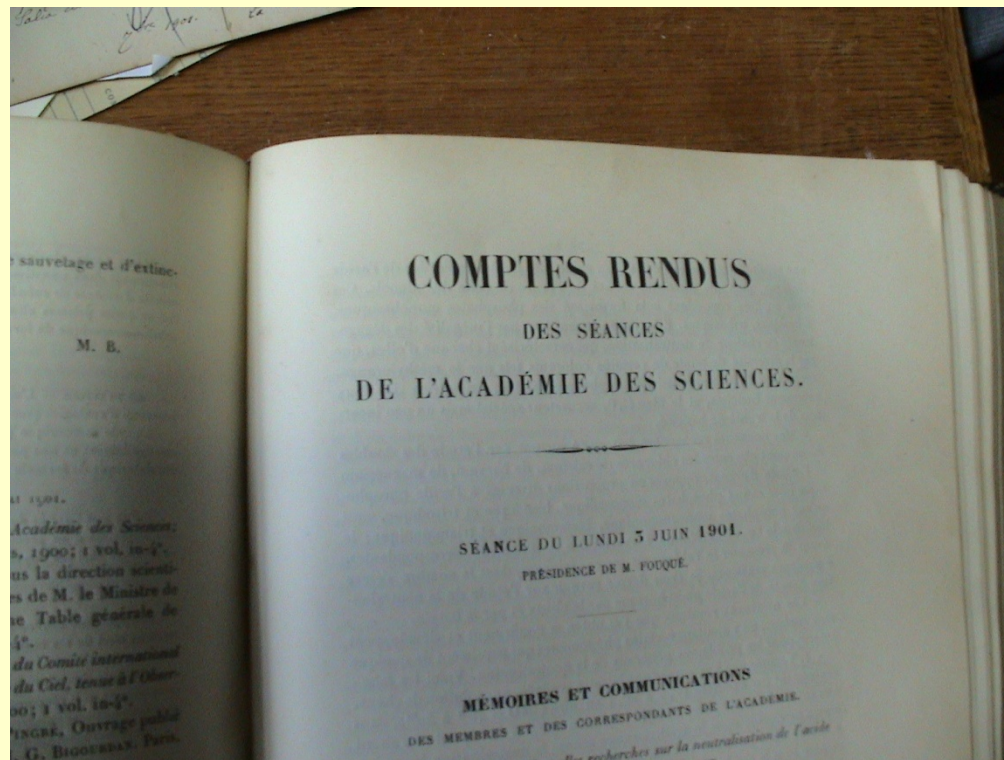
1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



« Les diverses raisons que nous venons d'énumérer nous portent à croire que la nouvelle substance radio-active renferme un élément nouveau, auquel nous nous proposons de donner le nom de *radium* »

Historique de la découverte de la radioactivité

1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements

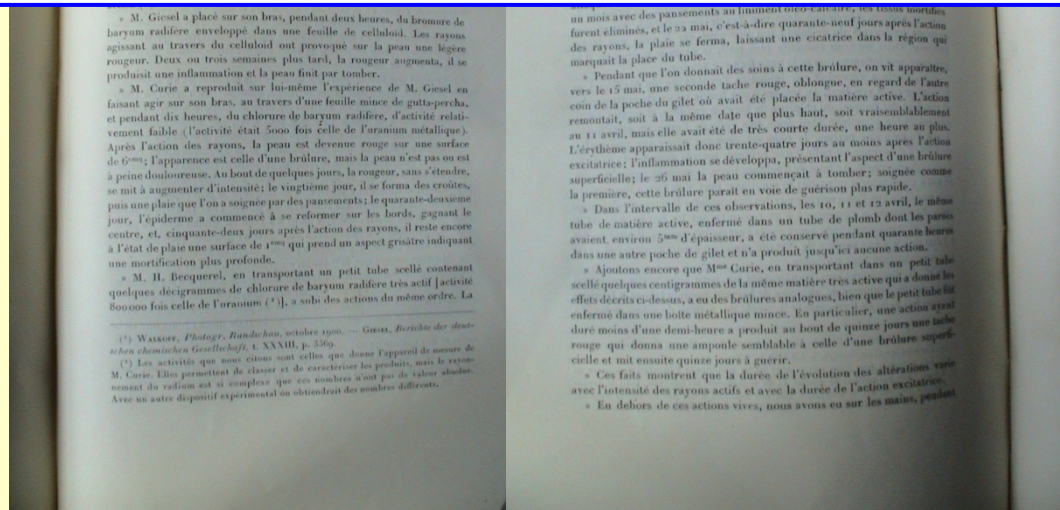


Historique de la découverte de la radioactivité

1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements



Actions physiologiques des rayons du radium Note de MM Henri Becquerel et P. Curie



» M. Giesel a placé sur son bras, pendant deux heures, du bromure de baryum radifère enveloppé dans une feuille de celluloid. Les rayons agissant au travers du celluloid ont provoqué sur la peau une légère rougeur. Deux ou trois semaines plus tard, la rougeur augmenta, il se produisit une inflammation et la peau finit par tomber.

» M. Curie a reproduit sur lui-même l'expérience de M. Giesel en faisant agir sur son bras, au travers d'une feuille mince de gutta-percha, et pendant dix heures, du chlorure de baryum radifère, d'activité relativement faible (l'activité était 5000 fois celle de l'uranium métallique). Après l'action des rayons, la peau est devenue rouge sur une surface de 6^{cm}²; l'apparence est celle d'une brûlure, mais la peau n'est pas ou est à peine douloureuse. Au bout de quelques jours, la rougeur, sans s'étendre, se mit à augmenter d'intensité; le vingtième jour, il se forma des croûtes, puis une plaie que l'on a soignée par des pansements; le quarante-deuxième jour, l'épiderme a commencé à se reformer sur les bords, gagnant le centre, et, cinquante-deux jours après l'action des rayons, il reste encore à l'état de plaie une surface de 1^{cm}² qui prend un aspect grisâtre indiquant une mortification plus profonde.

» M. H. Becquerel, en transportant un petit tube scellé contenant quelques décigrammes de chlorure de baryum radifère très actif [activité 80000 fois celle de l'uranium (3)], a subi des actions du même ordre. La

(3) WASSON, *Photogr. Röntgenstr.*, octobre 1900. — GROSS, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, t. XXXIII, p. 3560.

(4) Les activités que nous citons sont celles qui donne l'appareil de mesure de M. Curie. Elles permettent de classer et de caractériser les produits, mais le rayonnement du radium est si complexe que ces nombres n'ont guère de valeur absolue. Avec un autre dispositif expérimental on obtiendrait des nombres différents.

un mois avec des pansements au liniment ovo-calcique, des trois mois, les croûtes furent éliminées, et le 23 mai, c'est-à-dire quarante-neuf jours après l'action des rayons, la plaie se ferma, laissant une cicatrice dans la région qui marquait la place du tube.

» Pendant que l'on donnait des soins à cette brûlure, on vit apparaître, vers le 15 mai, une seconde tache rouge, oblongue, en regard de l'autre coin de la poche du gilet où avait été placée la matière active. L'action remonta, soit à la même date que plus haut, soit vraisemblablement au 11 avril, mais elle avait été de très courte durée, une heure au plus. L'érythème apparaissait donc trente-quatre jours au moins après l'action excitatrice; l'inflammation se développa, présentant l'aspect d'une brûlure superficielle; le 26 mai la peau commençait à tomber; soignée comme la première, cette brûlure paraît en voie de guérison plus rapide.

» Dans l'intervalle de ces observations, les 10, 11 et 12 avril, le même tube de matière active, enfermé dans un tube de plomb dont les parois avaient environ 5^{mm} d'épaisseur, a été conservé pendant quarante heures dans une autre poche de gilet et n'a produit jusqu'à aucune action.

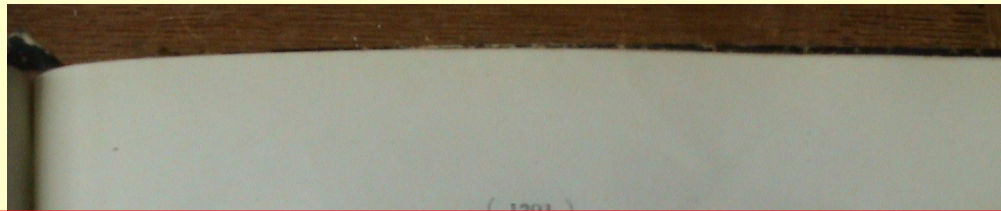
» Ajoutons encore que M^{me} Curie, en transportant dans un petit tube scellé quelques centigrammes de la même matière très active qui a donné les effets décrits ci-dessus, à sa des brûlures analogues, bien que le petit tube fut enfermé dans une boîte métallique mince. En particulier, une action avait duré moins d'une demi-heure a produit au bout de quinze jours une tache rouge qui donna une ampoule semblable à celle d'une brûlure superficielle et mit ensuite quinze jours à guérir.

» Ces faits montrent que la durée de l'évolution des altérations varie avec l'intensité des rayons actifs et avec la durée de l'action excitatrice.

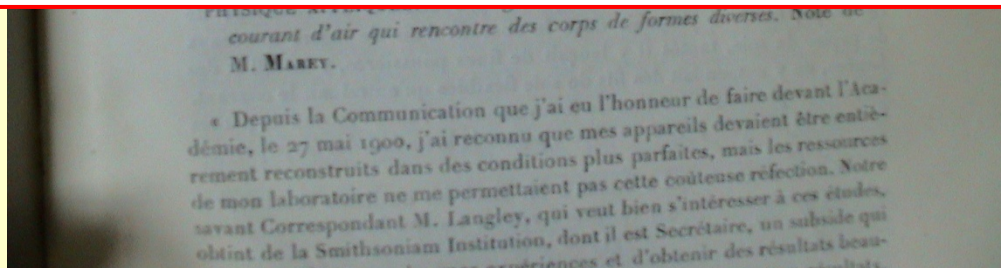
» En dehors de ces actions vives, nous avons eu sur les mains, pendant

Historique de la découverte de la radioactivité

1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements



« Les mains ont une tendance générale à la desquamation ; les extrémités des doigts qui ont tenu les tubes ou capsules renfermant des produits très actifs deviennent dures et parfois très douloureuses ; pour l'un d'entre nous, l'inflammation des extrémités des doigts a duré une quinzaine de jours et s'est terminée par la chute de la peau, mais la sensibilité douloureuse n'a pas encore complètement disparu au bout de deux mois . »



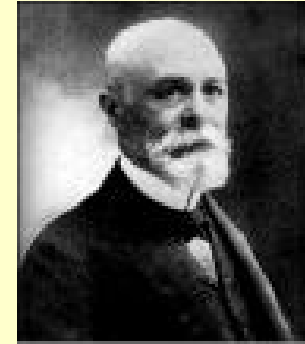
Historique de la découverte de la radioactivité

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
Fluoxytantalate de potassium	2
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johanngeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2, 6-8 \text{H}_2\text{O}$	52
Chalcolite synthétique	24

HISTORIQUE

* H. Becquerel (1896)

→ uranium



* P. et M. Curie (1898 - 1911)

→ descendants de l'uranium et
du thorium : 7 éléments



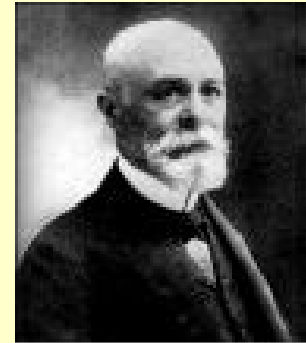
Feu le billet de 500 francs



HISTORIQUE

* H. Becquerel (1896)

→ uranium



* P. et M. Curie (1898 - 1911)

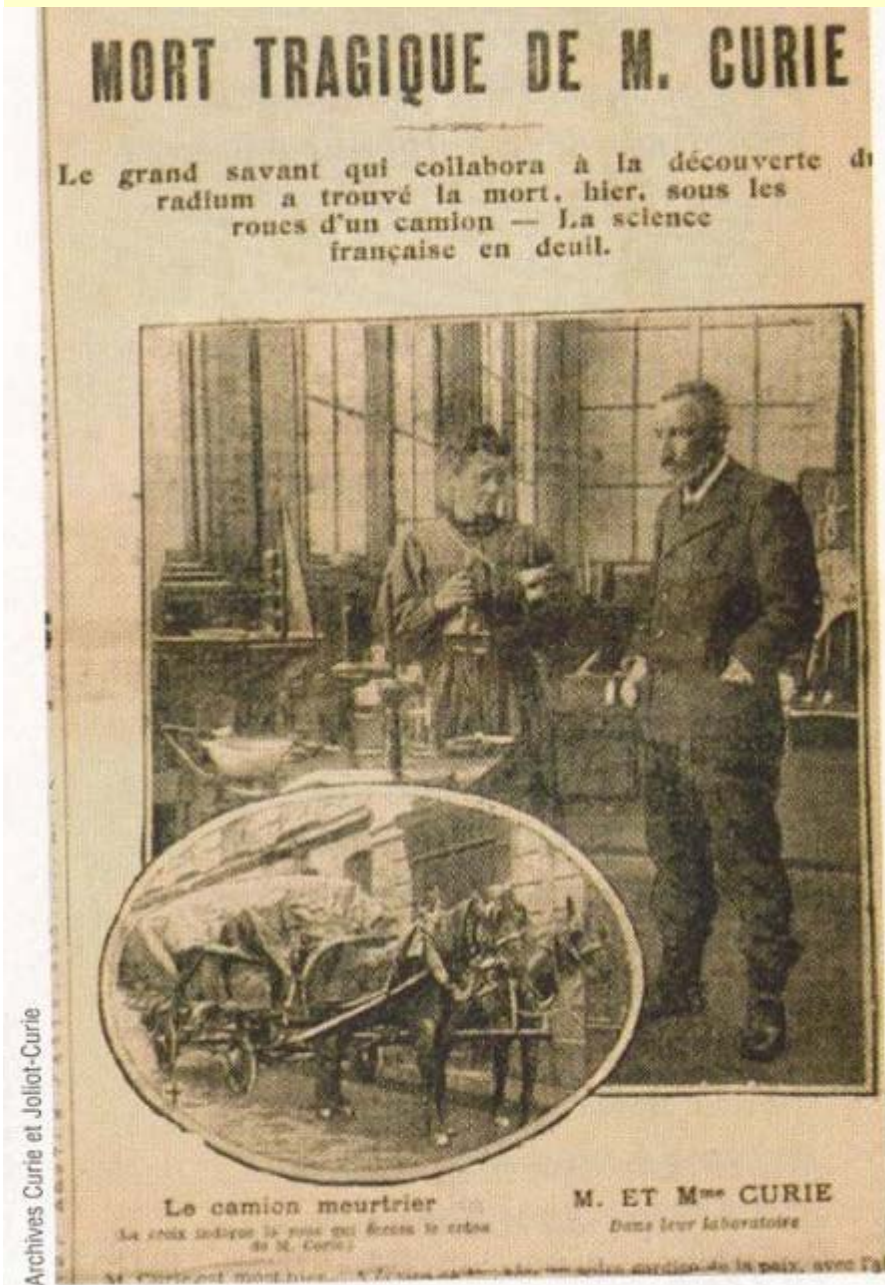
→ descendants de l'uranium et
du thorium : 7 éléments



« On peut se demander si l'humanité a avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mûre pour en profiter ou si cette connaissance ne lui sera pas nuisible. L'exemple des découvertes de Nobel est caractéristique, les explosifs puissants ont permis aux hommes de faire des travaux admirables. Ils sont aussi un moyen terrible de destruction entre les mains des grands criminels qui entraînent les peuples vers la guerre. Je suis de ceux qui pensent, avec Nobel, que l'humanité tirera plus de bien que de mal des découvertes nouvelles. »

Discours Nobel de Pierre Curie - 1905

Décès de Pierre Curie



L'illustration, n° 3324 (10/11/1906)
leçon inaugurale de Marie Curie,
le 5 novembre 1906

Paris, musée Curie
© Musée Curie / droits réservés

Madame PIERRE CURIE

Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique
Prix Nobel de Chimie

RADIOACTIVITÉ

(TOME I)

Madame PIERRE CURIE

Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique
Prix Nobel de Chimie

RADIOACTIVITÉ

(TOME I)

Marie Curie : **Prix Nobel de physique en 1903** et **Prix Nobel de chimie en 1911**

Linus Pauling : **Prix Nobel de chimie en 1954** et **Prix Nobel de la paix en 1962**

John Bardeen : **Prix Nobel de physique en 1956 et en 1972**

Frederick Sanger : **Prix Nobel de chimie en 1958 et en 1980**

Frédéric et Irène Joliot-Curie



Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Irène Joliot-Curie et Frédéric Joliot démontrent qu'il est possible de provoquer artificiellement une radioactivité dans des éléments stables. Le phénomène de radioactivité est bien plus général qu'il n'y apparaissait jusque là !

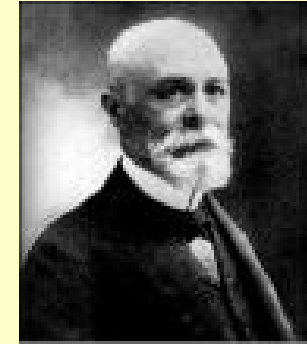
**Cela leur vaudra
le Prix Nobel de
chimie 1935**



HISTORIQUE

* H. Becquerel (1896)

→ uranium



* P. et M. Curie (1898 - 1911)

→ descendants de l'uranium et
du thorium : 7 éléments



* I. et F. Joliot-Curie (1934)

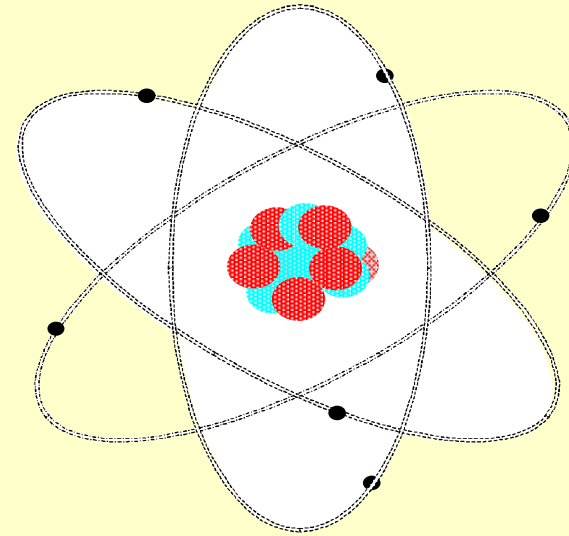
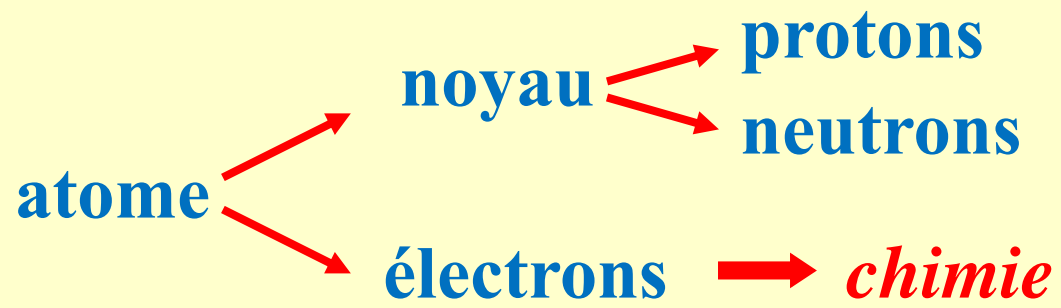
→ tous les éléments sans exception



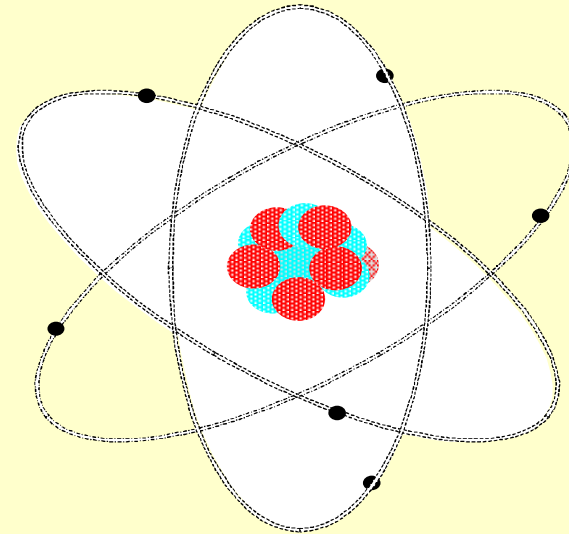
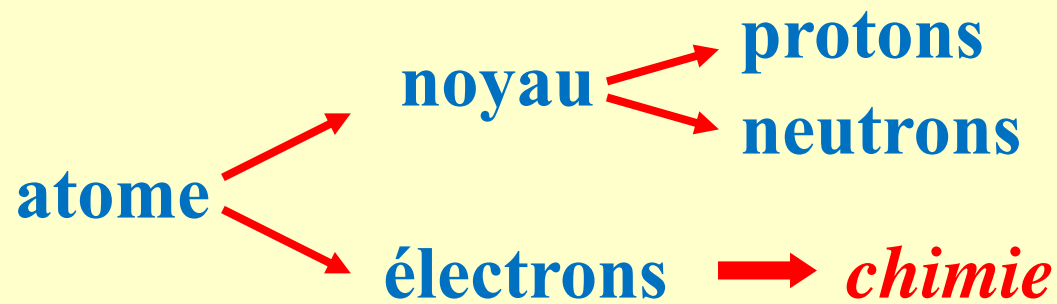


Qu'est ce que la radioactivité ?

L'atome

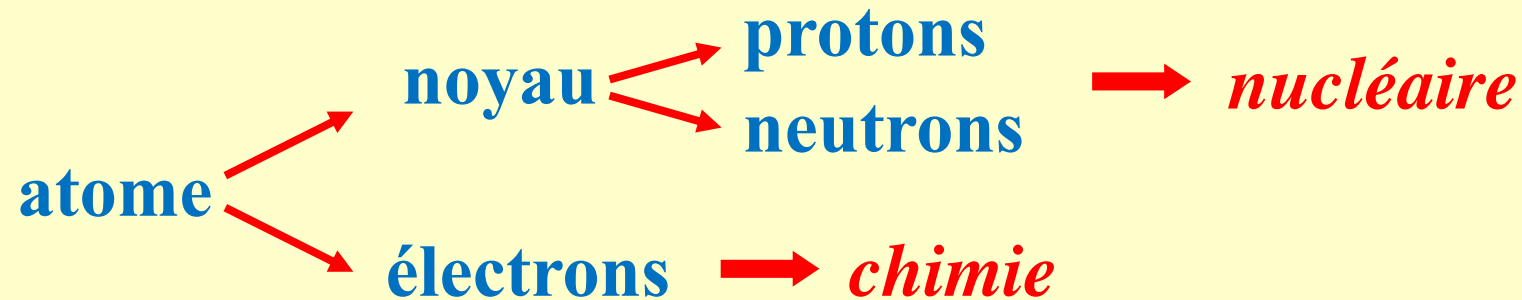


L'atome



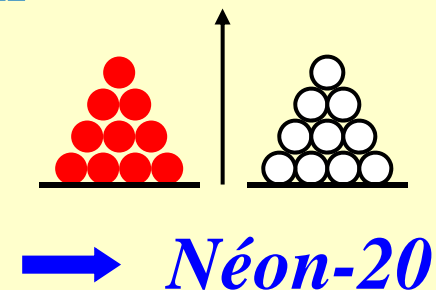
**Les électrons confèrent à l'atome ses propriétés chimiques
son comportement environnemental**

Le noyau de l'atome



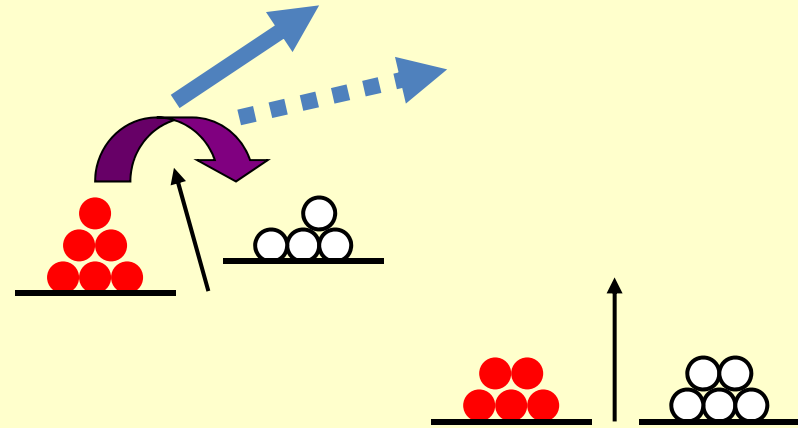
La composition de son noyau confère à l'atome ses propriétés nucléaires

La stabilité de chaque noyau dépend d'un strict équilibre entre son nombre de protons ● et son nombre de neutrons ○



Le déséquilibre de certains noyaux atomiques

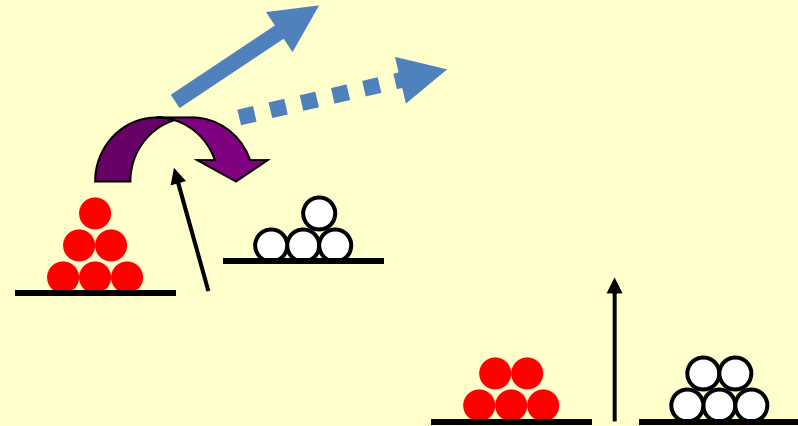
**En cas de déséquilibre
il va modifier sa structure
pour revenir vers la stabilité**



**ce faisant, il émet un (ou plusieurs) rayonnement(s) que
l'on sait détecter et que l'on peut utiliser (α , β , γ)**

Le déséquilibre de certains noyaux atomiques

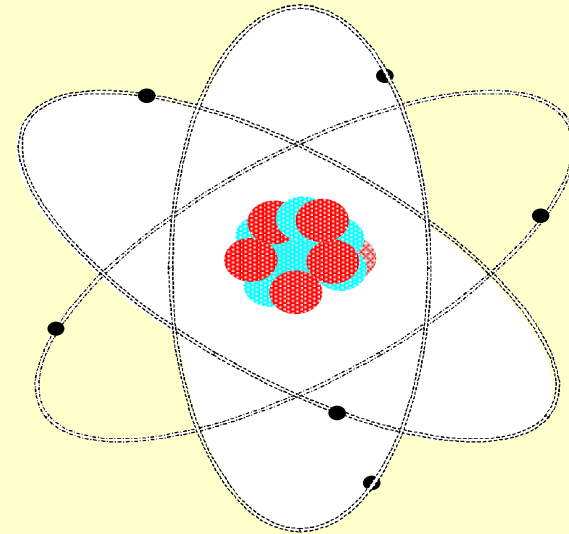
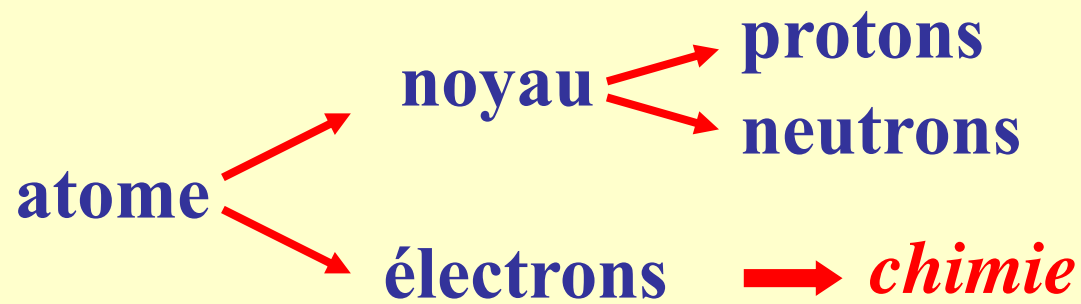
**En cas de déséquilibre
il va modifier sa structure
pour revenir vers la stabilité**



**ce faisant, il émet un (ou plusieurs) rayonnement(s) que
l'on sait détecter et que l'on peut utiliser (α , β , γ)**

on dit qu'il est **radioactif**

Les isotopes



Dans un atome il y a autant d'électrons qui gravitent autour du noyau que de protons dans ce noyau

→ **Isotopes** : atomes possédant le même nombre de protons (donc d'électrons) mais un nombre différent de neutrons

Mais si le nombre d'électrons de change pas, ils auront le même comportement chimique

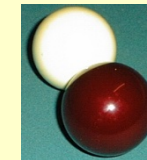
Les isotopes : des frères quasiment jumeaux

Un élément est caractérisé par son nombre de **protons**, mais le nombre de **neutrons** peut varier. Ainsi, pour l'hydrogène :

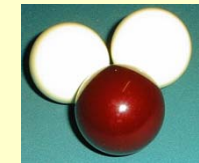
hydrogène-1 → ou hydrogène normal (*stable*)



hydrogène-2 → ou deutérium (*stable*)



hydrogène-3 → ou tritium (*radioactif*)



Chaque élément possède plusieurs isotopes, stable(s) et radioactif(s).

Ainsi dans l'uranium naturel, on trouve trois isotopes dont les deux plus abondants sont :

→ l'uranium-235 (**92 protons** et **143 neutrons**)

→ l'uranium-238 (**92 protons** et **146 neutrons**).

Classification périodique

H 1		élément stable																He 2					
Li 3	Be 4	élément radioactif																B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36						
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	<i>Tc</i> 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54						
Cs 55	Ba 56	⁵⁷ _à 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	<i>Po</i> 84	<i>At</i> 85	<i>Rn</i> 86						
<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88	⁸⁹ _à 103	<i>Rf</i> 104	<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106	<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108	<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110	<i>Rg</i> 111	<i>Cn</i> 112	?	?	?	?	?	?						
← ns		(n-1)d										np →											
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<i>Pm</i> 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71									
← (n-2)f →																							
<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	<i>U</i> 92	<i>Np</i> 93	<i>Pu</i> 94	<i>Am</i> 95	<i>Cm</i> 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103									

Classification périodique

																		<table border="1"> <tr> <td>H 1</td> <td>élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)</td> </tr> <tr> <td>Fr 87</td> <td>élément ne possédant que des isotopes radioactifs</td> </tr> </table>		H 1	élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)	Fr 87	élément ne possédant que des isotopes radioactifs																								
H 1	élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)																																														
Fr 87	élément ne possédant que des isotopes radioactifs																																														
H 1																	He 2																														
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10																														
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18																														
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																														
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																														
Cs 55	Ba 56	⁵⁷ _a 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86																														
Fr 87	Ra 88	⁸⁹ _a 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118																														
<table border="1"> <tr> <td>La 57</td> <td>Ce 58</td> <td>Pr 59</td> <td>Nd 60</td> <td>Pm 61</td> <td>Sm 62</td> <td>Eu 63</td> <td>Gd 64</td> <td>Tb 65</td> <td>Dy 66</td> <td>Ho 67</td> <td>Er 68</td> <td>Tm 69</td> <td>Yb 70</td> <td>Lu 71</td> </tr> <tr> <td>Ac 89</td> <td>Th 90</td> <td>Pa 91</td> <td>U 92</td> <td>Np 93</td> <td>Pu 94</td> <td>Am 95</td> <td>Cm 96</td> <td>Bk 97</td> <td>Cf 98</td> <td>Es 99</td> <td>Fm 100</td> <td>Md 101</td> <td>No 102</td> <td>Lr 103</td> </tr> </table>																		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71																																	
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103																																	

HISTORIQUE

« La diversité des natures chimiques, la diversité des vies moyennes de ces radioéléments synthétiques, permettent sans doute des recherches nouvelles en biologie et physicochimie....

La méthode des indicateurs radioactifs jusqu'alors réservée aux éléments de masse atomique élevée, peut être généralisée à un très grand nombre d'éléments distribués dans toute la classification périodique.

En biologie, par exemple, la méthode des indicateurs, employant des radioéléments synthétiques, permettra d'étudier facilement le problème de la localisation et de l'élimination d'éléments divers introduits dans les organismes vivants. *Il n'est pas utile dans ces recherches, d'introduire des quantités importantes de l'isotope radioactif. Ces quantités sont fixées par la sensibilité de l'appareil détecteur. »*

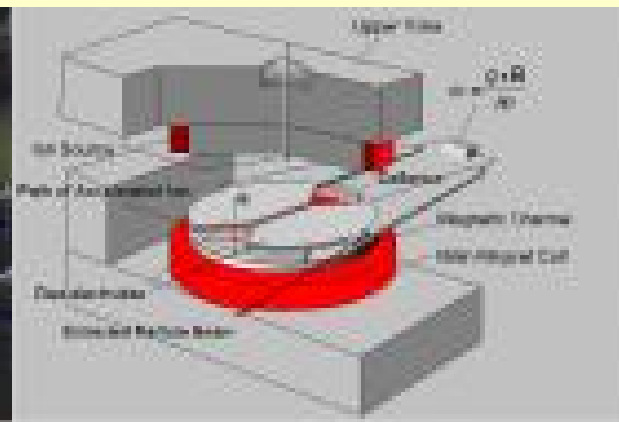
RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE (1934)

Tc ($Z = 43$ - 1937)

Pm ($Z = 61$ - 1945)

Puis 93 (1940) → 118 (2010)

+ autres radioéléments, isotopes d'éléments stables, synthétisés par des voies artificielles.



La radioactivité

cela ne se voit pas



La radioactivité

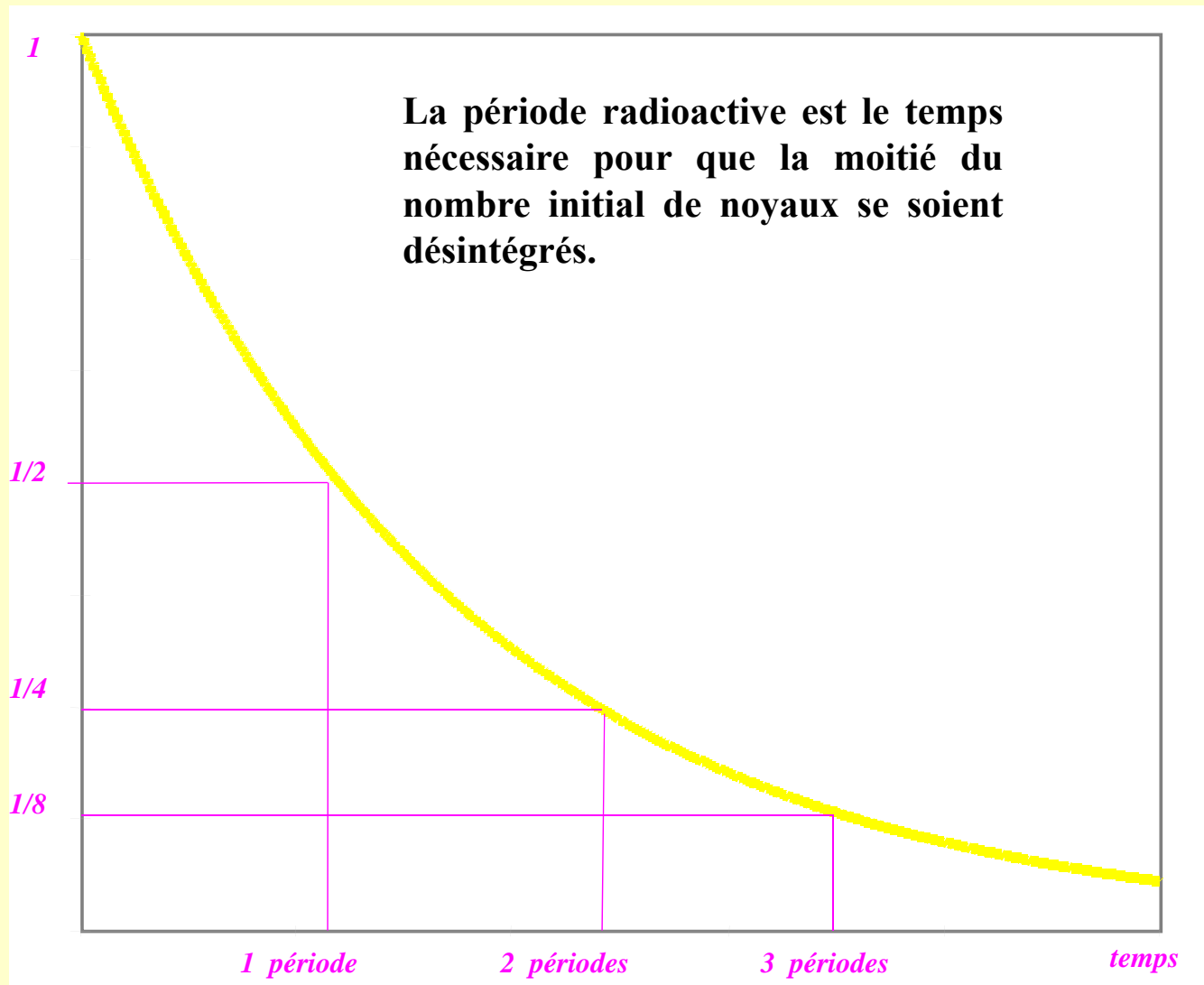
cela ne se voit pas



mais cela se détecte



La radioactivité est un processus qui décroît avec le temps



L'unité d'activité est le becquerel (Bq)

1 désintégration par seconde.

1 becquerel d'iode-129

correspond à 0,000 000 157 gramme de ce radioélément

L'ancienne unité, utilisée jusqu'en 1985 était le curie (Ci)

1 Ci = 37 milliards de Bq

C'est environ l'activité d'un gramme de radium-226.

Cette unité a officiellement disparu le 1er janvier 1986 à 0h00.

Dans le corps humain, les deux isotopes radioactifs les plus importants sont :

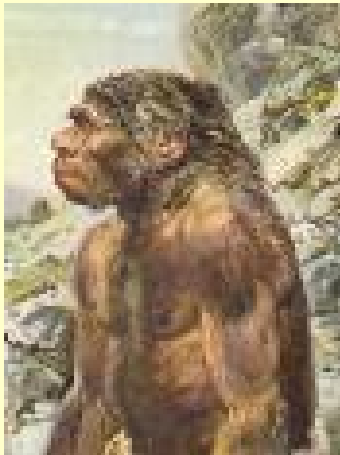
* le potassium-40 (190 000 désintégrations par minute)

* le carbone-14 (140 000 désintégrations par minute)

Activité spécifique $\approx 0,17$ Bq/g

ou 170 Bq/kg

Calculez votre radioactivité :



50 kg	8 500 Bq	80 kg	13 600 Bq
60 kg	10 200 Bq	90 kg	15 300 Bq
70 kg	11 900 Bq	100 kg	17 000 Bq



Soit une radioactivité naturelle du corps humain comprise entre 8 et 17 milliards de microbecquerels.

Zéro becquerel ?

Dans la nature, cette valeur n'a aucun sens et est impossible à trouver.

Zéro becquerel ?

Dans la nature, cette valeur n'a aucun sens et est impossible à trouver.

La référence ne peut être que la **radioactivité naturelle**, qui nous entoure ou que nous possédons à l'intérieur de nous-même.

LES EFFETS DES RAYONNEMENTS SUR LA MATIÈRE

**Les effets des rayonnements sur la matière
dépendent de l'énergie qu'ils y dissipent par unité
de masse :**

c'est la dose.

Son unité est le gray (Gy) = 1 joule/kilogramme

Son ancienne unité est le rad (0,01 Gy)

Dans la matière vivante, il faut tenir compte d'autres facteurs (nature du rayonnement, distribution homogène ou non de l'isotope radioactif dans l'organisme).

On remplace alors la notion de dose par celle d'équivalent de dose

Son unité est le sievert (Sv)

Son ancienne unité est le rem (0,01 Sv)

Rad et rem ont disparu officiellement le même jour que le curie (1.01.86 à 0h00).

Ainsi, la quantité de radioactivité (becquerels**)
absorbée par un individu exposé
est mesurée par le **gray**.**

**L'effet produit par cette dose
sur l'individu exposé
est mesurée par le **sievert**.**

RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE (1934)

Tc (Z = 43 - 1937)

Pm (Z = 61 - 1945)

Puis 93 (1940) → 118 (2010)

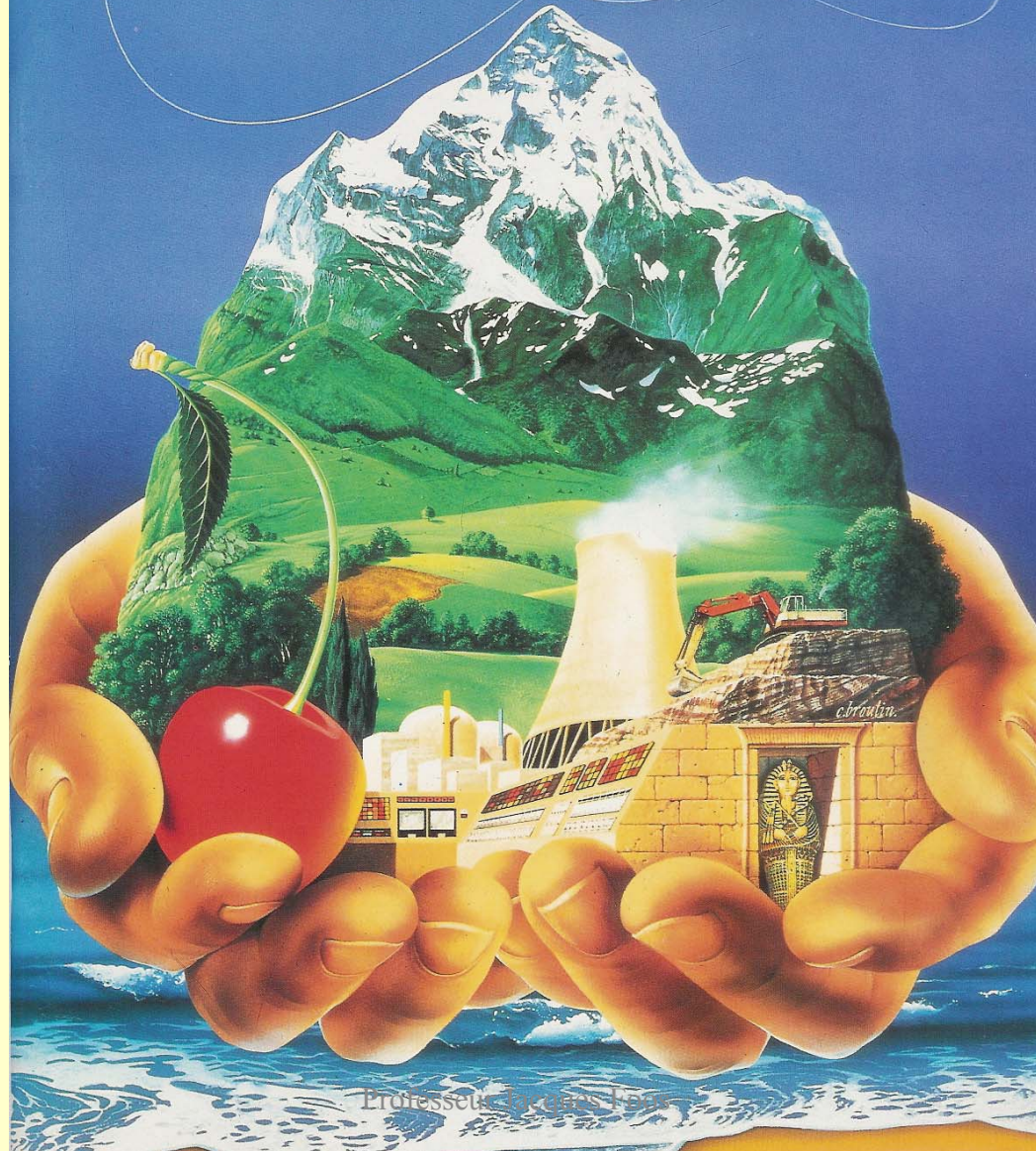


+ autres radioéléments, isotopes d'éléments stables, synthétisés par des voies artificielles.

On utilise cette radioactivité dans diverses applications, que ce soit l'utilisation de l'émission de rayonnements ou les propriétés physiques ou chimiques de l'isotope radioactif (traceur).

LUMIÈRE D'ATOMES

LE NUCLÉAIRE AU SERVICE DE L'HOMME



02/12/2016

Professeur Jacques Lods

59

LUMIÈRE D'ATOMES

LE NUCLÉAIRE AU SERVICE DE L'HOMME

Les applications de la radioactivité



02/12/2016

Professeur Jacques Lods

60

Méthodologie de l'utilisation des radioéléments

On utilise donc le phénomène de radioactivité

Méthodologie de l'utilisation des radioéléments

On utilise donc le phénomène de radioactivité

Les propriétés utilisées pour ces diverses applications vont être :

La décroissance dans le temps de la radioactivité

L'émission de rayonnements

La sensibilité de détection

L'identité chimique

Domaines d'applications

La biologie et la médecine

Les sciences de la Terre

L'industrie

La préservation du patrimoine culturel

Sauf quelques cas, l'utilisation des rayonnements n'induit pas dans le matériau irradié une nouvelle radioactivité qui s'ajouterait à sa radioactivité naturelle

Lorsque des radioéléments sont dispersés à l'intérieur d'une enceinte, ils sont choisis pour leurs durées de vie (périodes radioactives) les plus courtes possibles (inférieures à quelques jours)



Les applications médicales de la radioactivité

Applications médicales de la radioactivité

- * Applications thérapeutiques

- traitement du cancer
- réhabilitation

- * Aide au diagnostic **in vivo**

→ imagerie médicale

- * Aide au diagnostic **in vitro**

→ dosages radio-immunologiques

c'est l'application des radio-traceurs

Applications médicales de la radioactivité

Applications thérapeutiques

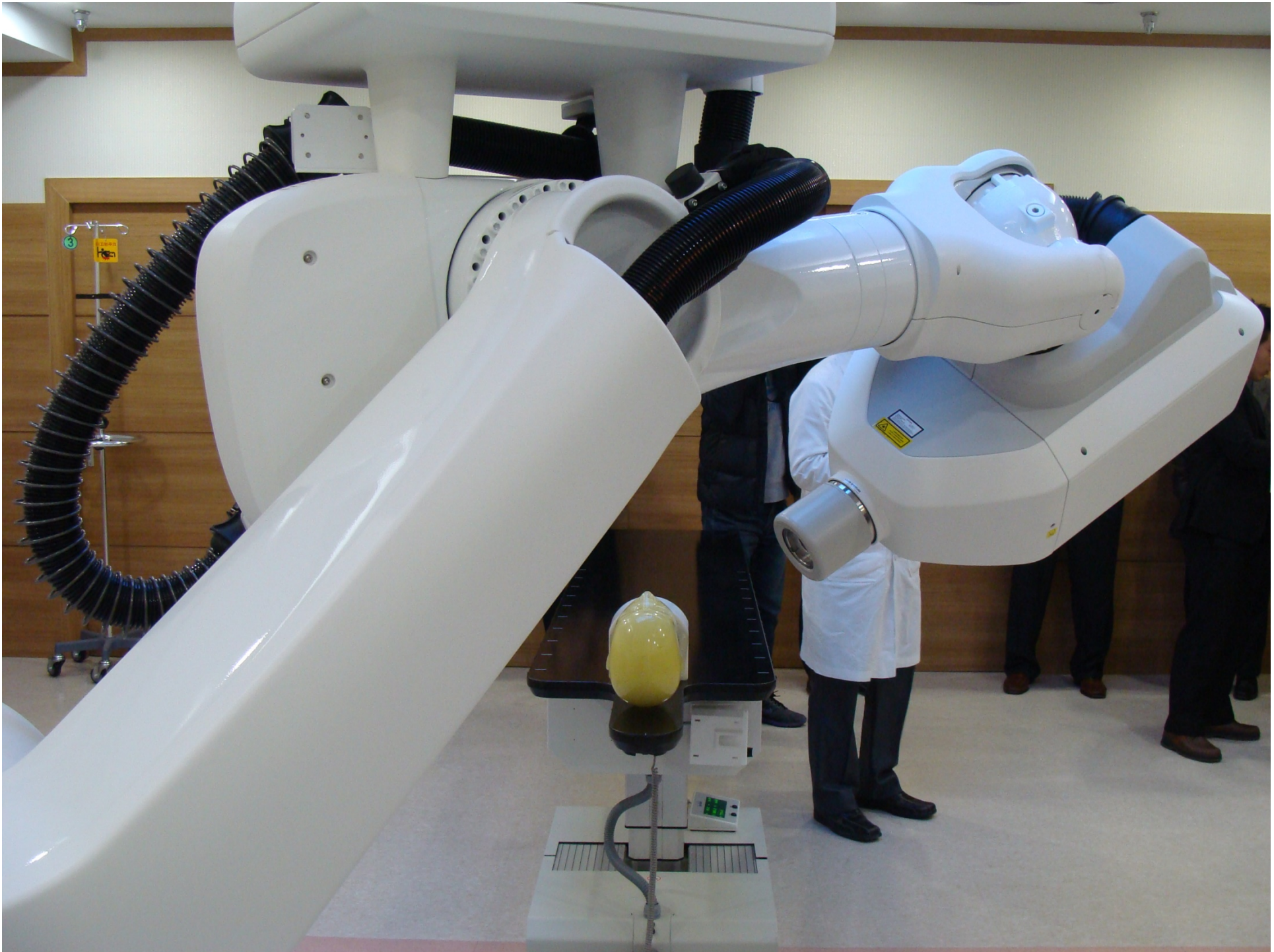
- traitement du cancer
- réhabilitation

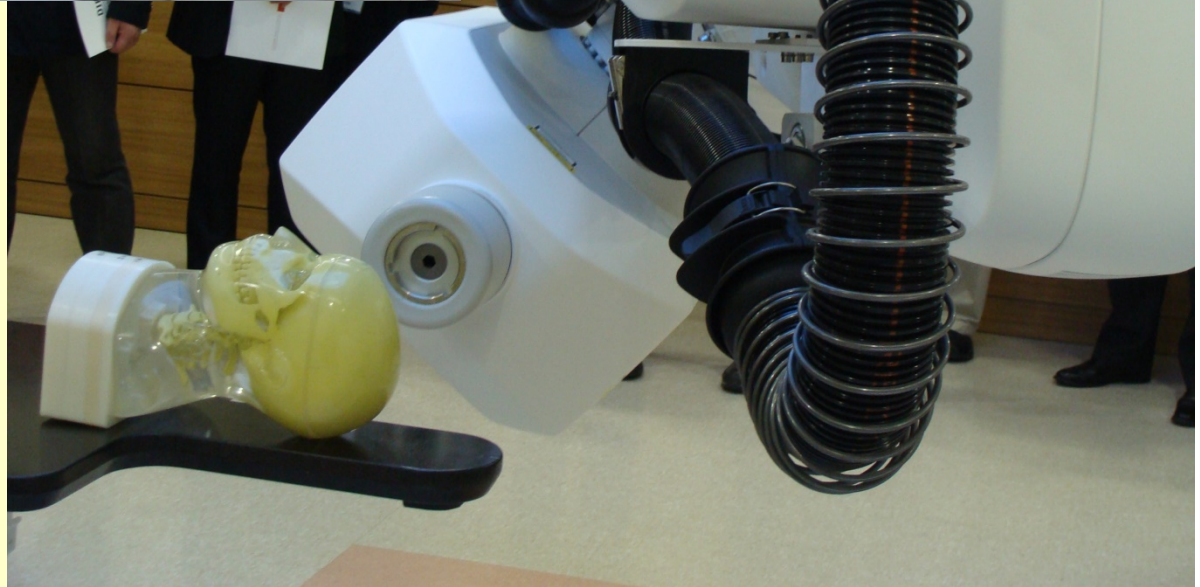
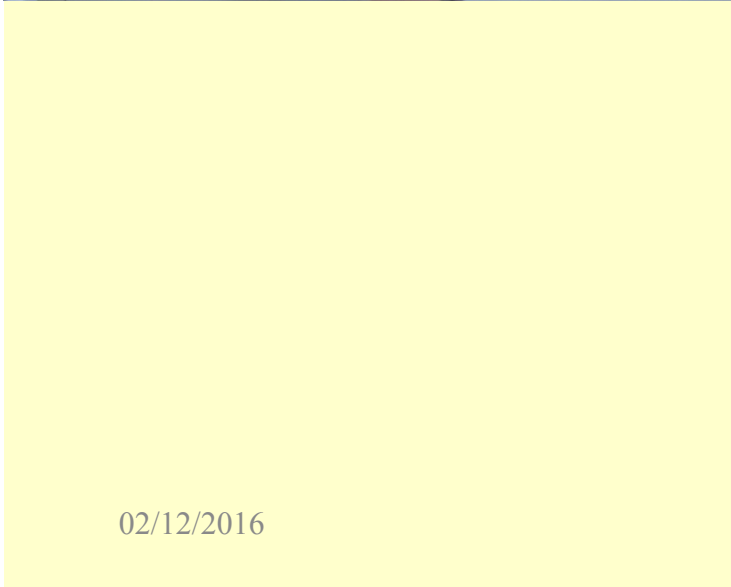
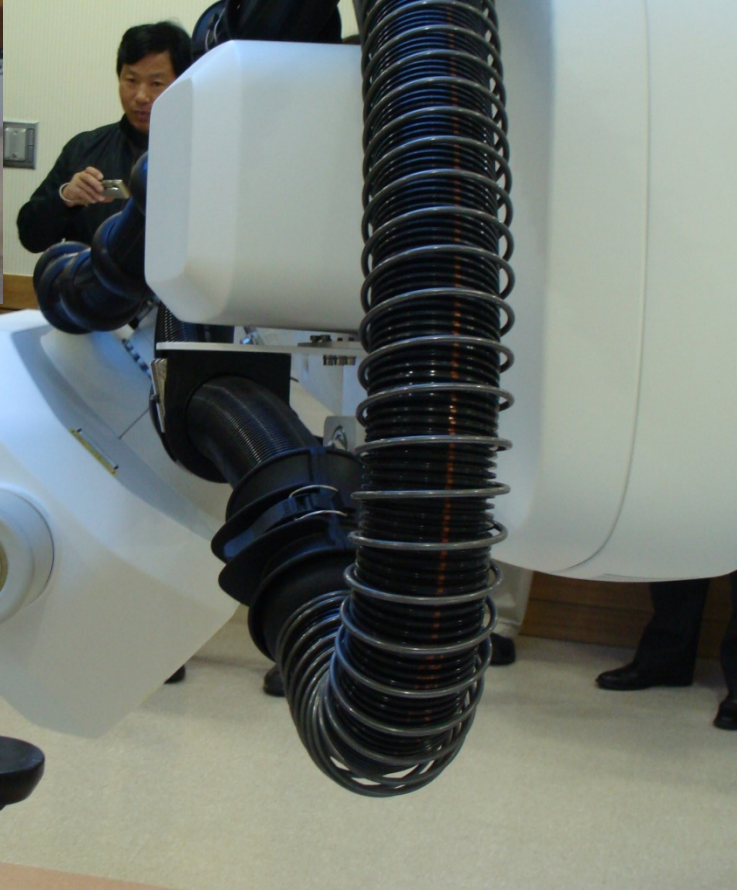
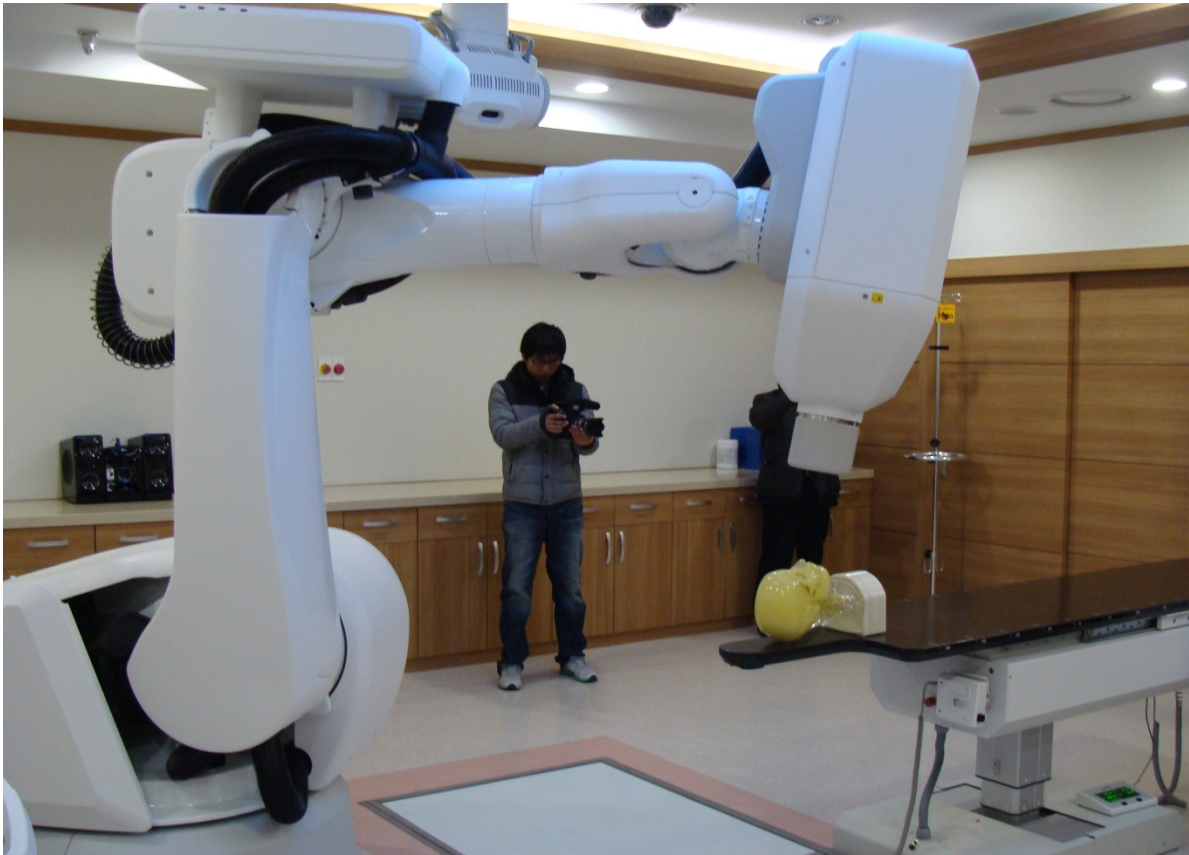
C'est l'application des effets du rayonnement sur la matière vivante (pour la radiothérapie)

et sur la matière inerte pour la réhabilitation : greffages radiochimiques

Irradiateur pour traitement du cancer







02/12/2016



Des technologies de plus en plus poussées

protonthérapie



**Cyclotron Arronax
(70 MeV ; 750 μ A)**

Cu-64 et 67 ; Ge-68 ; Sr-82

02/12/2016

Profe



Applications médicales de la radioactivité

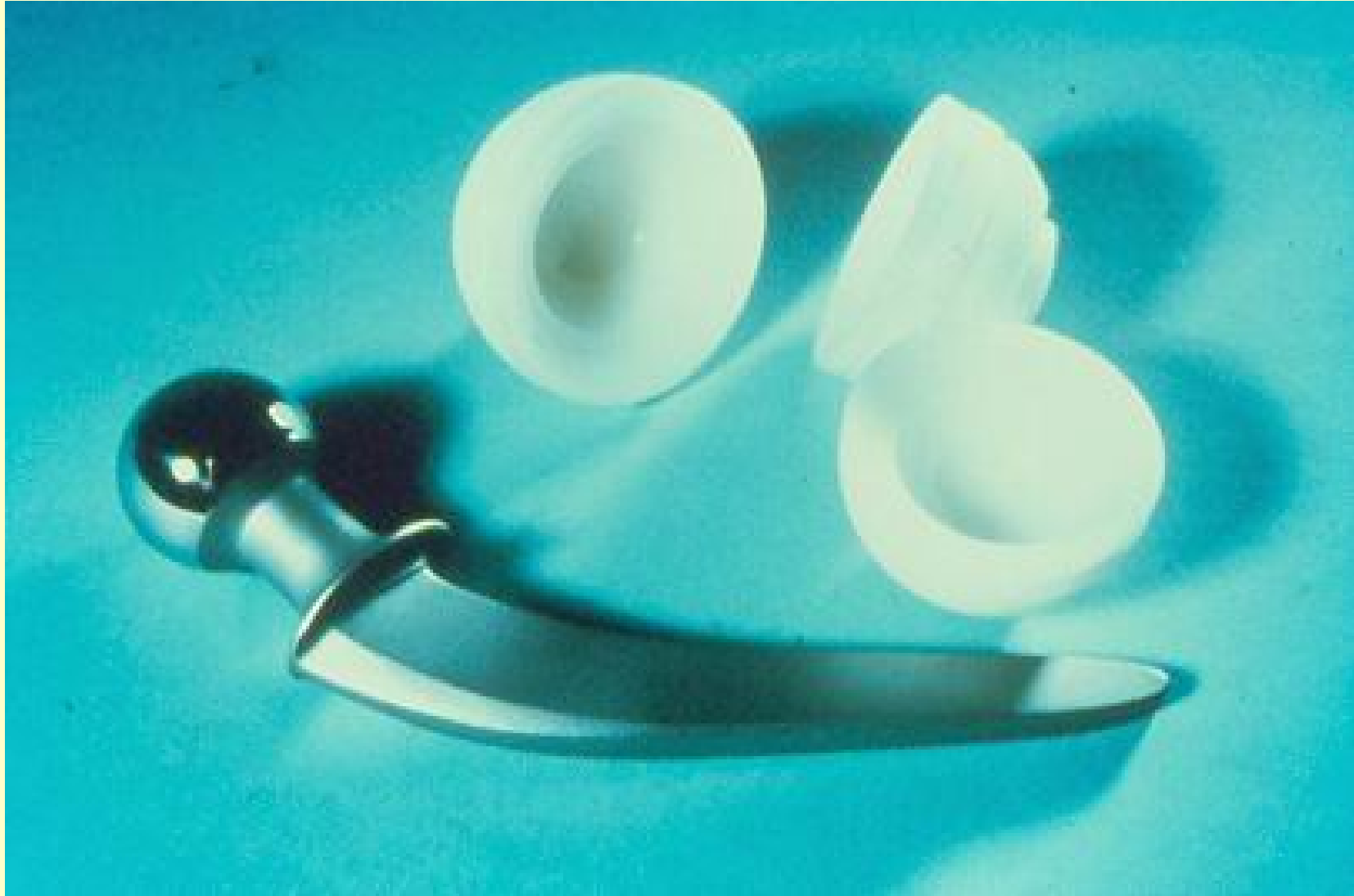
Applications thérapeutiques

- traitement du cancer
- réhabilitation

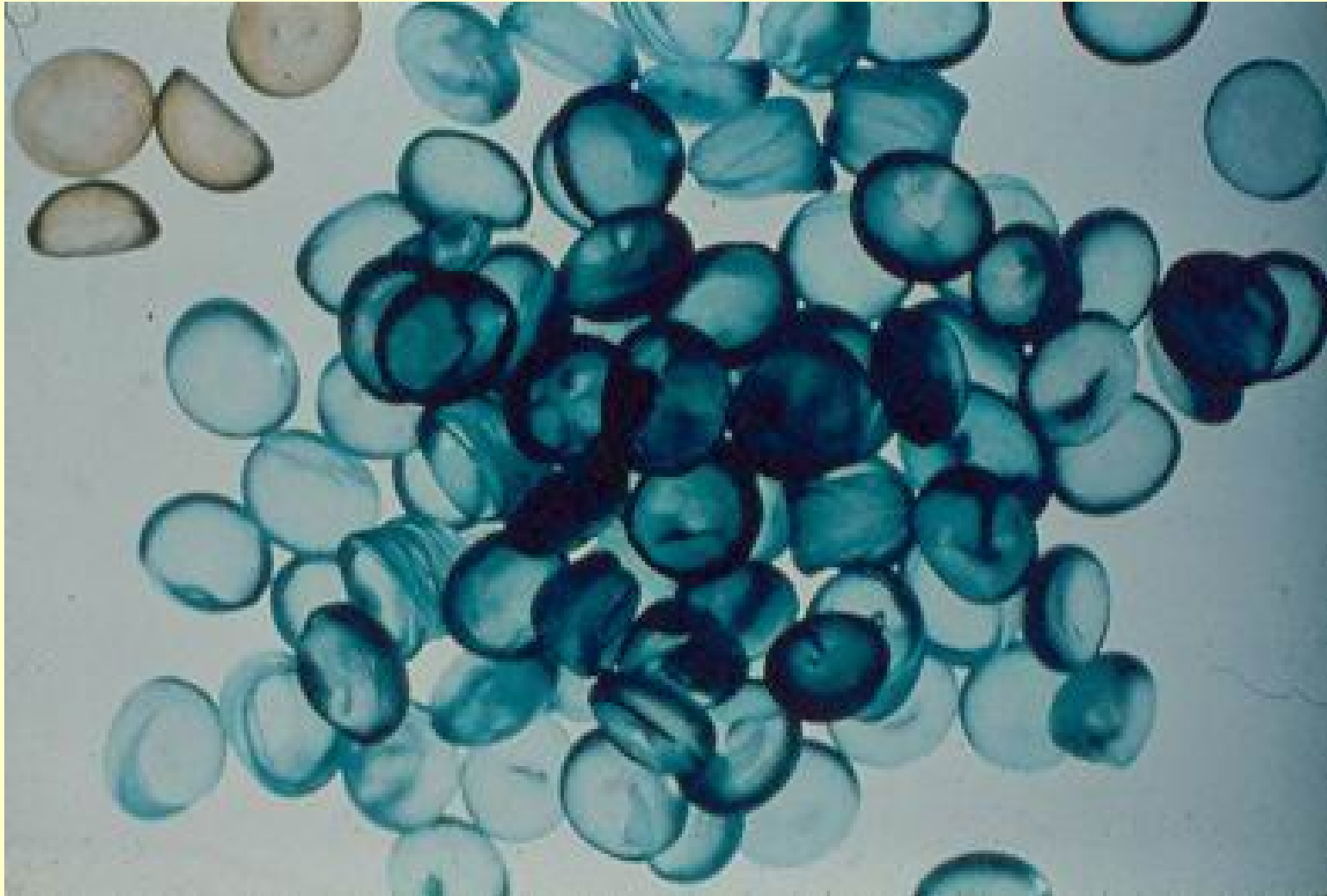
C'est l'application des effets du rayonnement sur la matière vivante (pour la radiothérapie)

et sur la matière inerte pour la réhabilitation : greffages radiochimiques

Prothèse de hanche

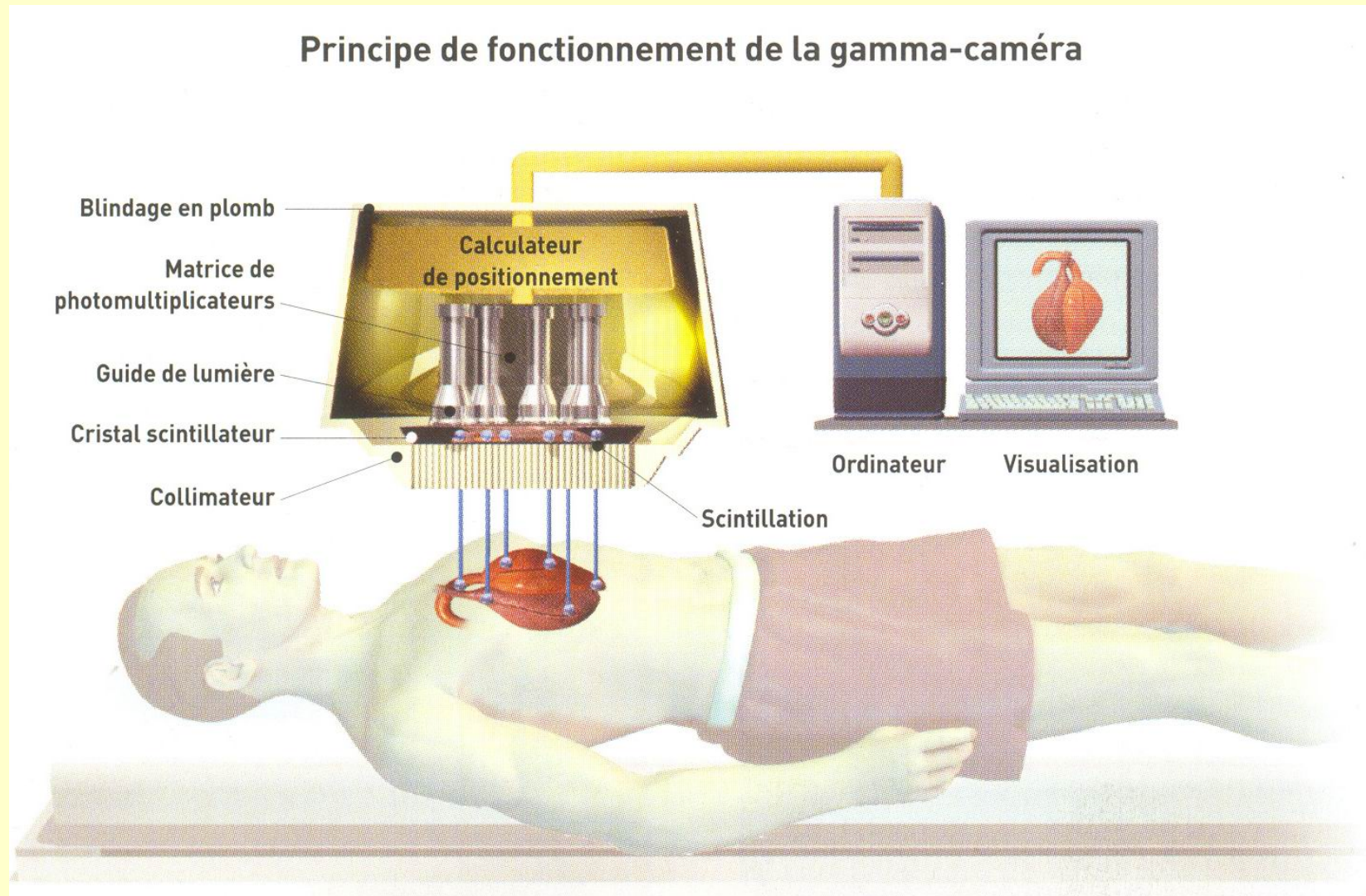


Lentilles cornéennes



Aide au diagnostic in vivo

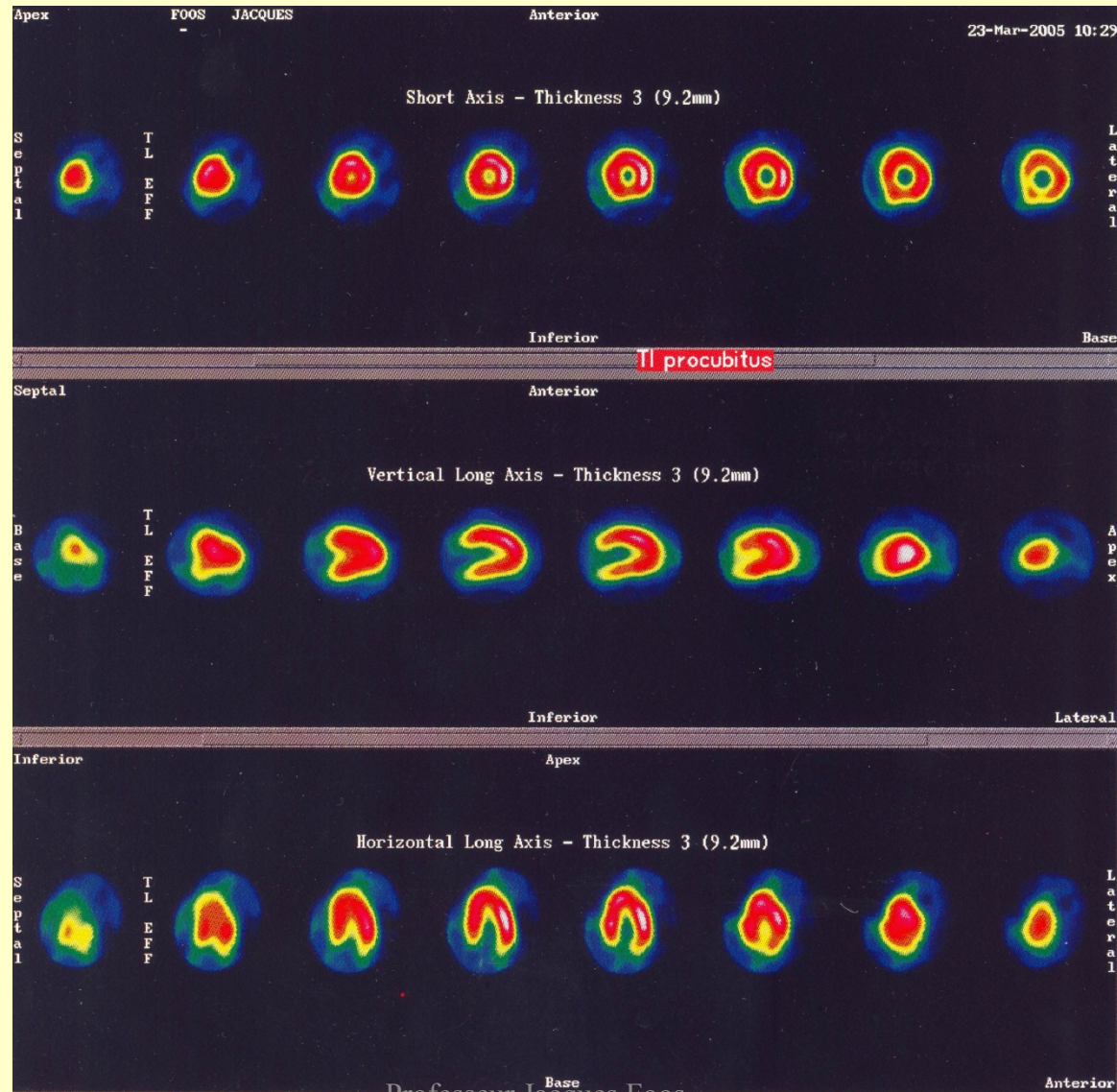
Gamma caméra (principe)



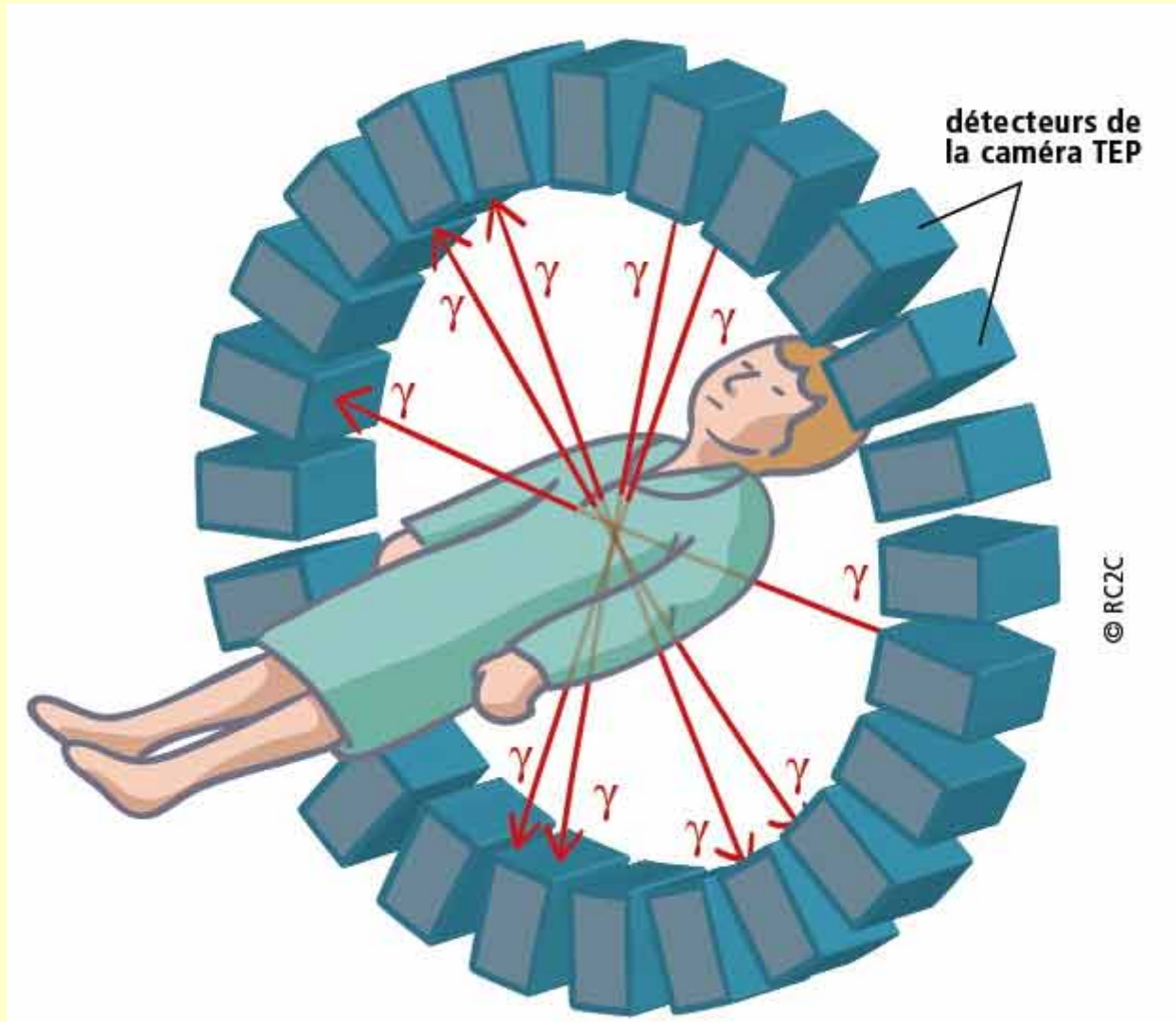
Gamma caméra



Scintigraphie cardiaque



Caméra TEP



Caméra TEP



Cyclotron producteur de fluor-18



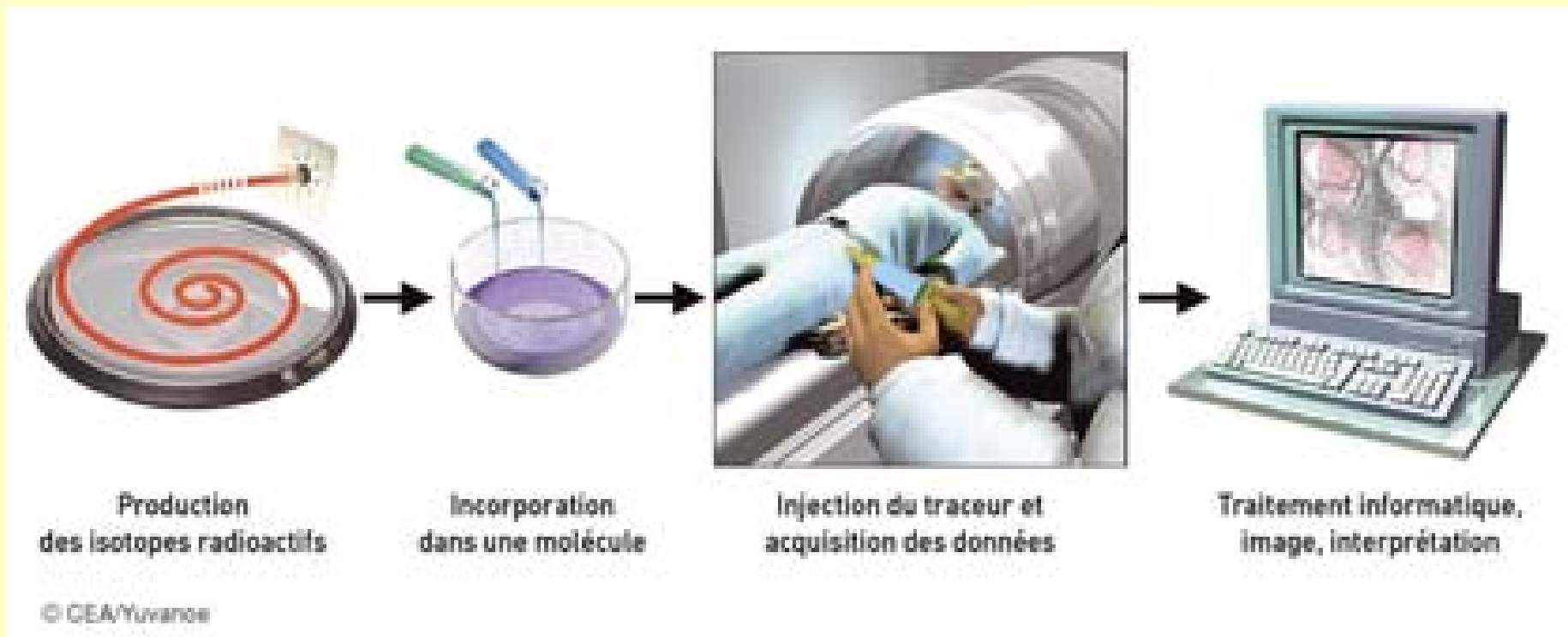
Caméra TEP



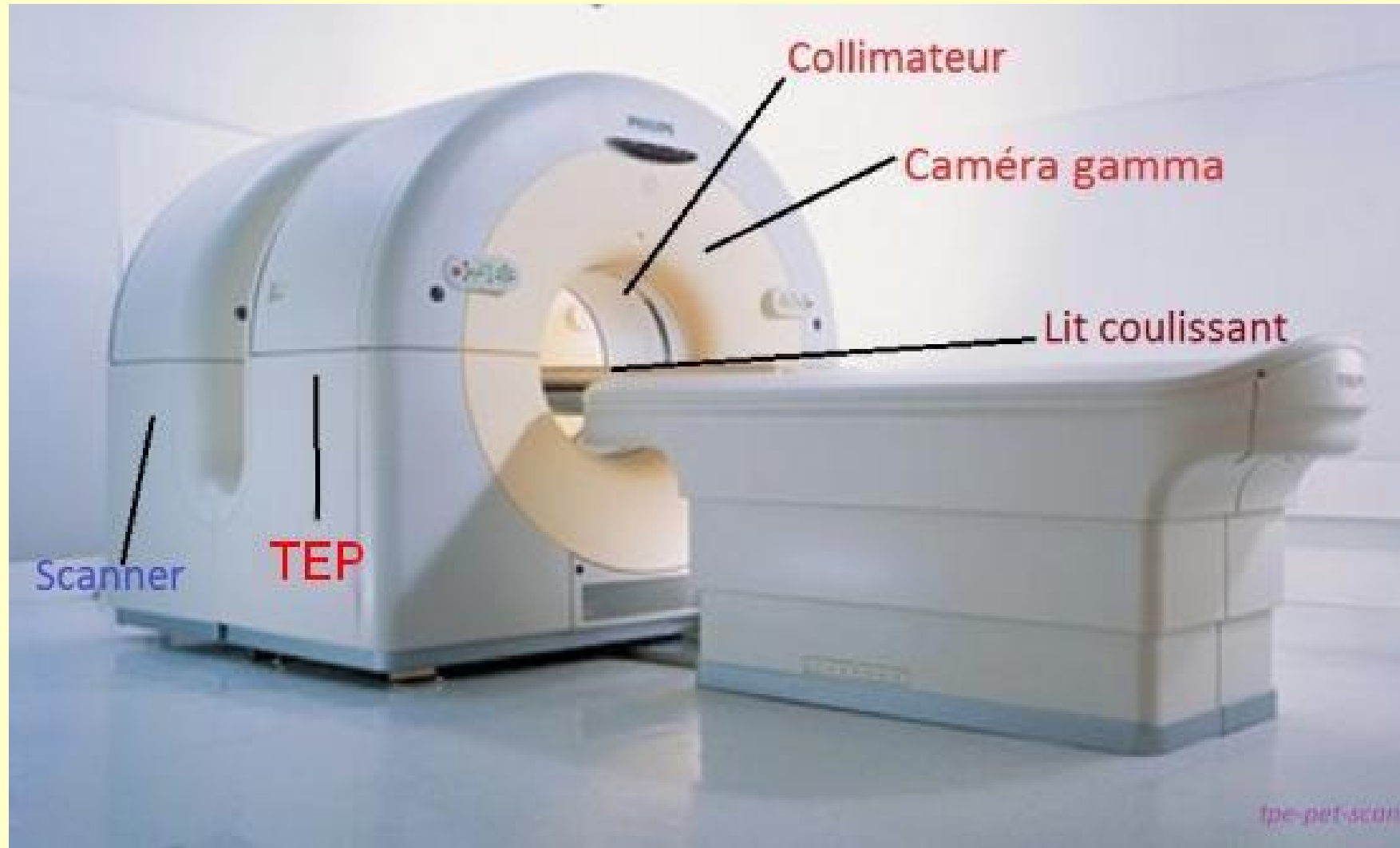
Caméra TEP



Caméra TEP



Caméra TEP



Salle d'IRM



02/12/2016

86

GE MEDICAL SYSTEMS
Signa HDxt SignaHDx
Ex: 23830/SIR.2.49896
Se: 7
Im: 10
O Sag R 2.5
DFOV 24.0cm

SRP

IRM39 NORD

SIR18978
Sep 27 2010
12:28:29 PM
Mag = 1.00
FL:
ROT:

ET:7

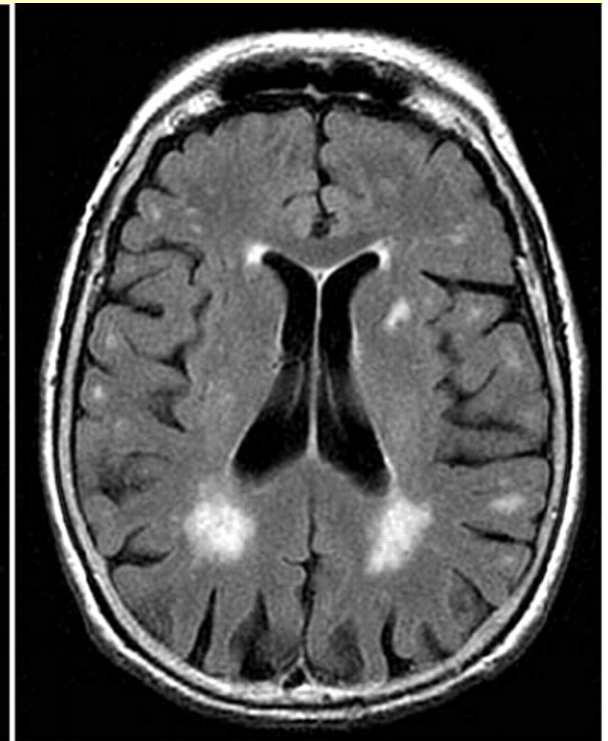
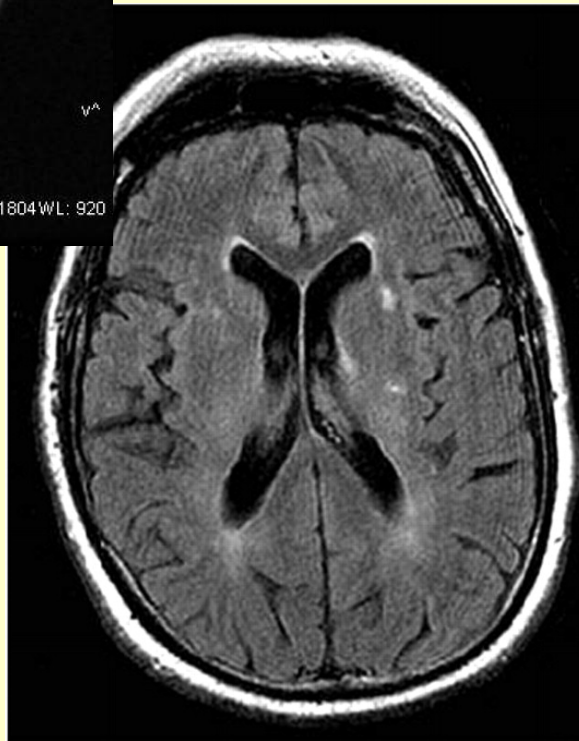
A
R

P
L

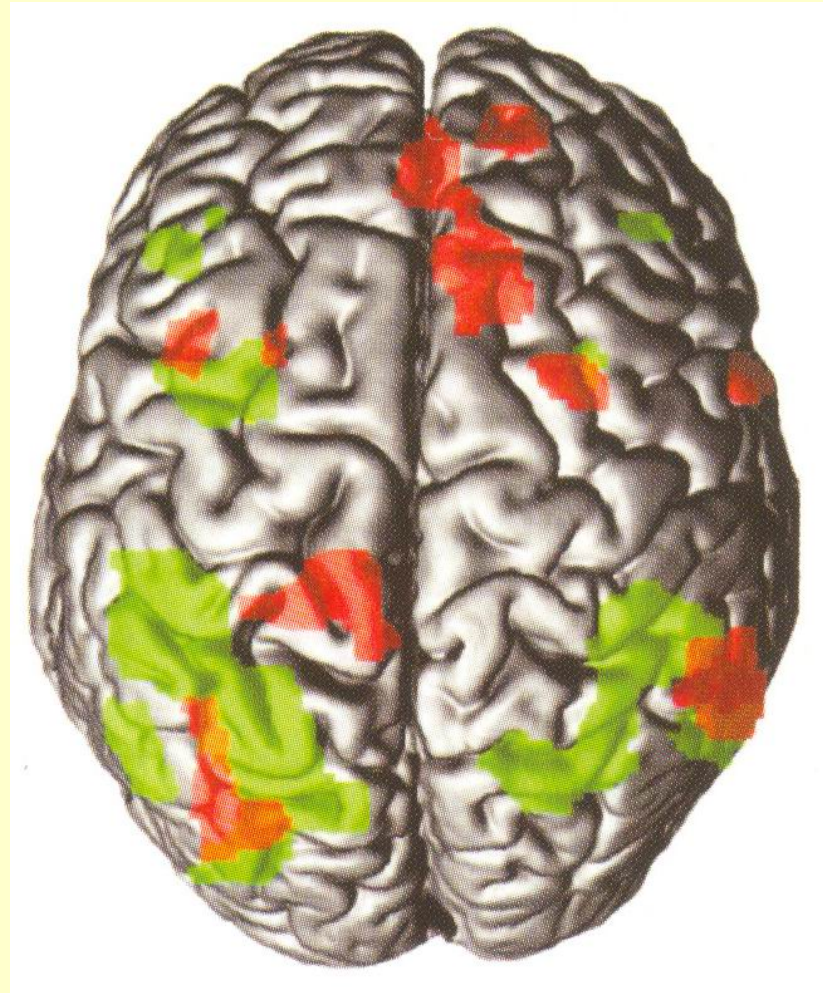
T1 flair
TR:1996
TE:9.8/Ef
EC:1 /1 31.2kHz
TI:720.0
8NV/HEAD NECK_A/FL/s
FOV:24x24
5.0thk/1.5sp
20/02:39
384x256/2.00 NEX
SQ/TRF

ILA

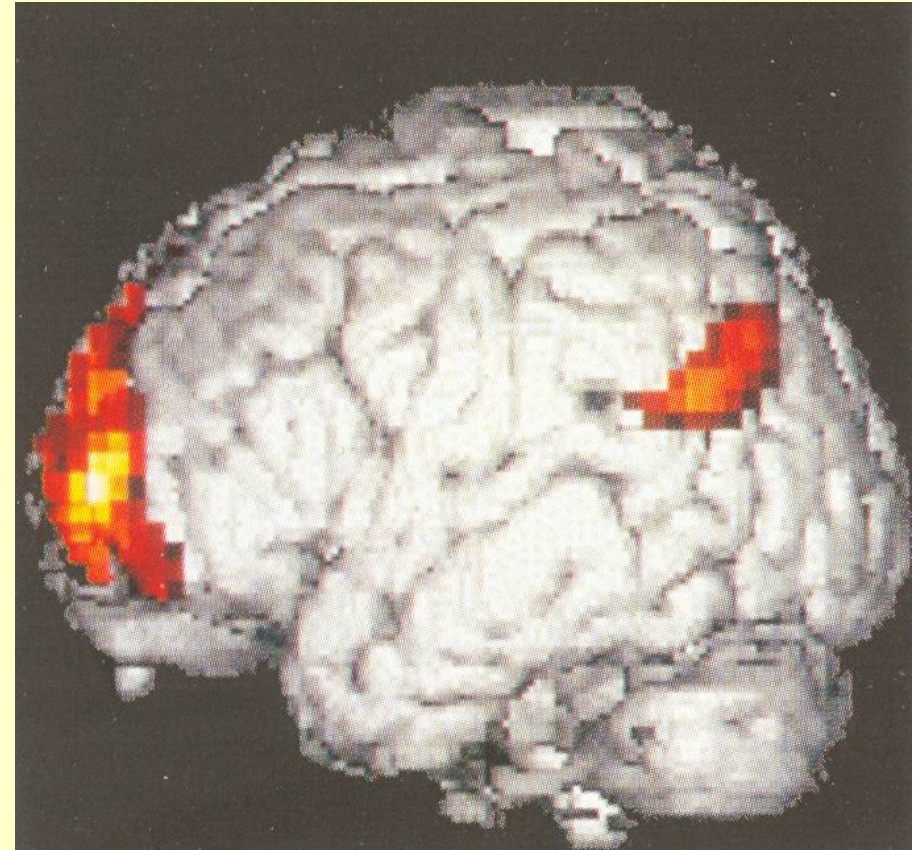
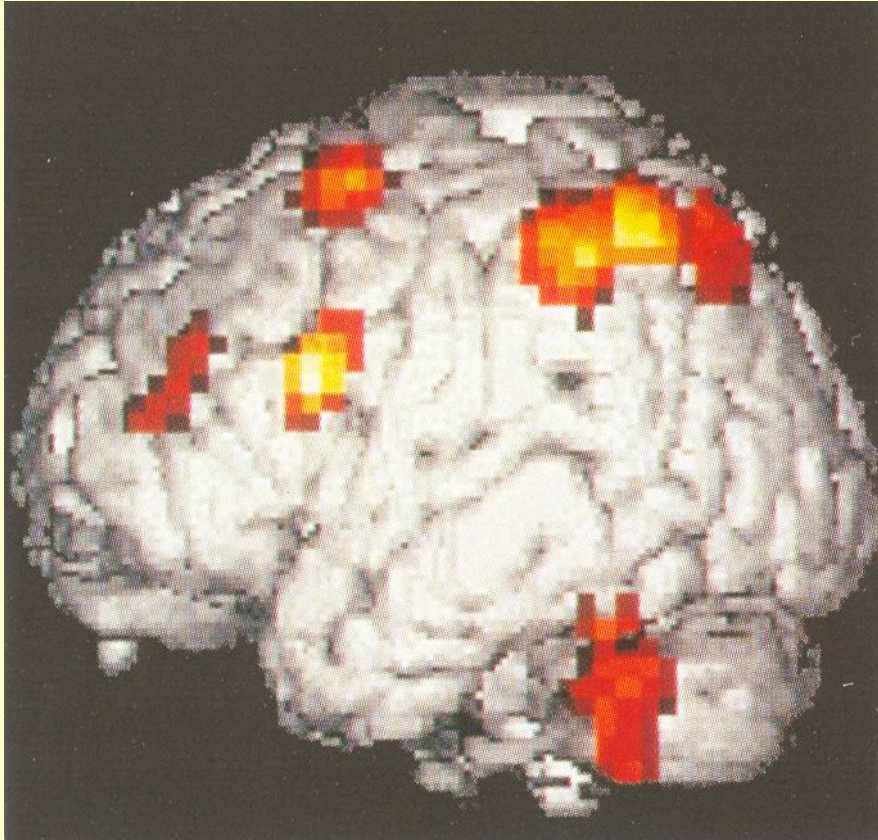
WWW: 1804WL: 920



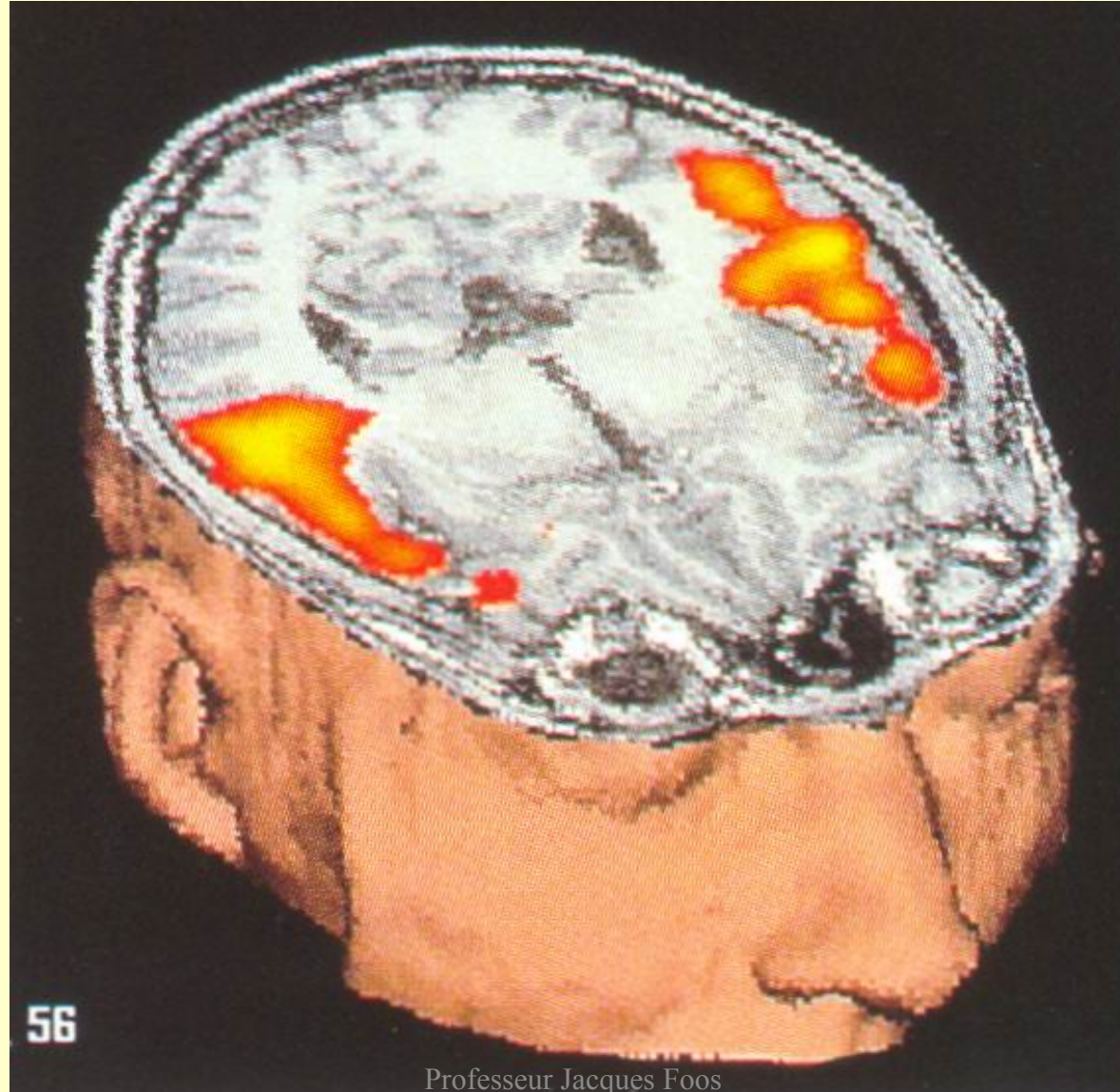
Calcul complexe



Calcul approximatif et calcul exact

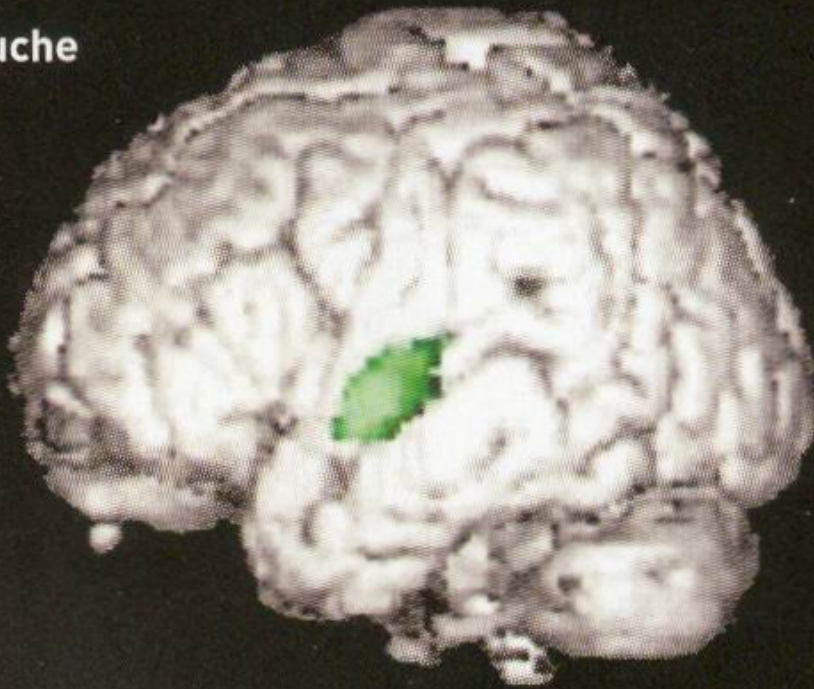


Activation auditive



Autisme

Gauche









Droite



Aide au diagnostic in vitro

Dosages radio-immunologiques

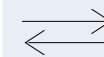
Antigène libre non marqué 	+	Anticorps spécifique 	\rightleftharpoons	Complexe antigène anticorps 
Antigène libre marqué 	+	Anticorps spécifique 	\rightleftharpoons	Complexe antigène marqué-anticorps 

Dosages radio-immunologiques

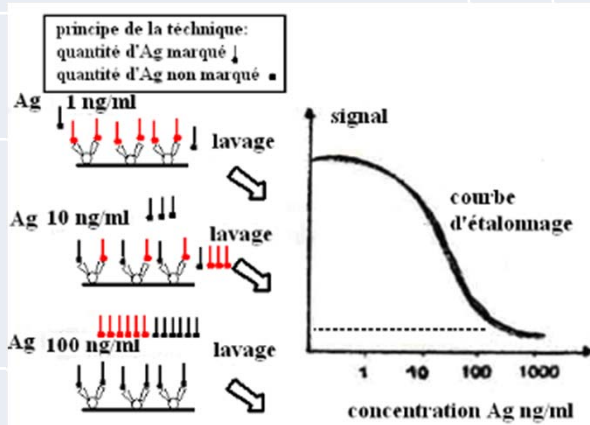
Antigène libre non marqué

+

Anticorps spécifique



Complexe antigène anticorps



Extrême spécificité (Ag-Ac)

Extrême sensibilité de détection (radioactivité)

Antigène libre marqué

+

Anticorps spécifique



Complexe antigène marqué-anticorps



Dosages radio-immunologiques



02/12/2016

Professeur Jacques Foos

95

Autres applications : quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

Câbles réticulés



Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

**Industrie du bois : élaboration de composés
bois-plastiques**

Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

Composés bois-plastiques



Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

Contrôles de soudure par gammagraphie



02/12/2016

Professeur Jacques Foes

102

Contrôles de positionnement de « fers » dans le béton par gammagraphie

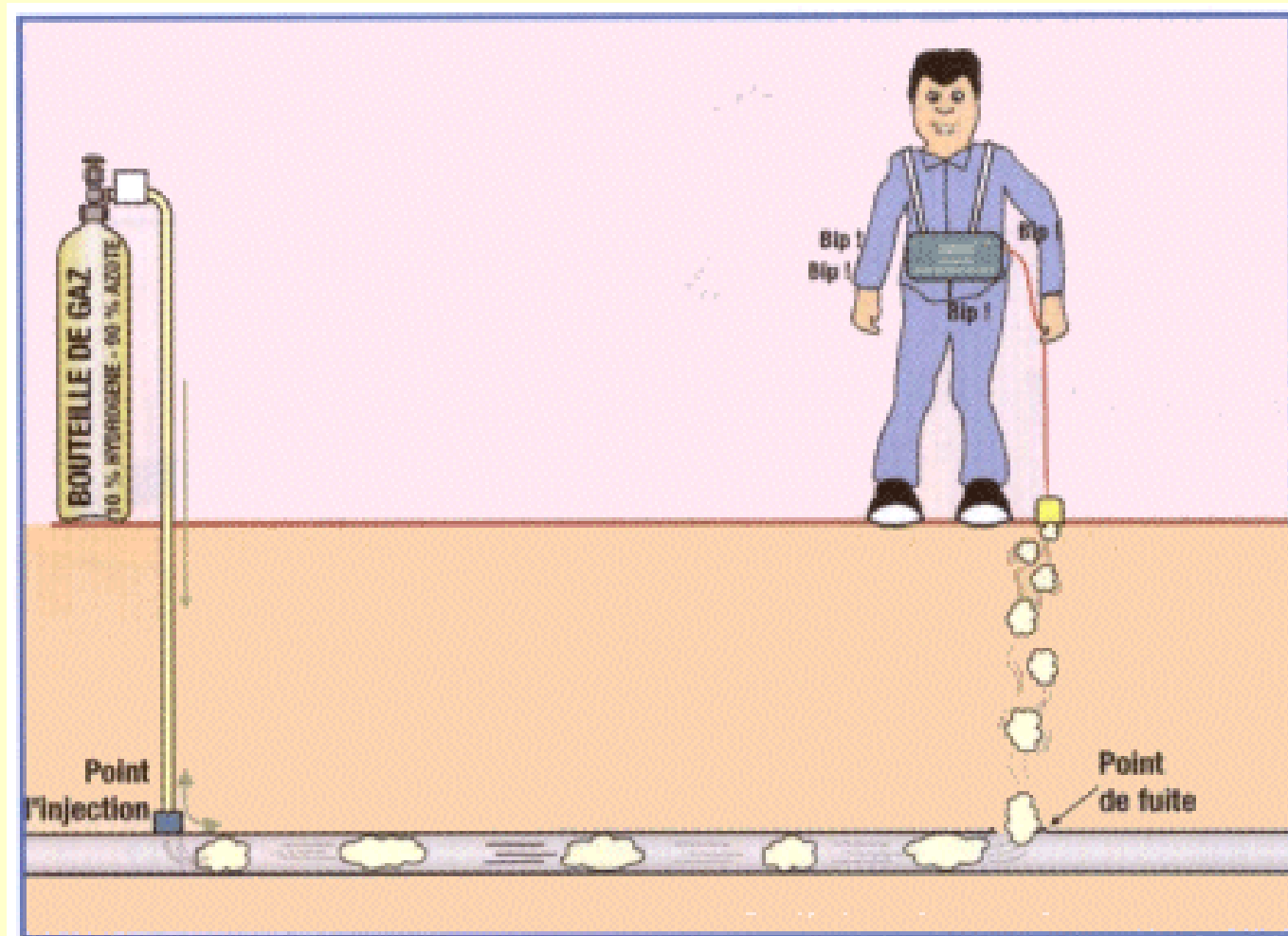


02/12/2016

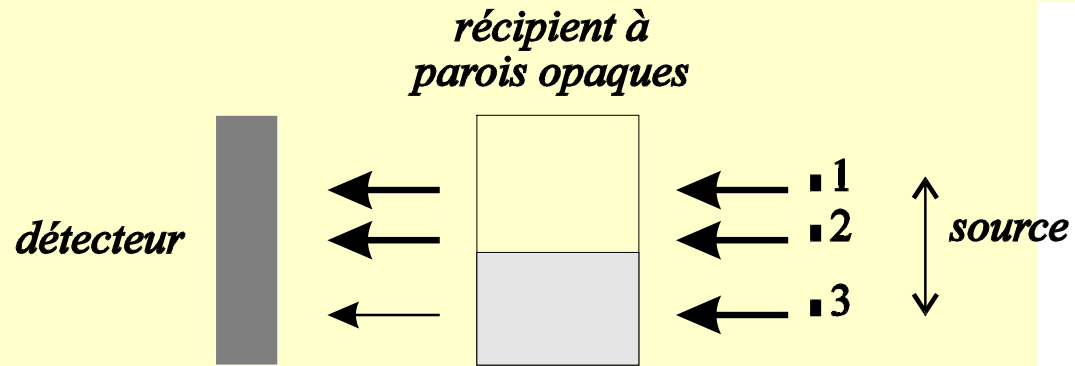
Professeur Jacques Foos

103

Recherche de fuite de gaz sur canalisation enterrée



Détection de niveaux



Peintures lumineuses



02/12/2016



Professeur Jacques Foos

106

Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

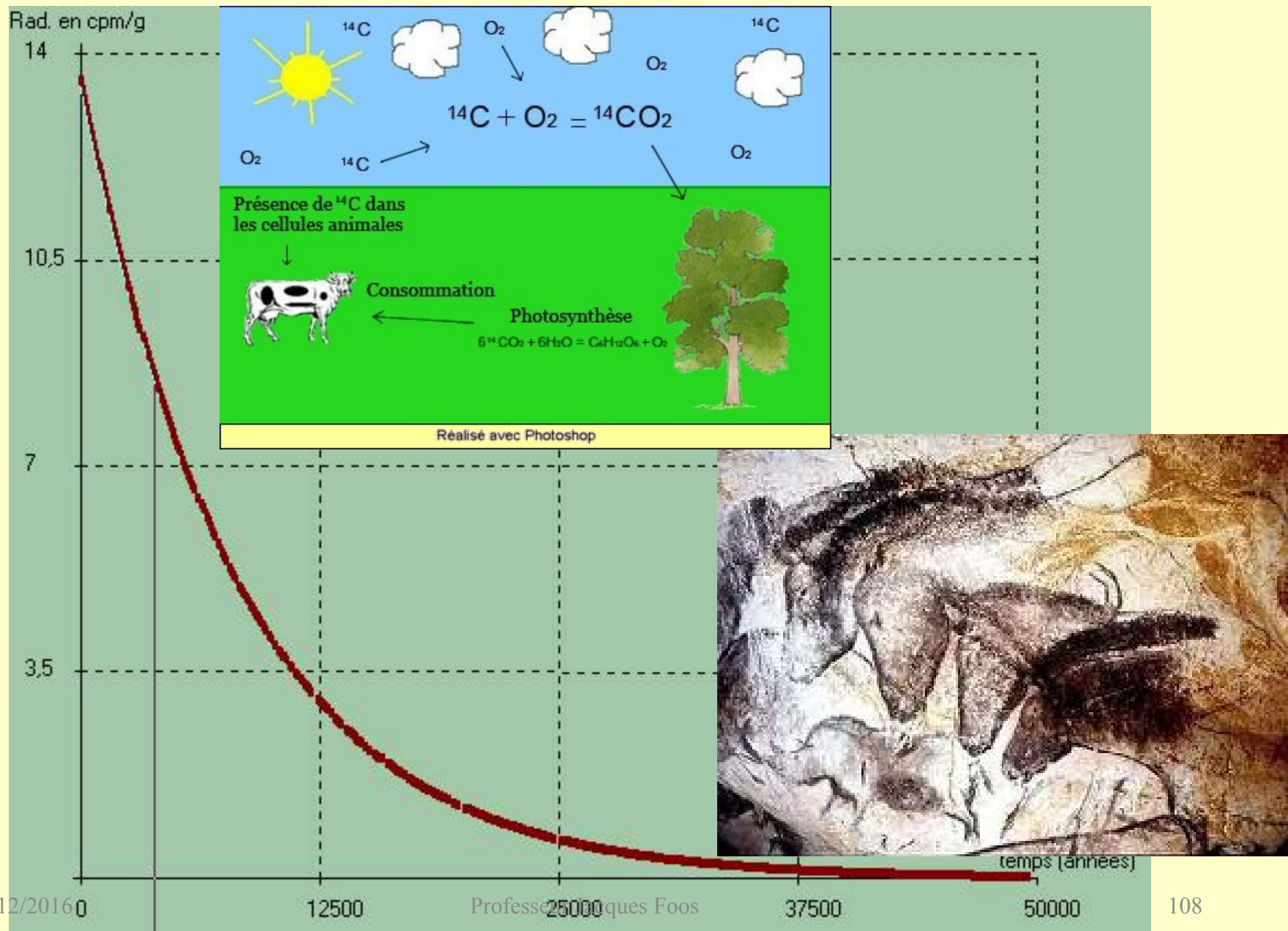
Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

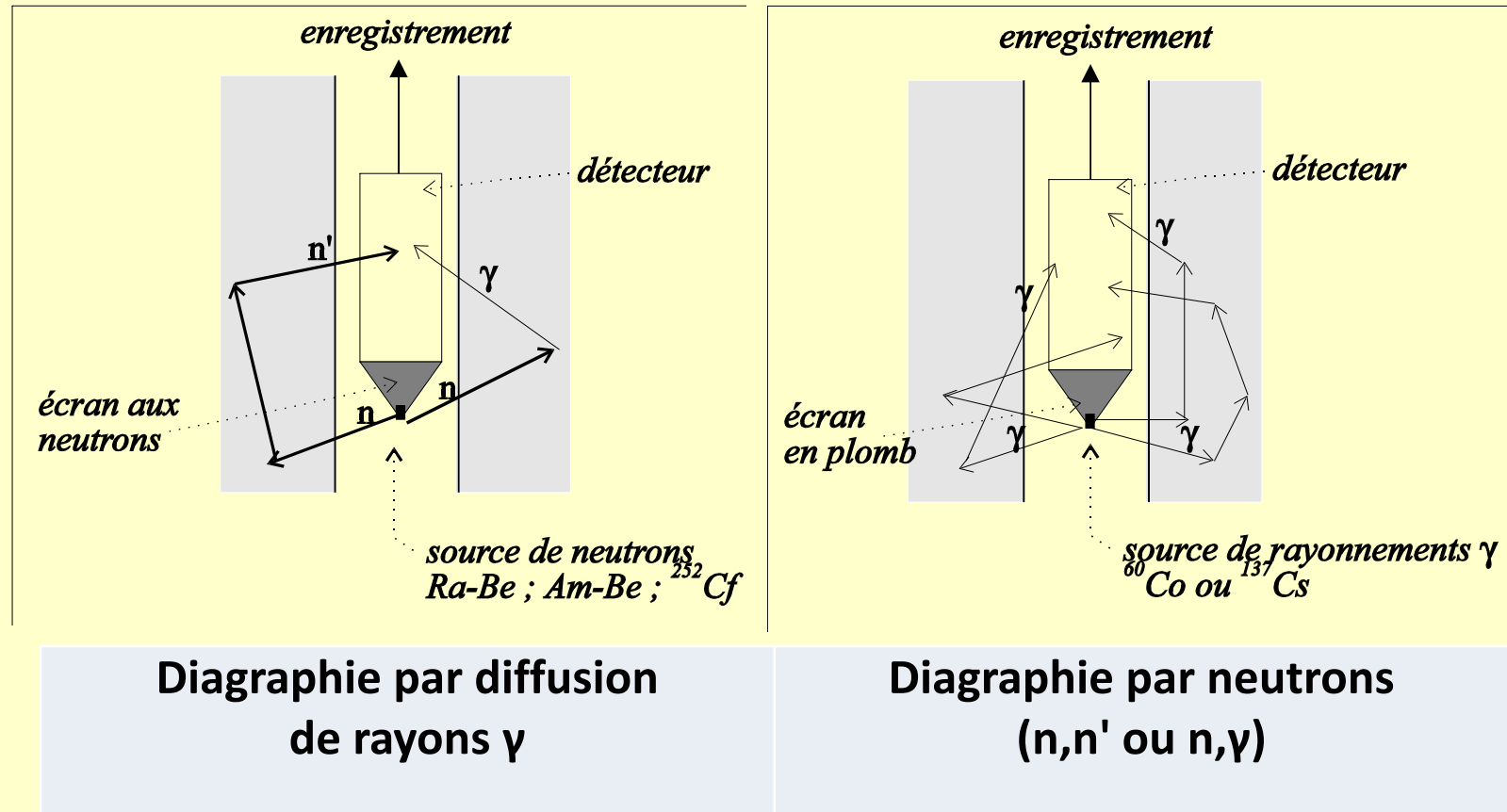
Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

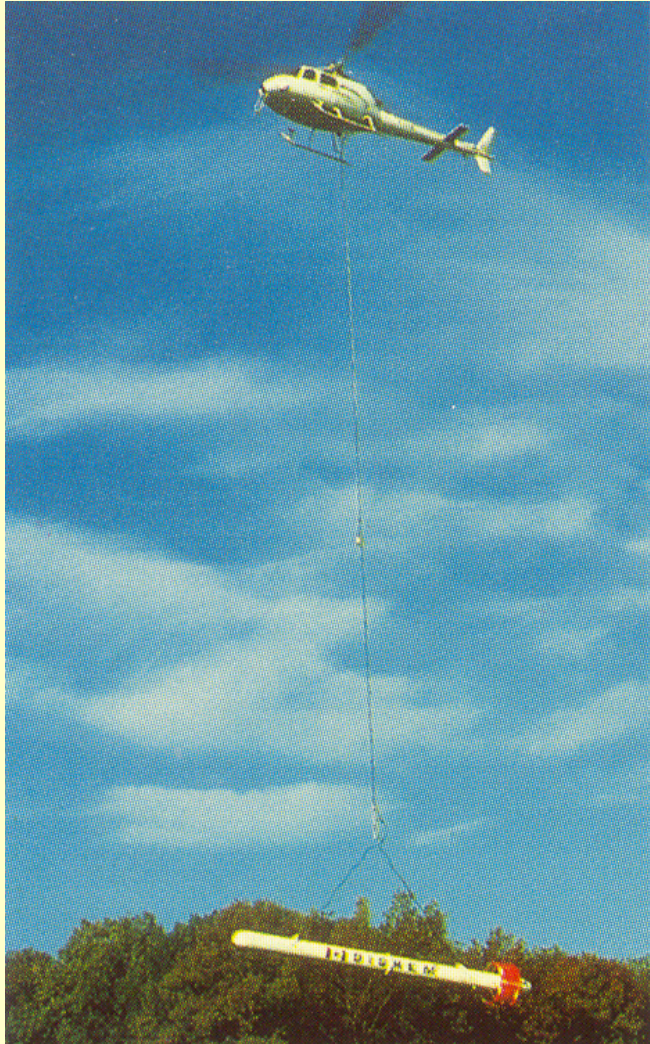
Datation au carbone-14



Prospection minière



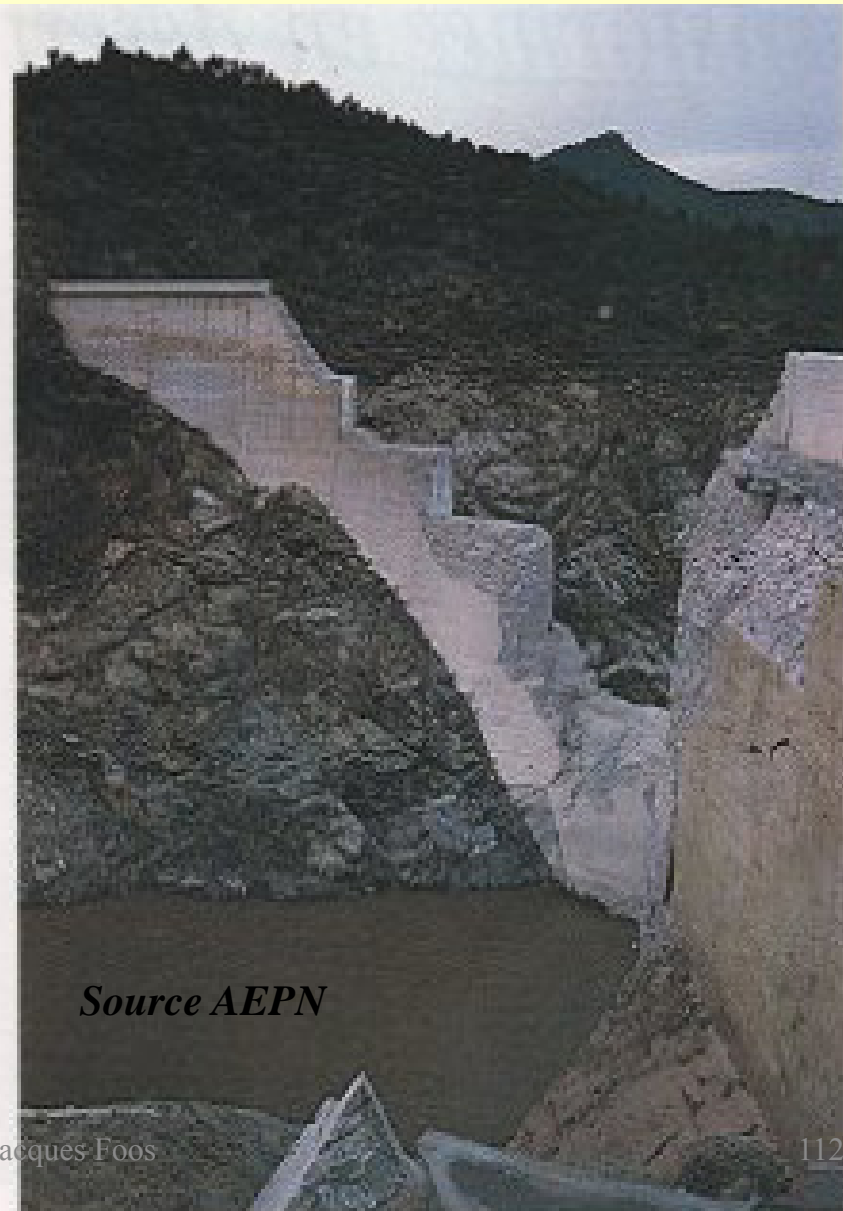
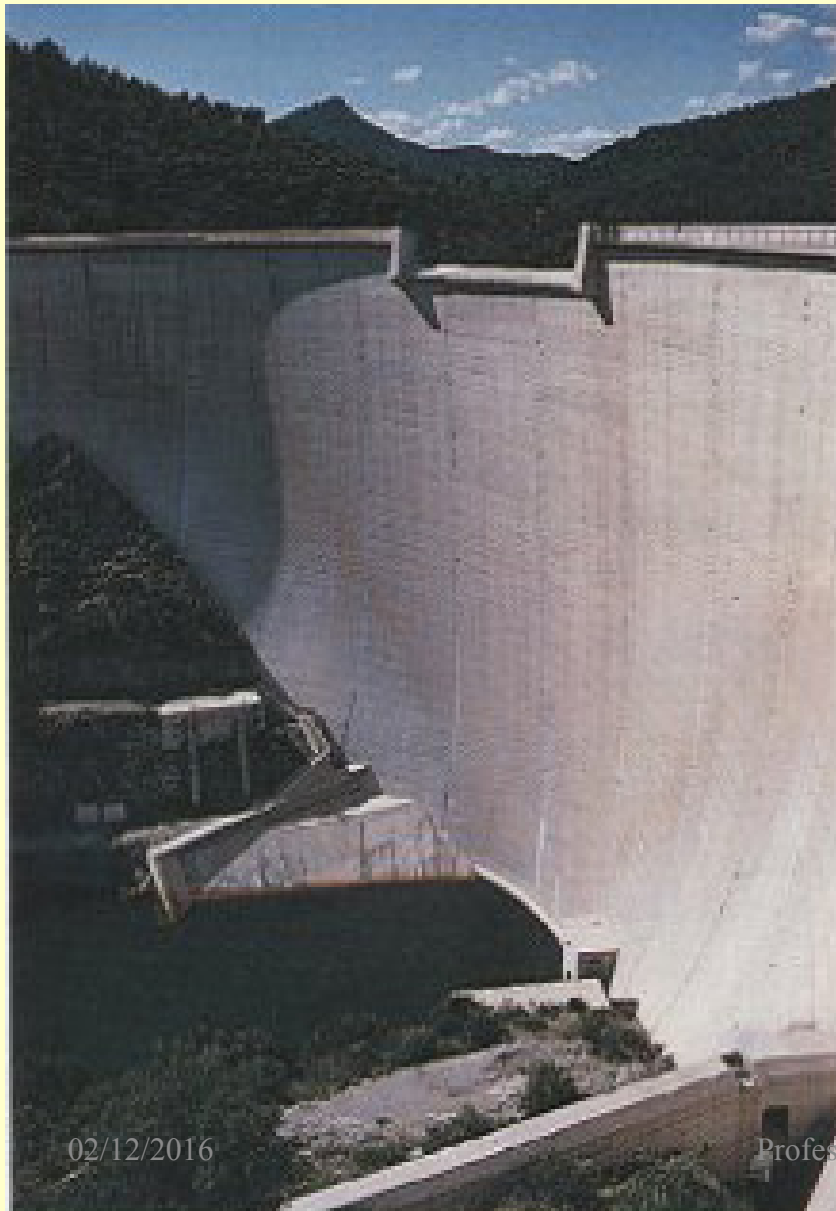
Prospection minière



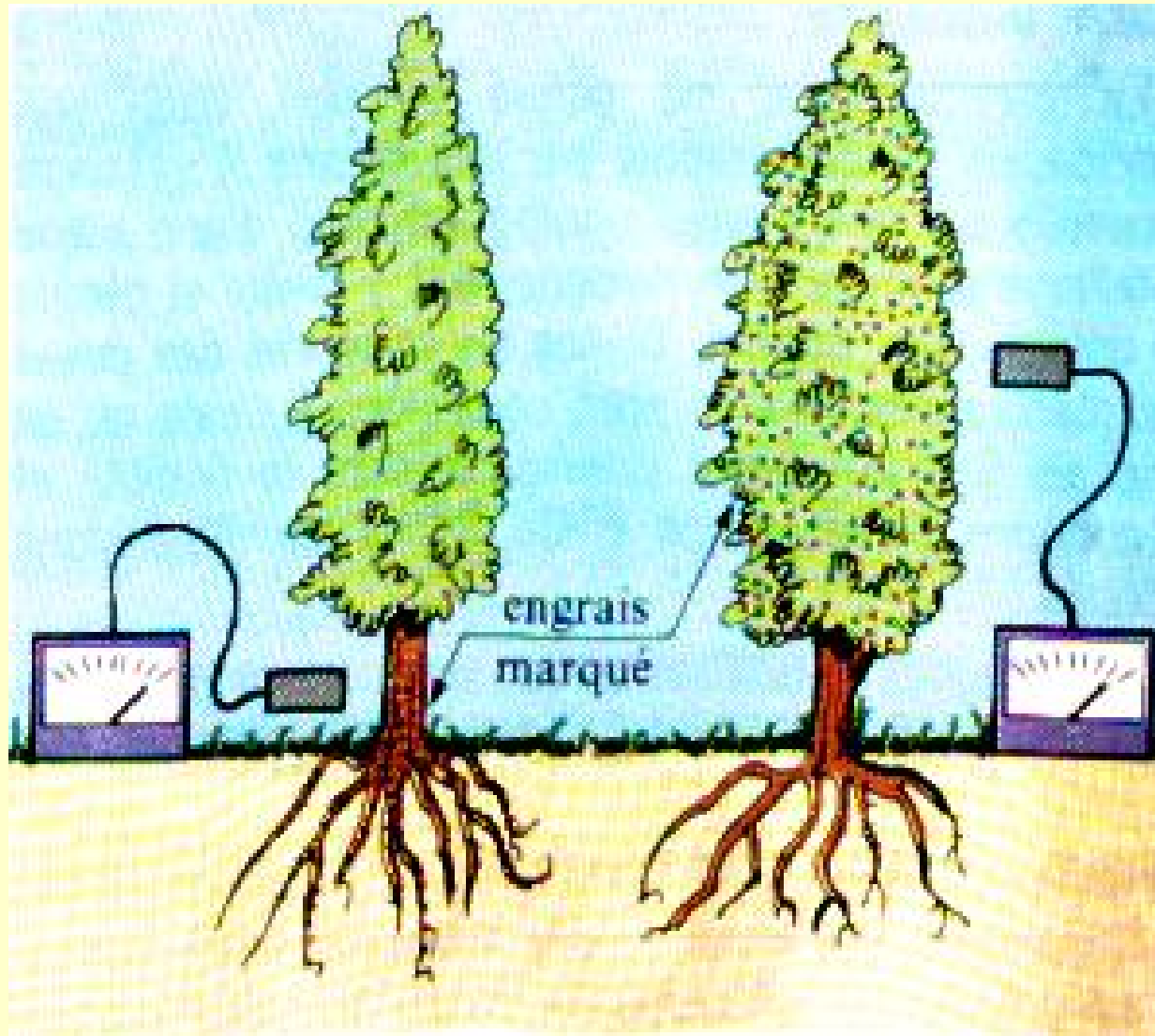
Recherche des courants d'envasement



Fuites sur barrage



Application des traceurs en agronomie



Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

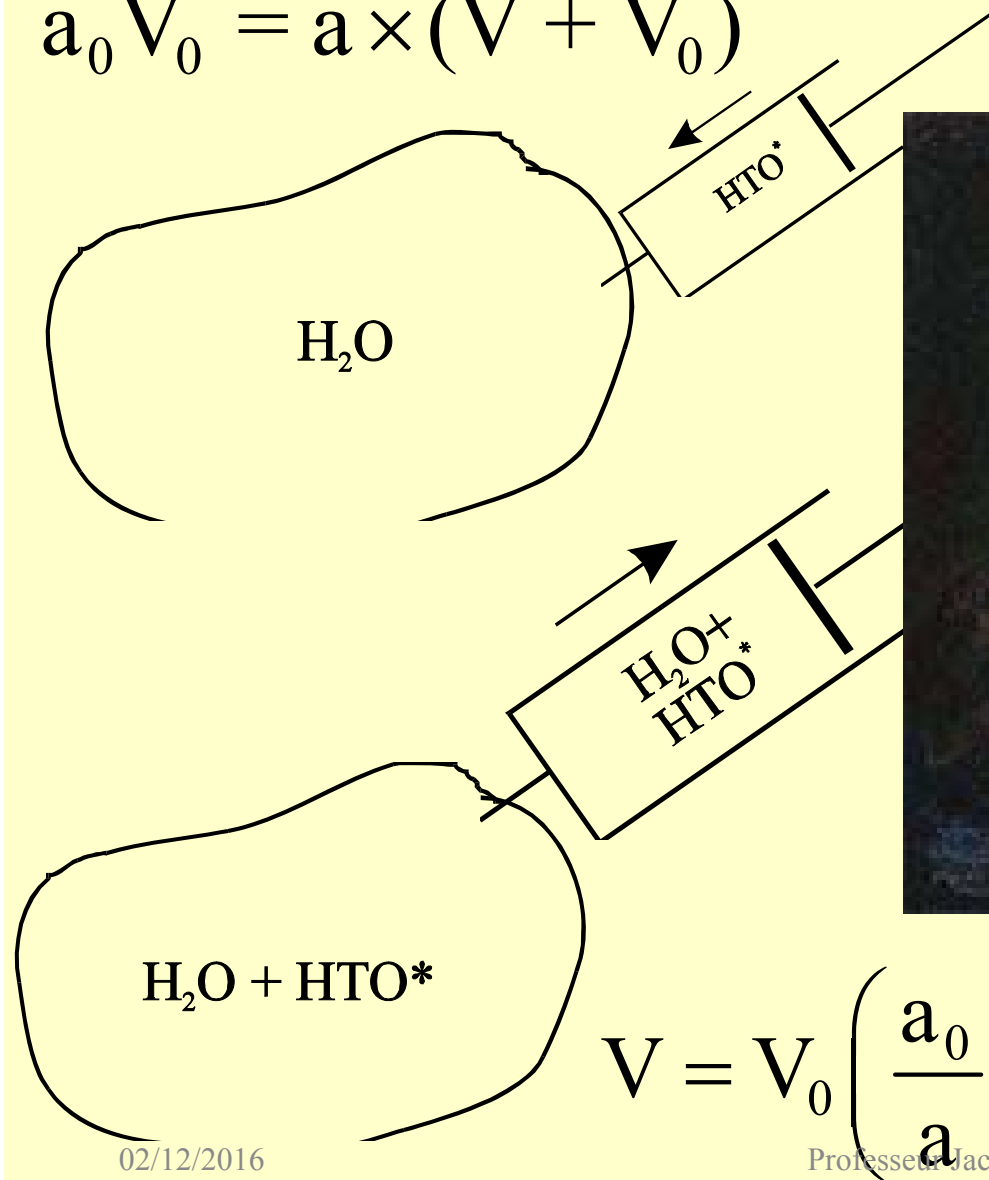
Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

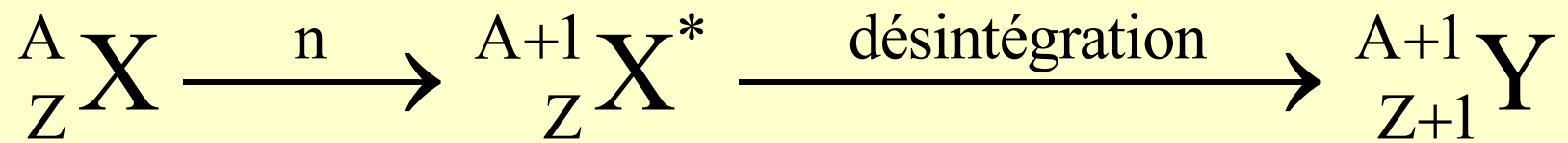
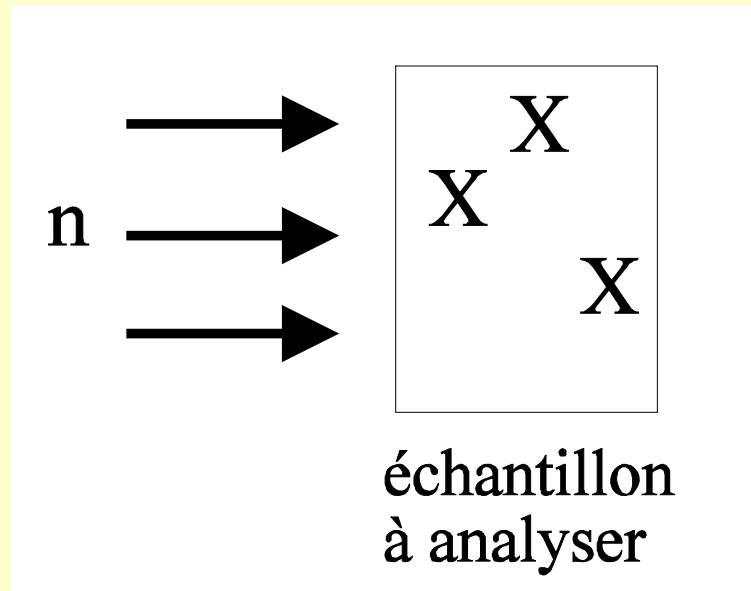
Analyse par dilution isotopique

$$a_0 V_0 = a \times (V + V_0)$$



$$V = V_0 \left(\frac{a_0}{a} - 1 \right)$$

Analyse par activation neutronique



Quelques exemples

Dans diverses industries : greffage et réticulation

Industrie du bois : élaboration de composés bois-plastiques

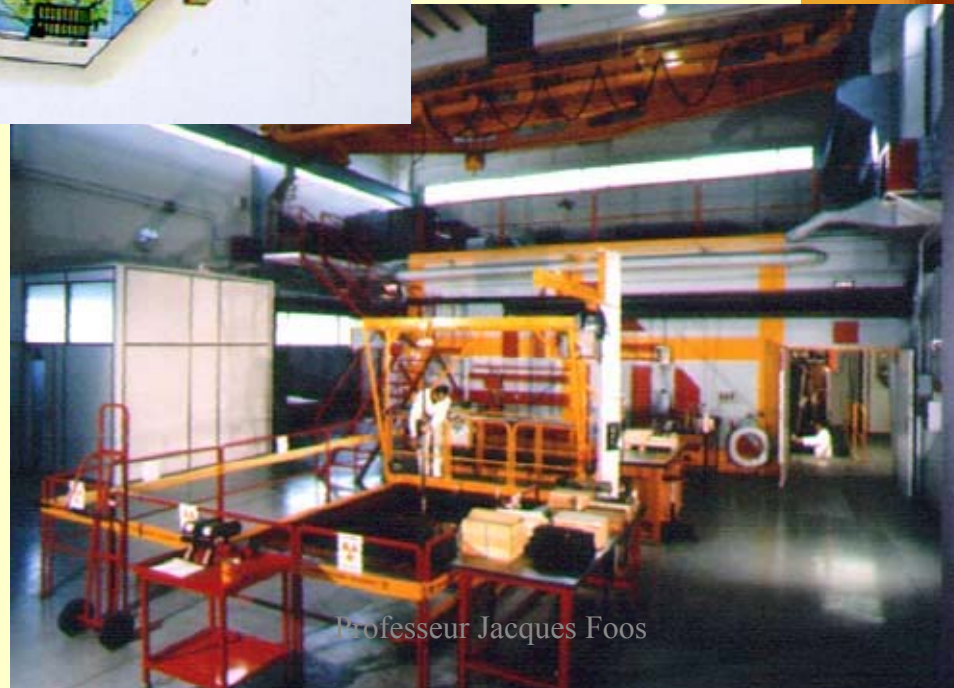
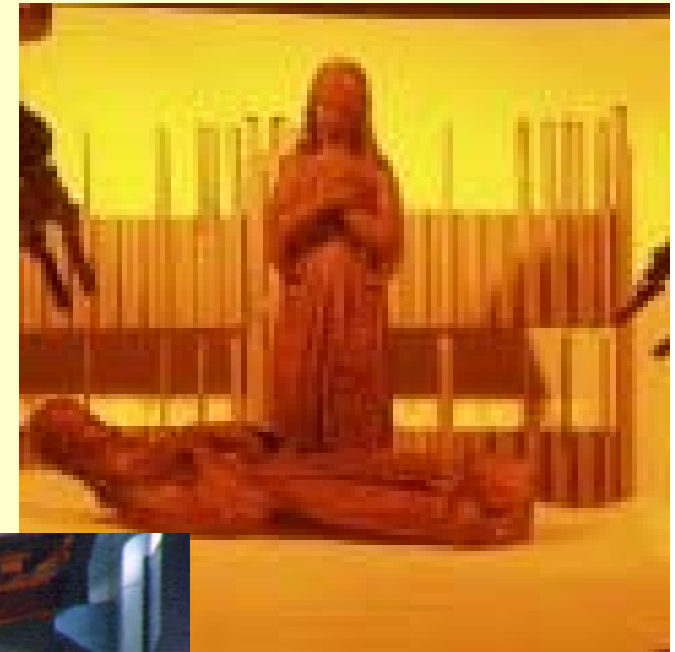
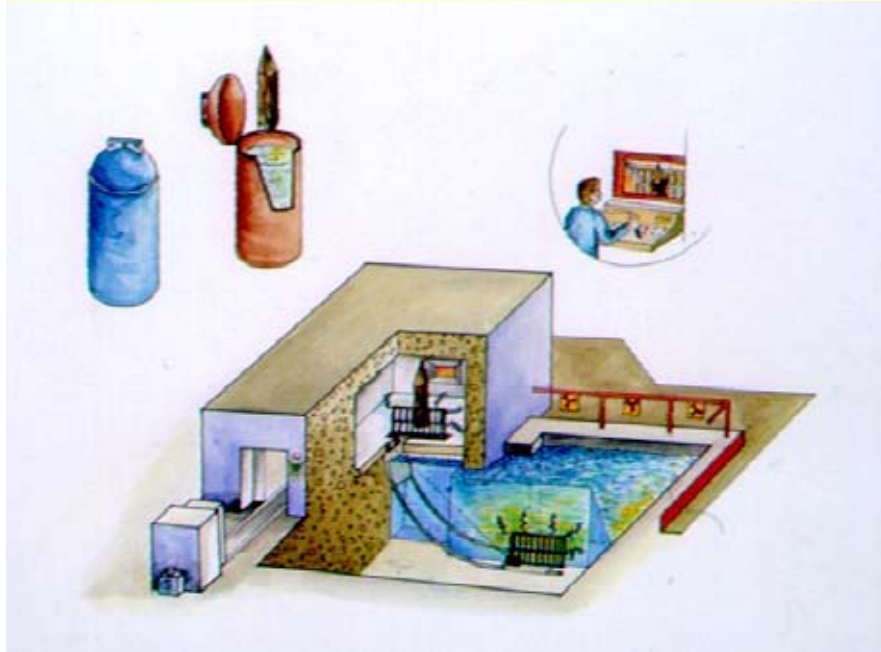
Autres exemples : gammagraphie, peintures luminescentes, jauges de mesure (niveau, épaisseur, densité), recherches de fuites, mesure des usures, ...

Dans les sciences de la Terre : datation, prospection minière, hydrologie.

Applications en analyse : par activation ou par dilution isotopique

Préservation du patrimoine culturel : destruction des parasites, consolidation des œuvres (bois, pierre, ...)

Préservation du patrimoine artistique et culturel : ARC - Nucléart

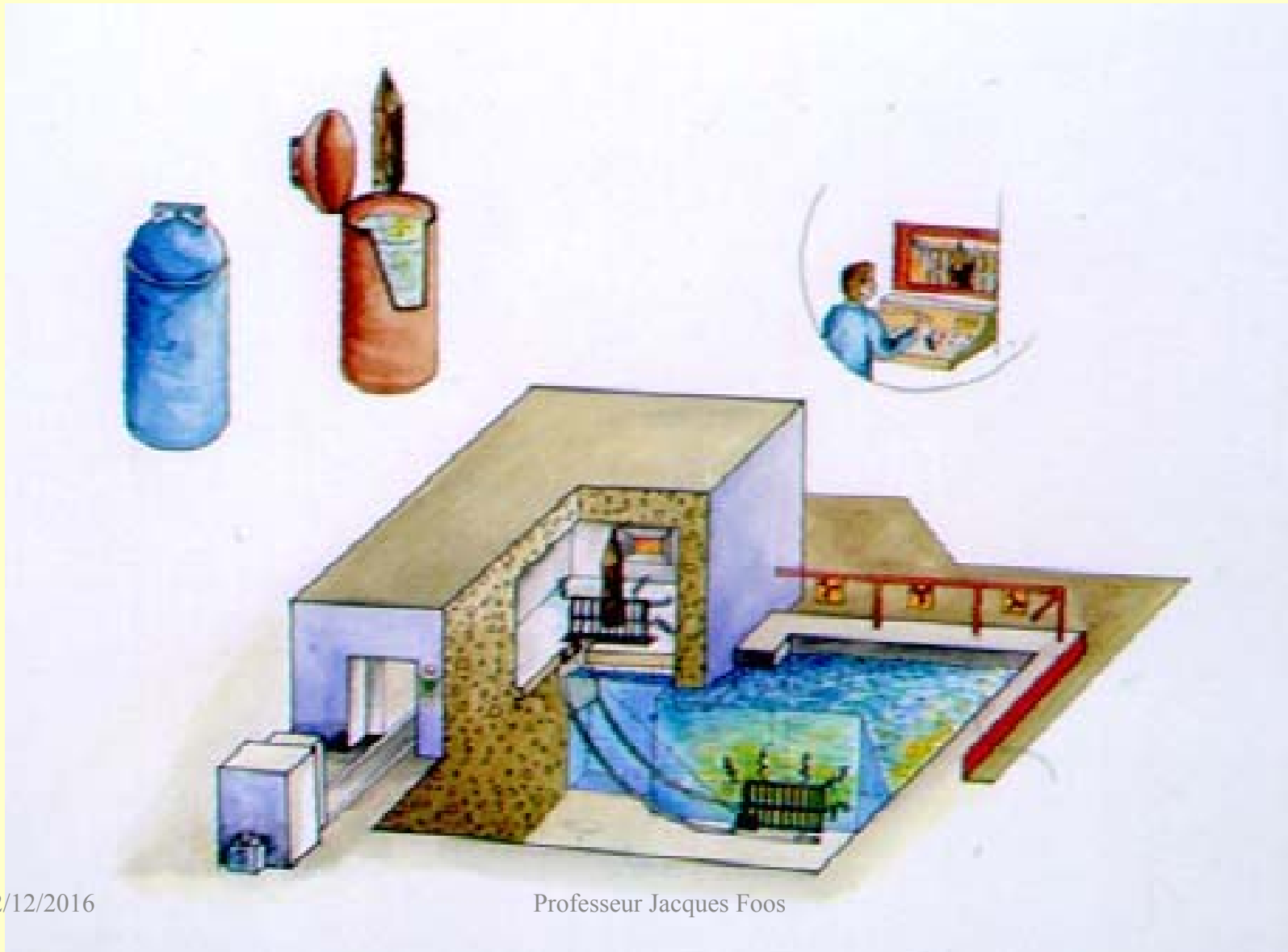


02/12/2016

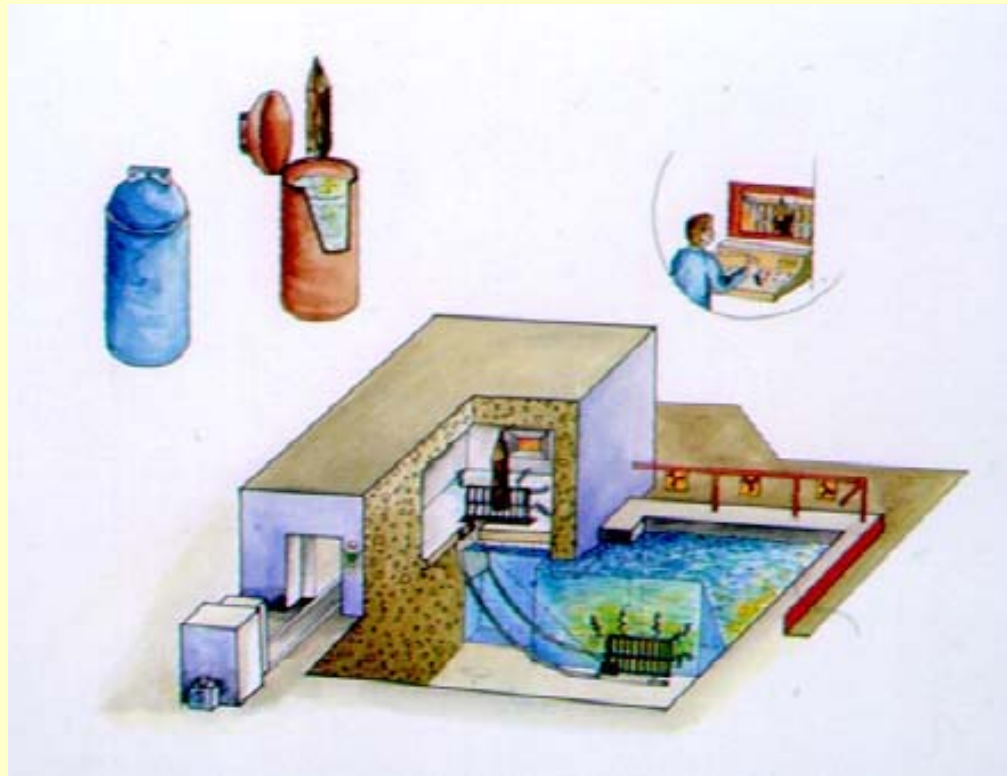
Professeur Jacques Foos

118

Préservation du patrimoine artistique et culturel : ARC - Nucléart



Préservation du patrimoine artistique et culturel : ARC - Nucléart



Préservation du patrimoine artistique et culturel : ARC - Nucléart



Préservation du patrimoine artistique et culturel : ARC - Nucléart



Ramsès II



Ramsès II



02/12/2016

professeur Jac

124

Radiotraitements biologiques

Radiostérilisation (matériel chirurgical ou autres)

Traitements des eaux, assainissement des boues

Conservation des denrées alimentaires

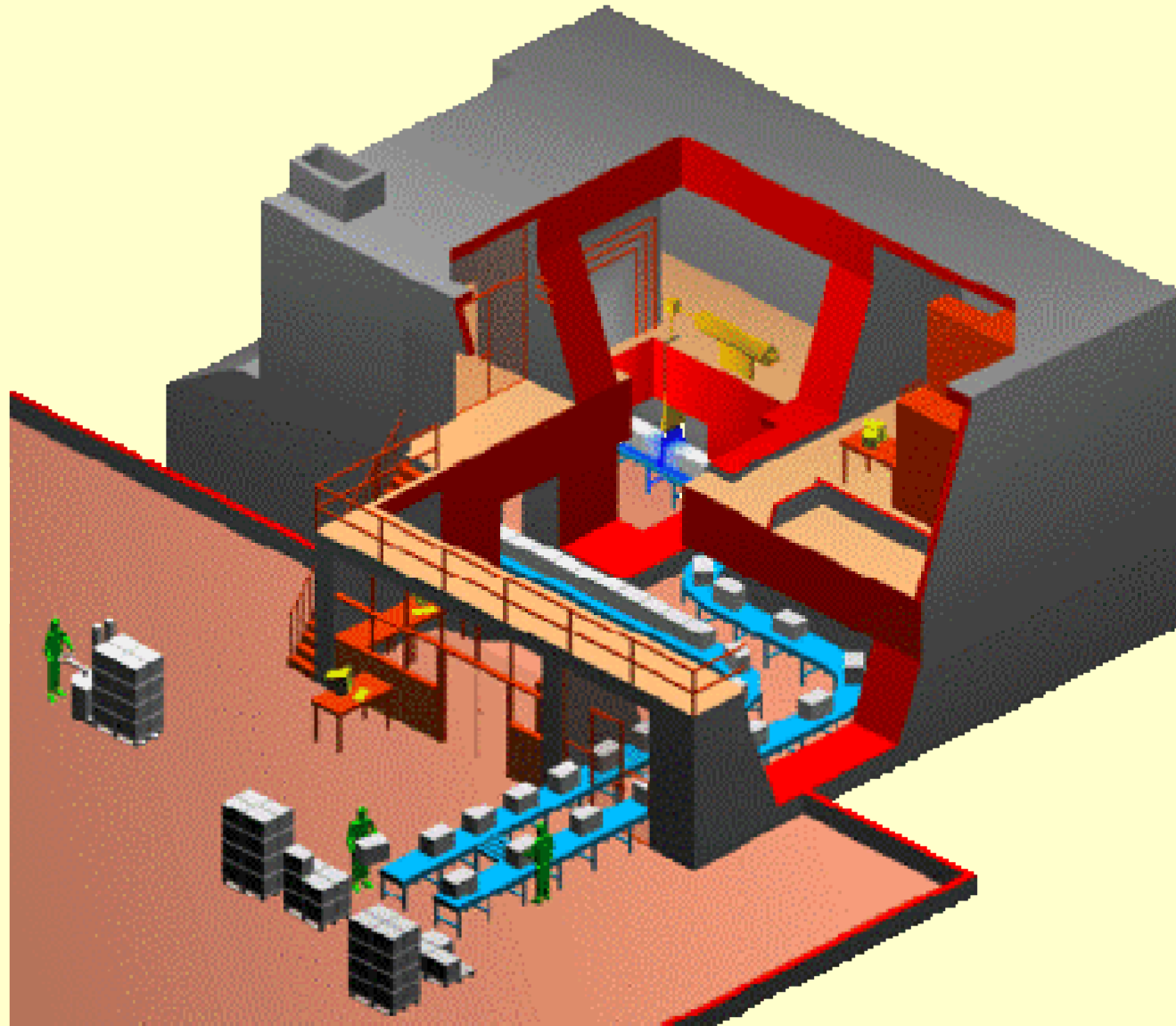
Radiotraitements biologiques

Radiostérilisation (matériel chirurgical ou autres)

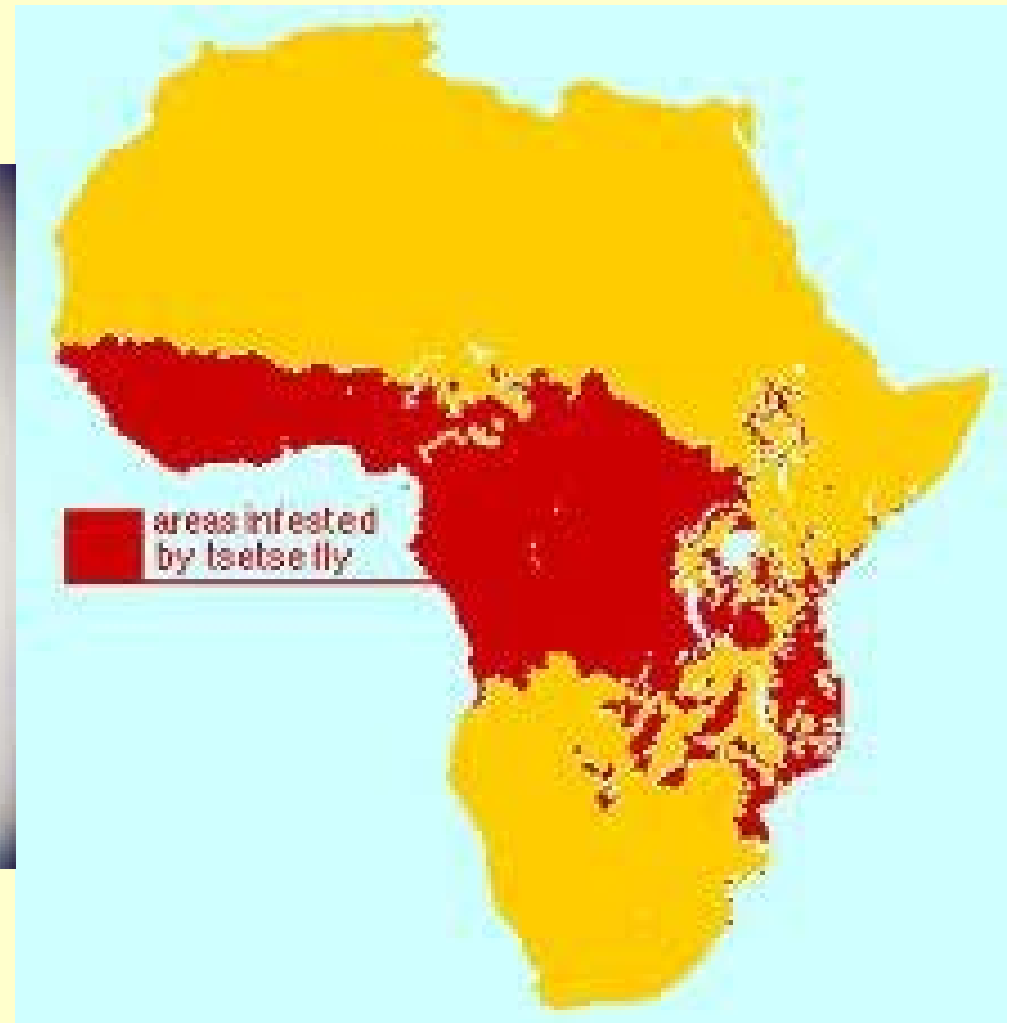
Traitements des eaux, assainissement des boues

Conservation des denrées alimentaires

Radio-stérilisation



Éradication de la mouche Tsé-Tsé





J. FRENCH/IMAGE SOURCE/AFP

CHOUETTE !

À L'EAU ET AU SAVON

HYGIÈNE Les biberons conçus sous ionisation n'ont pas besoin d'être stérilisés.

Inutile de stériliser les biberons et les tétines, y compris pour les enfants fragiles, estime le Haut Conseil de la santé publique (HCSP). Une propreté « microbiologique » suffit : il faut laver, rincer trois fois en remplissant à moitié le biberon d'eau et en le faisant tourner sur lui-même pour bien en imbiber les parois puis sécher entièrement, selon les conseils de pharmaciens hospitaliers. Mais cela suppose que le matériel ait été conçu par les industriels selon un procédé appelé « ionisation par les rayons gamma », dans une atmosphère contrôlée.

**L'express ; n°3161
1^{er} février 2012**

Radiotraitements biologiques

Radiostérilisation (matériel chirurgical ou autres)

Traitements des eaux, assainissement des boues

Conservation des denrées alimentaires

Traitement des eaux ; assainissement des boues



Radiotraitements biologiques

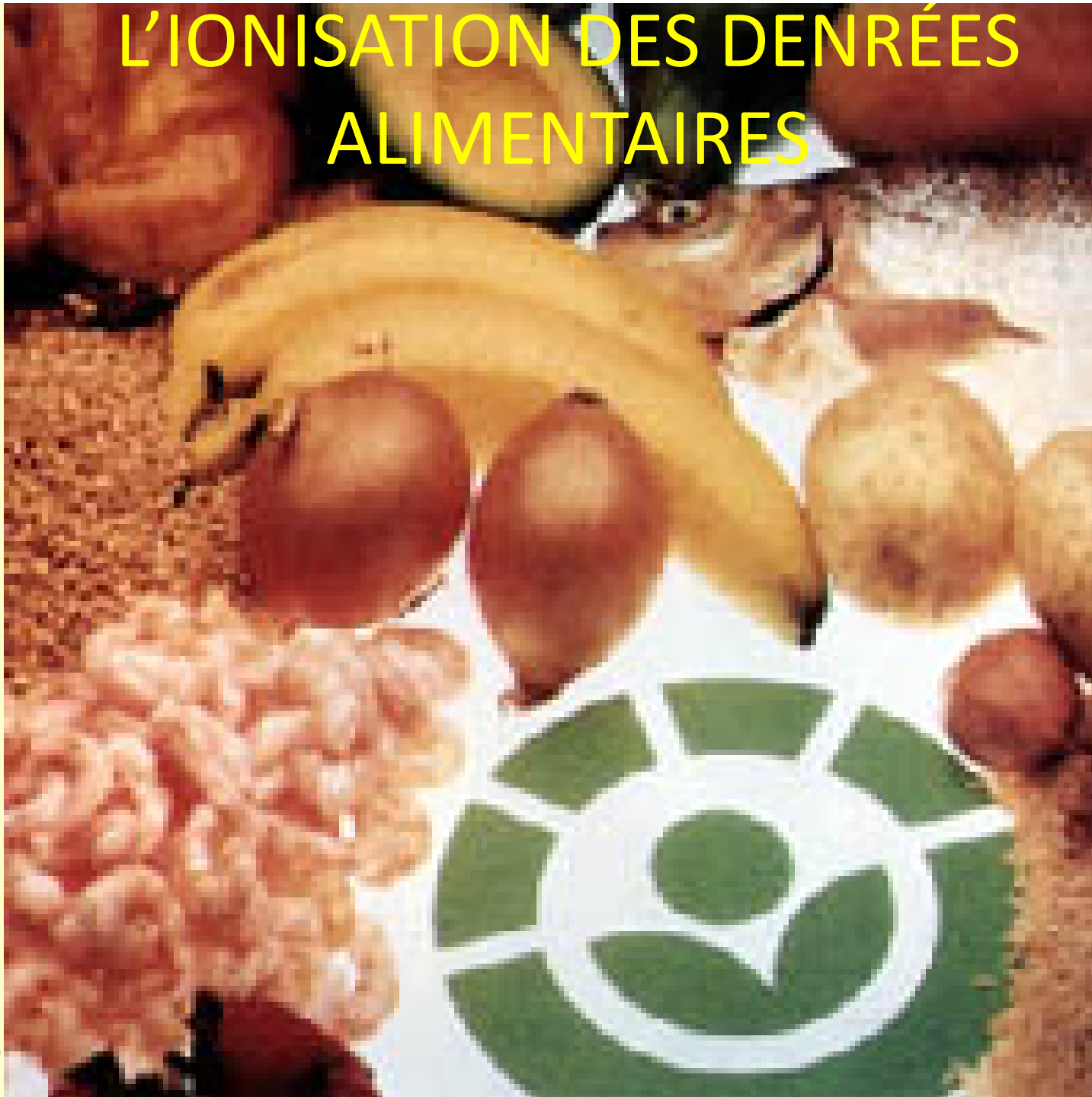
Radiostérilisation (matériel chirurgical ou autres)

Traitements des eaux, assainissement des boues

Conservation des denrées alimentaires

Quitte à utiliser un procédé de conservation pour les denrées alimentaires, autant utiliser le meilleur, c'est à dire, **celui qui affecte le moins les éléments nutritifs** et qui **introduit le moins d'éléments étrangers**. De plus, l'absence d'élévation de la température au cours du traitement permet de ne pas affecter les qualités organoleptiques des aliments

L'IONISATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES



Qu'est ce que l'ionisation des denrées alimentaires ?

Un procédé de conservation

mais surtout

un procédé d'assainissement

comparable à la pasteurisation

Technologie commerciale apparue à la fin des années 1950

**Utilisée depuis ses débuts dans les
missions spatiales de la NASA**

**Déjà utilisée pour la stérilisation du matériel médical et
de laboratoire, des emballages alimentaires, des
bouchons en liège des bouteilles de vin, ...**

Pourquoi ioniser les aliments ?

« dans le Monde, plusieurs milliards de cas de maladies d'origine alimentaire sont enregistrées chaque année. Dans les pays industrialisés, une personne sur trois peut être victime d'intoxications alimentaires » (source OMS)

*** Souffrances humaines**

*** Pertes économiques de l'ordre de milliards d'euros**

Les enfants, les femmes enceintes, les malades et les personnes âgées sont particulièrement à risque

Historique

1930 : premier brevet sur la stérilisation des aliments par des rayons durs pénétrants

1972 : mise en place d'un vaste programme international en matière d'ionisation (Karlsruhe), patronné par l'OCDE et financé par 24 pays

**1980 : avis du Comité d'Experts mixte FAO/OMS/AIEA :
« innocuité des aliments ionisés dans un premier temps jusqu'à 10 kGy »**

**1997 : avis du Comité d'Experts mixte FAO/OMS/AIEA :
« innocuité des aliments ionisés sans limitation de dose commerciale »**

1999 : directive du Parlement Européen « sur les denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation. »

Comment ioniser ?

Il faut apporter une énergie suffisante pour arracher un électron.

Rayonnement :

mode de propagation de l'énergie sous forme

- d'ondes

- de particules

→ irradiation

→ rayonnement ionisant

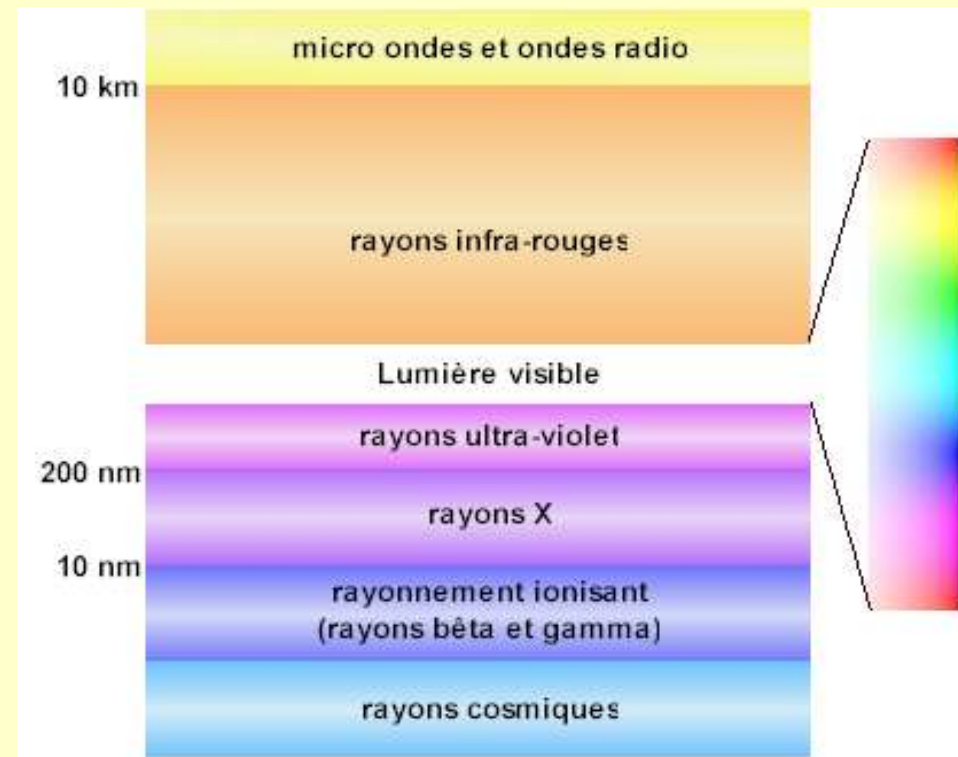
Rayonnements ionisants

- **ondes** (rayonnements électromagnétiques)

- rayons X

- rayons γ

- **particules** : électrons



Sources de rayonnements

- électrons
- rayons X

} accélérateurs

- rayons γ sources radioactives

^{60}Co : 1,17 et 1,33 MeV

^{137}Cs : 0,66 MeV

PRINCIPALES SOURCES D'IRRADIATION γ

^{60}Co (T = 5,3 ans)

2 rayons γ de 1,17 et 1,33 MeV

^{137}Cs (T = 30 ans)

1 rayon γ de 660 keV



1 MeV ?

1 mégaélectronvolt

- **pour un rayonnement électromagnétique :**

- **Longueur d'onde de l'ordre du milliardième de millimètre (centième d'angström)**

- **pour un électron :**

- **Énergie communiquée à cette particule lorsque celle-ci est accélérée sous une différence de potentiel d'un million de volts**

Ionisation et radioactivité

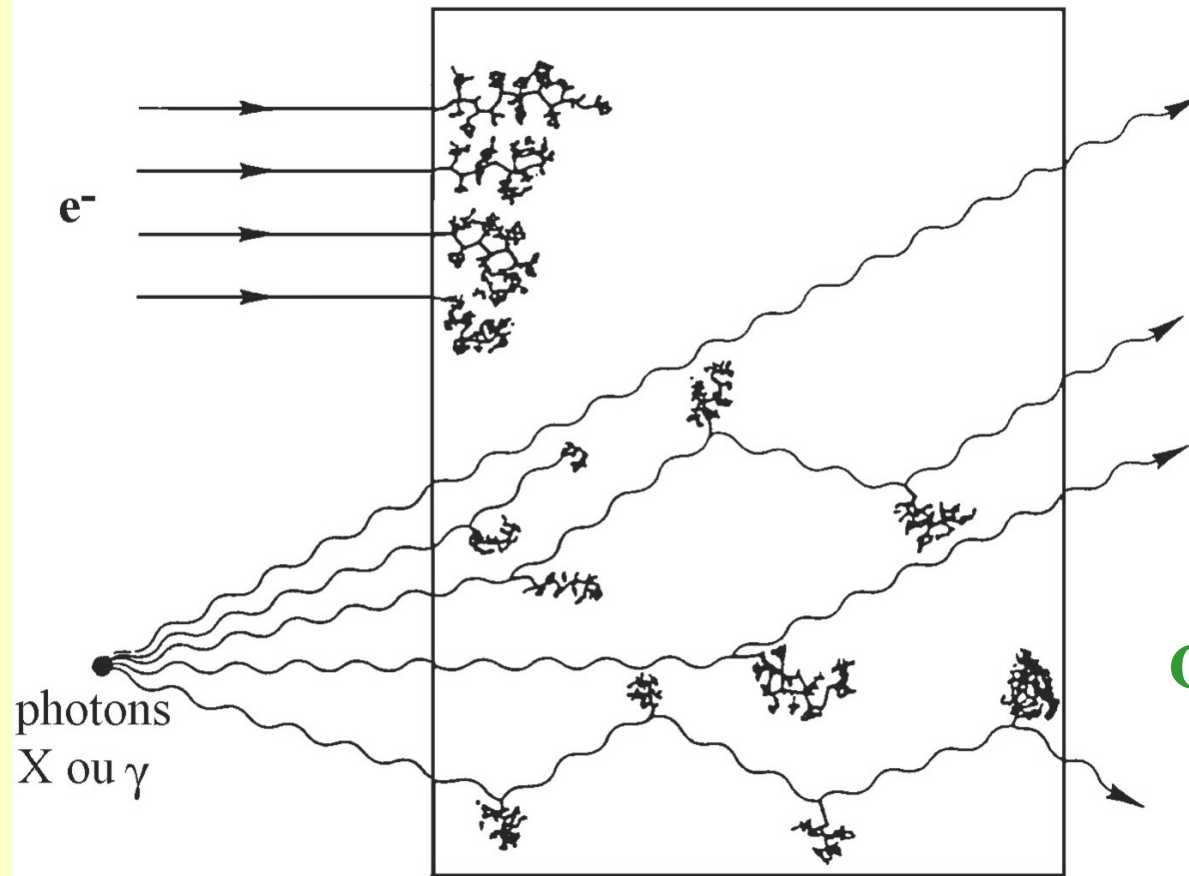
L'énergie des rayonnements ionisants doit être suffisamment importante pour posséder un pouvoir de pénétration raisonnable, mais doit rester en dessous des limites d'activation : éviter d'induire dans le matériau rencontré le phénomène de Radioactivité.

Énergie maximale autorisée :

10 MeV



**Électrons : 3,5 cm/d ou 8 cm/d
pour E = 10 MeV**



Gamma : 15 à 20 cm/d

Effets chimiques des rayonnements ionisants dans le domaine agro-alimentaire

Pour les doses inférieures à 10 kGy, les effets sont très modérés : le pourcentage de produits de radiolyse formés est très faible (0,1 à 0,2 ppm)

Effet sur :	* les protéines	négligeables
	* les glucides	négligeables
	* les lipides	plus significatifs

action de l'oxygène et de divers produits de radiolyse sur les lipides insaturés :

oxygénation et hydrogénation

Les effets chimiques de l'ionisation sur les constituants organiques des produits traités sont réduits

L'ionisation

- ne modifie pas sensiblement la qualité nutritionnelle des aliments,
- ne provoque pas l'apparition de produits toxiques ou cancérigènes,
- est toutefois susceptible d'altérer les propriétés organoleptiques de certaines catégories de produits alimentaires riches en graisses.

Aucun effet biologique défavorable consécutif à l'irradiation (radiomutagenèse) ne peut être mis en évidence lors de l'application de la gamme de doses utilisées lors des traitements ionisants.

L'ionisation n'entraîne

- **ni la formation de souches résistantes aux antibiotiques,**
- **ni l'acquisition ou l'augmentation de pathogénicité chez les bactéries ou de virulence chez les virus.**

Les doses dépendent de

- la nature des micro-organismes**
- la quantité des micro-organismes présents**
- du traitement souhaité**

**Les organismes vivants les plus complexes (vertébrés ...)
sont formés de collection de cellules très nombreuses
et très diversifiées**

→ **information génétique importante (A. D. N.)**

→ **très radiosensibles**

→ **tués par des doses de 0,003 à 0,01 kGy**

Des organismes plus rustiques (insectes ...)

sont plus résistants 1 à 3 kGy

Toutefois, des doses de 0,03 à 0,20 kGy suffisent à stériliser la plupart des insectes adultes.

Les embryons sont tués par des doses de 0,15 kGy

DRD

**Collection de cellules très simples
et indépendantes les unes des autres**

Dose de réduction décimale : DRD

0,05 à 8 kGy et plus

**On admet généralement que la dose de stérilisation
se situe au niveau de 25 kGy**

Élément nutritif affecté	Témoin non traité	Traitement par chaleur	Stérilisé par le rayonnement
Méthionine	100	75	88
Lysine	100	85	95-100
Argénine	100	92	100
Phénylalanine	100	92	96-100
Leucine	100	96-100	96-100
Vitamine A	100	45-52	65-70

Action sur les 6 composants les plus sensibles des aliments pour animaux de laboratoire

Comparaison des quantités de produits formés (19) par chauffage (15 h, 270°C) et par traitement ionisant (60 kGy, 25° C) de la tricaproïne

Par chauffage :

83,14 millimoles par kg (61,61*)

Par traitement ionisant :

25,31 millimoles par kg (16,82*)

*** : concentration totale des 6 produits ayant la potentialité toxique la plus importante**

PRODUITS TRAITÉS ET DOSES UTILES

0,05 à 0,15 Gy	inhibition de la germination des bulbes et tubercules
0,15 à 3 kGy	élimination des insectes qui détruisent les céréales, fruits et légumes ainsi que certains vers parasites des viandes (« Trichinella spiralis »)
0,7 à 3 kGy	amélioration de la qualité et allongement de la durée de conservation des fruits et légumes frais
2 à 5 kGy	conservation des viandes prédécoupées, poissons et crustacés
5 à 10 kGy	traitement des charcuteries, semi-conserves, plats cuisinés, épices, aromates
	et au-delà ?

EFFICACITÉ SUR LA RÉDUCTION DE LA FLORE TOTALE

(Nombre de germes par grammes)

	témoin	irradiation	dose	Oxyde d'éthylène
Fenouil	465 000	0	10 kGy	14 500
Paprika	9 860 000	0	10 kGy	15 300
Asperges	8 100 000	8 100	10 kGy	190 000
Carottes	37 100	440	5 kGy	8 300
Camomille	4 700 000	2 100	9 kGy	15 300
Menthe	33 000 000	1 000	9 kGy	2 400

CABILLAUD

réfrigéré en glace (J : date de débarquement)

	Produit non traité			Produit traité par ionisation		
	Flore aérobie mésophile	ABVT	TMA	Flore aérobie mésophile	ABVT	TMA
J+2	390	18,40	2,32	100	11,10	1,72
J+10	75 022	19,33	10,82	1 131	13,15	4,28
J+15	109 365	53,24	37,11	1 205	17,97	6,22
J+21	-	-	-	31 000	19,50	7,23
Seuil limite	100 000	28,00	12,00			

RADURISATION

Application de doses ionisantes réduisant sensiblement la charge microbienne du produit en vue d'allonger légèrement sa durée de vie commerciale

doses inférieures ou égales à 5 kGy

Radurisation introduces new dimensions of purity and health in the food industry



Since man first started cultivating food, he has never stopped searching for better and more economical ways of improving and preserving the fruit of his labours. Iso-Ster's Radurisation process utilises the fastest growing food preservation technique in the world today and offers exciting new opportunities for food



suppliers and processors. Radurisation is a fast, effective and cost-efficient method of controlling microbial contamination such as Salmonella, terminating insect infestation, extending the shelf life of various perishables and inhibiting the sprouting of root crops such as potatoes and onions.

ISO-STER

Professeur Jacques Foos

RADICIDATION

Application de doses d'irradiation suffisantes pour réduire le nombre de **microorganismes pathogènes de façon à ne pouvoir les mettre en évidence par aucune méthode microbiologique connue**

doses inférieures ou égales à 10 kGy

RADAPPERTISATION

Application de doses d'irradiation suffisantes pour réduire le nombre de **microorganismes vivants de façon à ne pouvoir les mettre en évidence par aucune méthode microbiologique connue**

doses comprises entre 20 et 50 kGy

Innocuité des aliments ionisés

- * Pas de radioactivité induite
- * Pas de mutation radioinduite
- * Des produits de radiolyse identiques aux produits de thermolyse, en plus faible quantité
- * Pas d'effets significatifs dus à l'emballage

Innocuité des aliments ionisés

*** Plus de 1220 études menées depuis 1979 sur la salubrité de 278 aliments destinés aux animaux de laboratoire n'ont mis en évidence aucune différence significative entre un aliment ionisé et un aliment non ionisé en terme de :**

- toxicité**
- pouvoir pathogène**
- propriétés mutagènes**

Aspects réglementaires :

Législation française

Décret 2001-1097 du 16 novembre 2001

relatif au traitement par ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale

Arrêté du 8 janvier 2002

relatif à l'agrément et aux contrôles et vérifications des installations de traitement des denrées par ionisation

Arrêté du 20 août 2002

relatif aux denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Aspects réglementaires :

Législation française

L'irradiation n'est pas utilisée pour remplacer les mesures d'hygiène et de santé ou de bonnes pratiques de fabrication ou de culture

Étiquetage : mention « traité par rayonnements ionisants »
ou « traité par ionisation »



radura



02/12/2016

Professeur Jacques Foos

166

Le camembert irradié



Le camembert irradié



L'ionisation d'un produit résulte de son exposition pendant un temps limité au rayonnement Gamma. Ces ondes de photons (particules de la lumière) permettent de réduire la population bactérienne du fromage. Ce Camembert a été fabriqué selon nos méthodes traditionnelles, au lait cru et moulu à la louche, ce qui lui donne son goût caractéristique. L'ionisation est réalisée après, en cours d'affinage, dans le but de diminuer la population bactérienne ; le fromage étant déjà pré-emballé ne peut plus être contaminé. L'ionisation n'élimine pas la totalité de la flore du fromage, elle l'abaisse seulement ; agissant notamment sur des germes indésirables qui pourraient être présents. L'effet de cette opération est vérifié par nos laboratoires qui contrôlent chaque fabrication dans un souci de sécurité et dans le but de maintenir la qualité due au procédé traditionnel de fabrication utilisé pour ce Camembert.



Vous venez de choisir un produit de qualité. Nous aimerions connaître votre avis sur ce Camembert. En nous retournant ce petit questionnaire que vous aurez rempli, nous enverrons à l'adresse que vous aurez indiquée, un pin's de notre société

- J'ai acheté ce Camembert le :
- Je l'ai trouvé d'une qualité : Excellente
 Bonne Satisfaisante Insuffisante

- Je trouve l'ionisation :
 Intéressante Sans intérêt

Nom :

Adresse :

.....

A retourner sous enveloppe timbrée à :
U.C.L. ISIGNY/SAINTE-MÈRE
2, rue D' Boutrois
14230 ISIGNY-SUR-MER



Cuisses de grenouilles

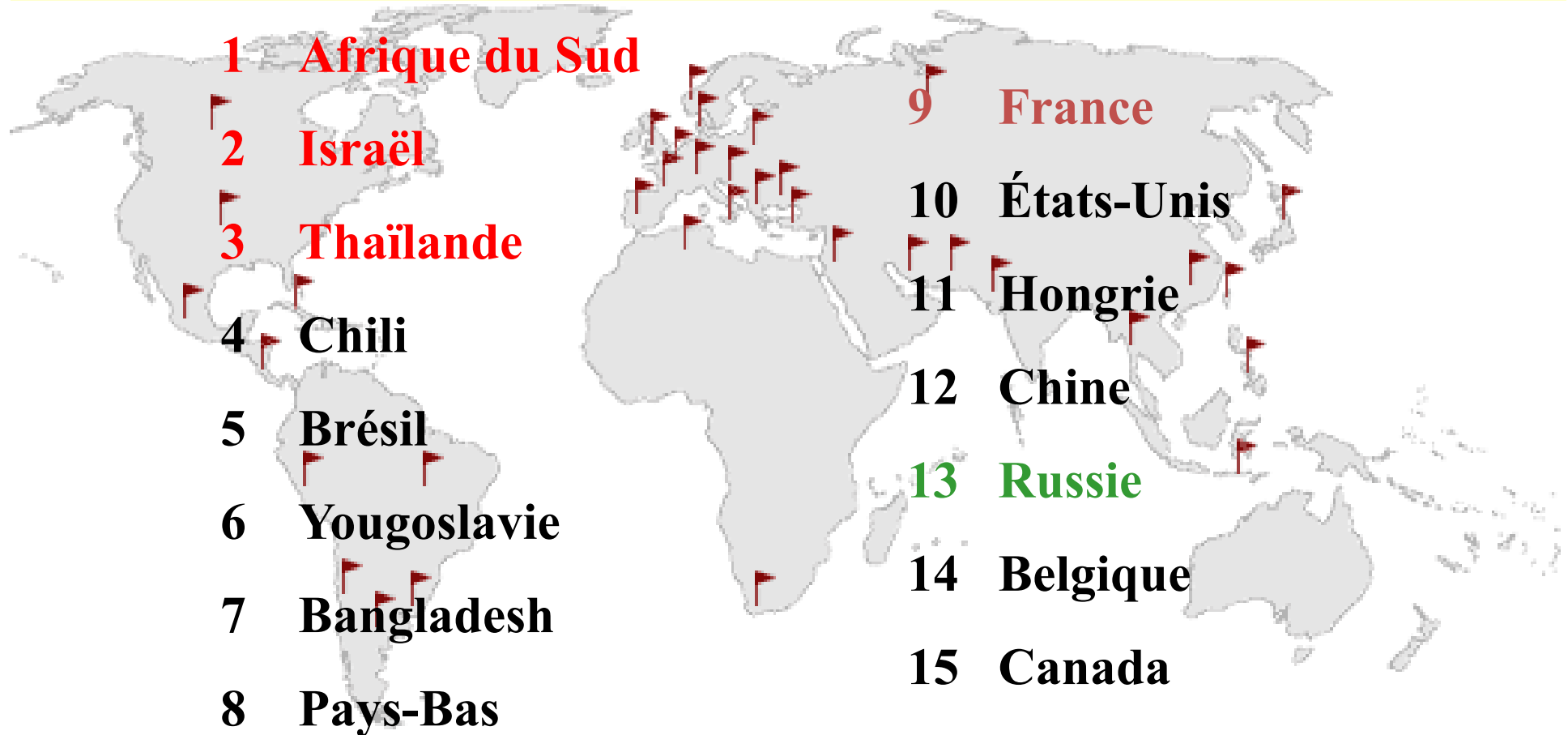


Situation dans le Monde

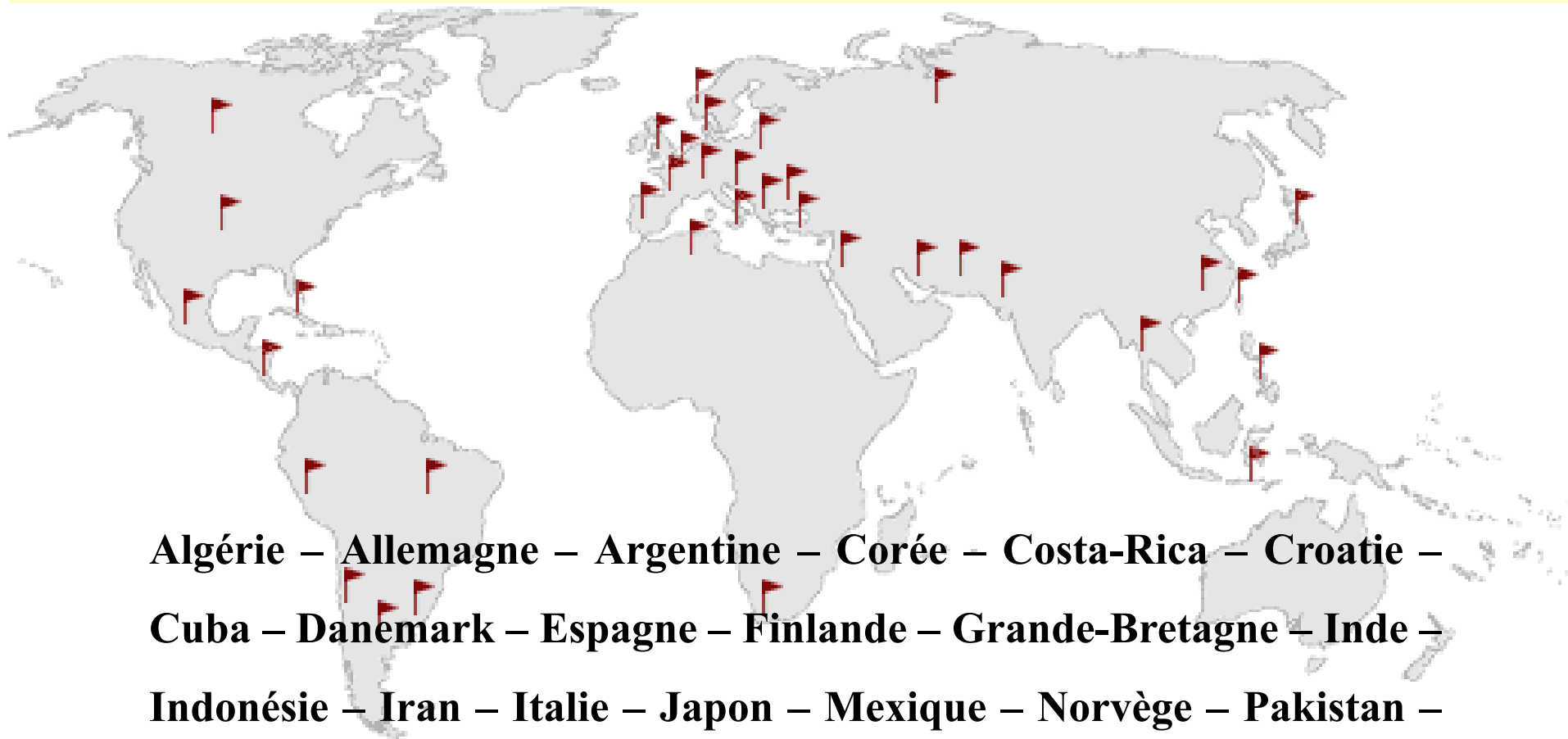


41 pays ont approuvé l'irradiation d'environ 50 aliments différents

Autorisations d'irradiation : le top 15



Les autres pays



**Algérie – Allemagne – Argentine – Corée – Costa-Rica – Croatie –
Cuba – Danemark – Espagne – Finlande – Grande-Bretagne – Inde –
Indonésie – Iran – Italie – Japon – Mexique – Norvège – Pakistan –
Pérou – Philippines – Pologne – République Tchèque – Syrie –
Ukraine – Uruguay**

INCREASE SALES



with Fresh Irradiated Produce.

Grocers gain a distinct competitive advantage when they offer their customers fresh irradiated foods. Jim Corrigan, owner of Carrot Top, in Northbrook, Illinois, explains: "By stocking irradiated produce, I can reduce my retail price because there is less spoilage, and still maintain gross dollars and gross percentage. At the same time, I can continue to provide a quality product, and my customers can enjoy the benefits of increased shelf life."

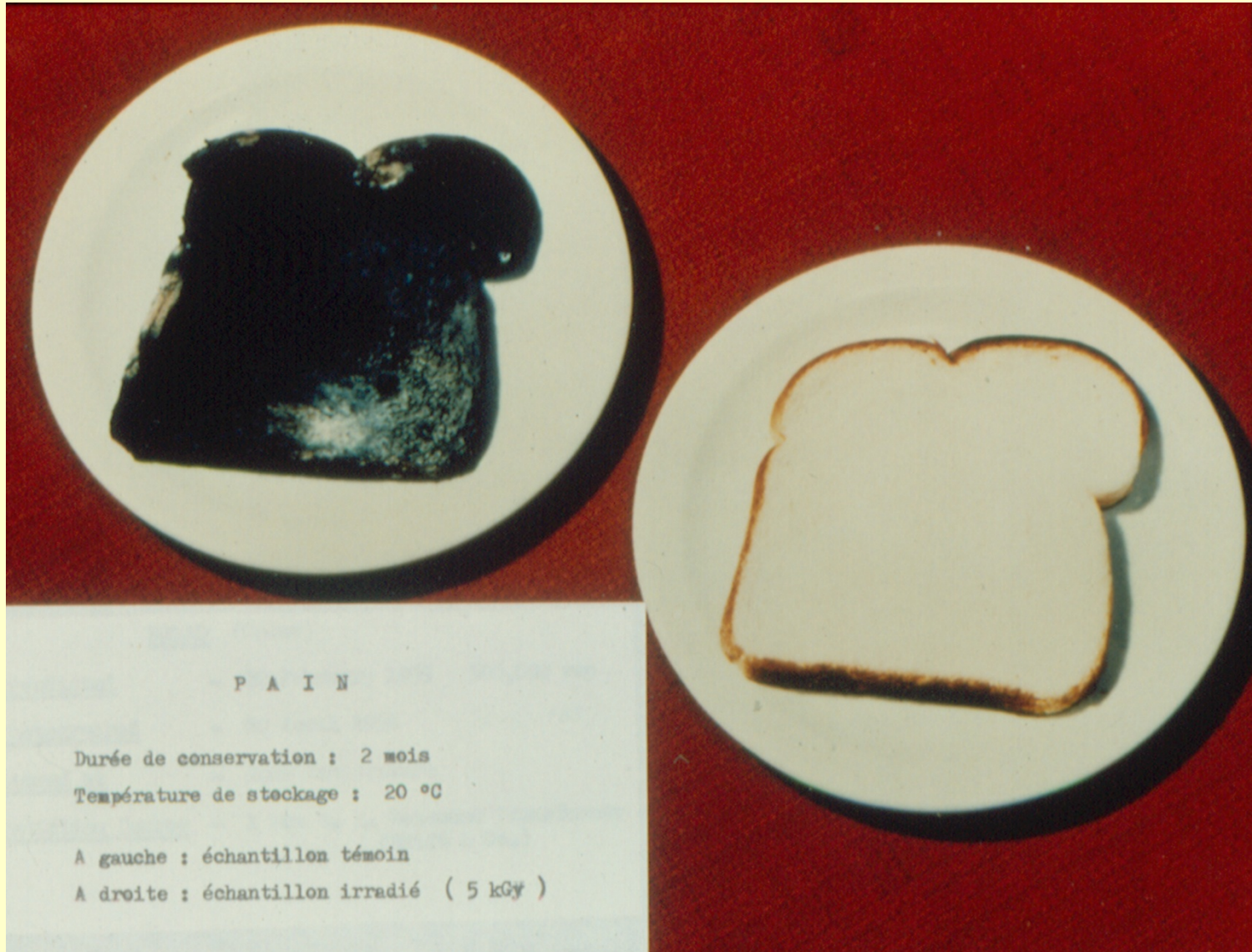
Carrot Top was the first store in the Midwest to offer strawberries and citrus fruits treated by irradiation. Sales of the irradiated fruits were outstanding. Quality was the big determining factor: customers clearly preferred the products that stayed fresh longer.

Premium quality irradiated produce, including fresh mushrooms, tomatoes, and citrus, is now available from Nations Pride, the irradiated food specialists.

For more information, contact Don Rayburn.
Tel: (813) 754-7201 • Fax: (813) 754-7506
1801 Thonotosassa Rd., Suite 4, Plant City, Florida, 33566



Exemples d'irradiation



Exemples d'irradiation



02/12/2016

Professeur Jacques Foos

177

Exemples d'irradiation



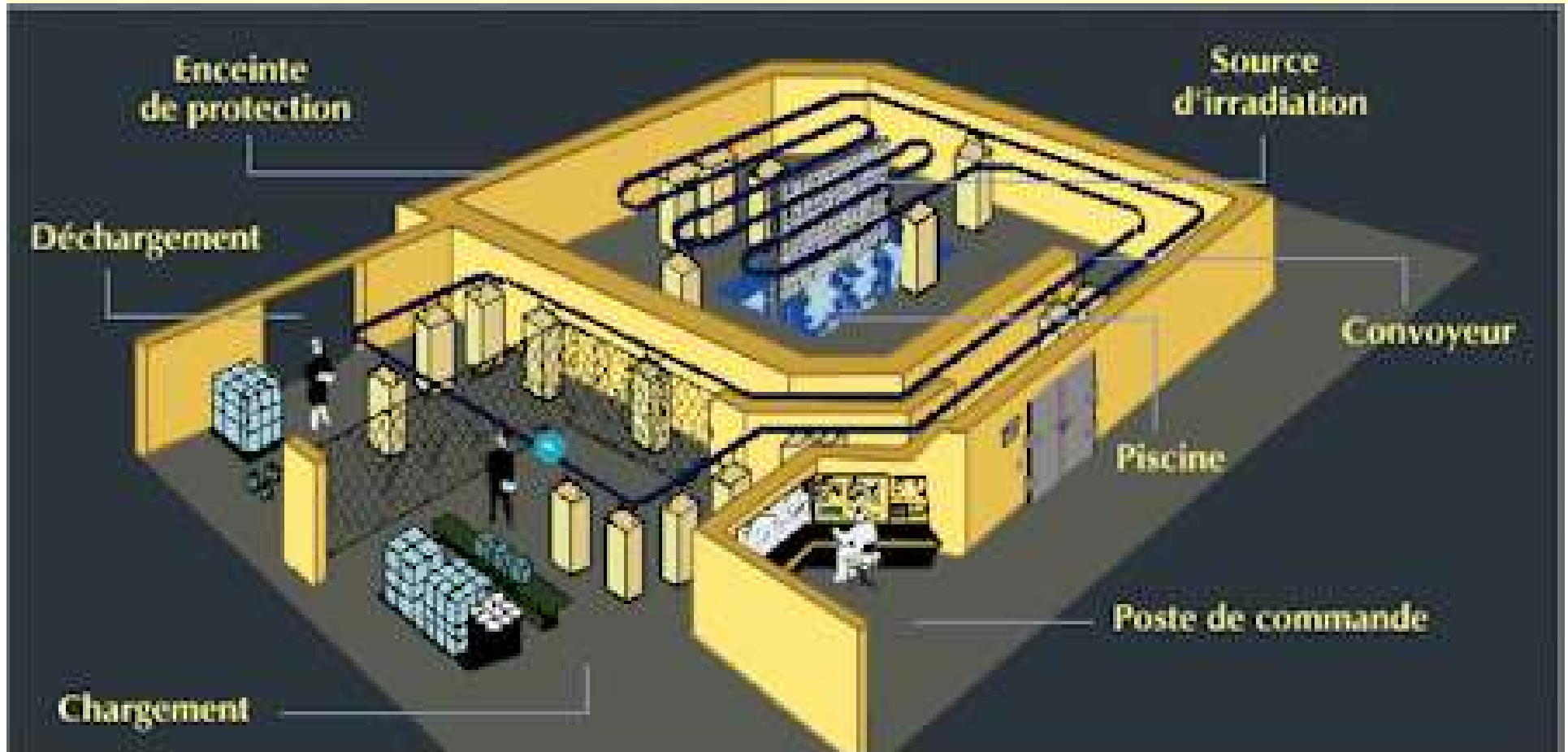
Situation en France

Denrées et ingrédients alimentaires autorisés au traitement conformément à la directive 99/2/CE 99/3/CE

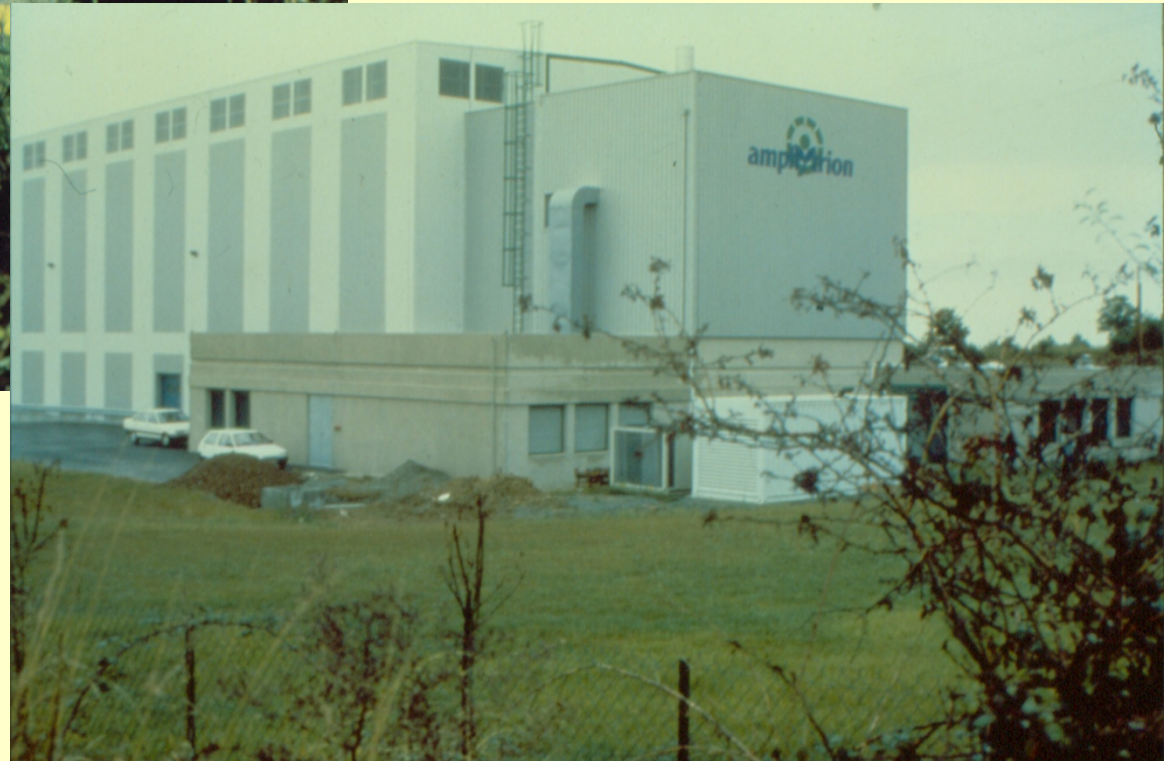
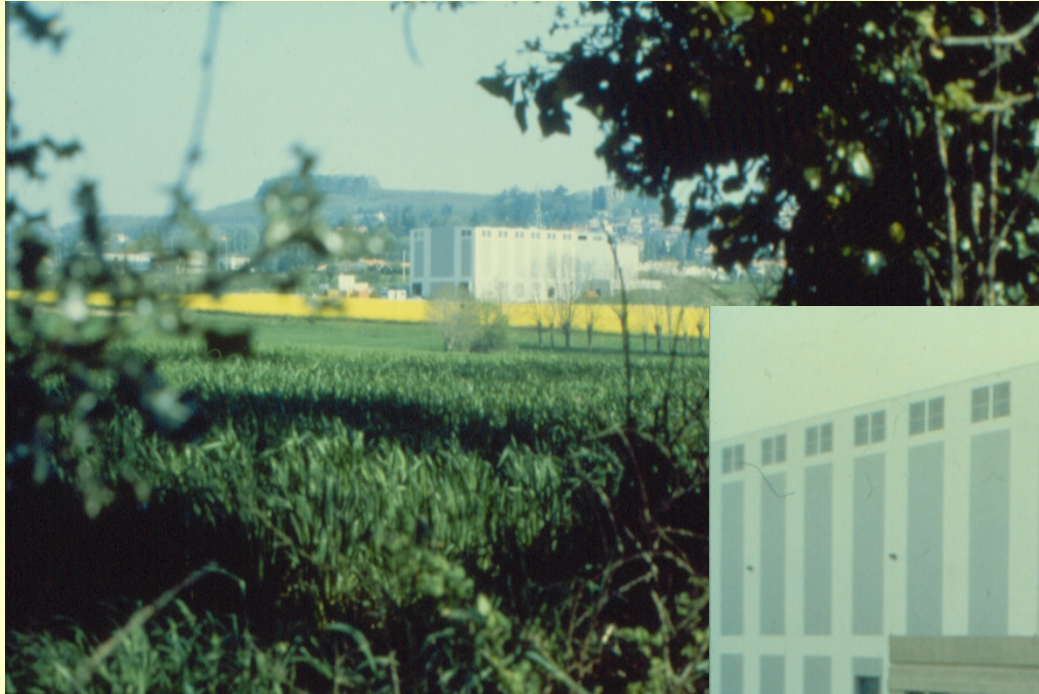
Denrées	Dose (kGy) valeur max	Denrées	Dose (kGy) valeur max
Herbes aromatiques surgelées	10	Cuisses de grenouilles congelées	5
Oignons, aulx, échalotes	0,075	Abats de volailles	5
Légumes et fruits secs	1	Blanc d'œufs	3
Flocons et germes de céréales destinés aux produits laitiers	10	Sang animal, plasma et cruor déshydratés	5
Farine de riz	4	Gomme arabique	3
Viandes de volailles	5	Caséine, caséinates	6
Crevettes surgelées ou congelées	5	Viandes de volailles séparées mécaniquement	5

<b style="color: red;">Herbes aromatiques séchées, épices et condiments végétaux	<b style="color: red;">10
--	-------------------------------

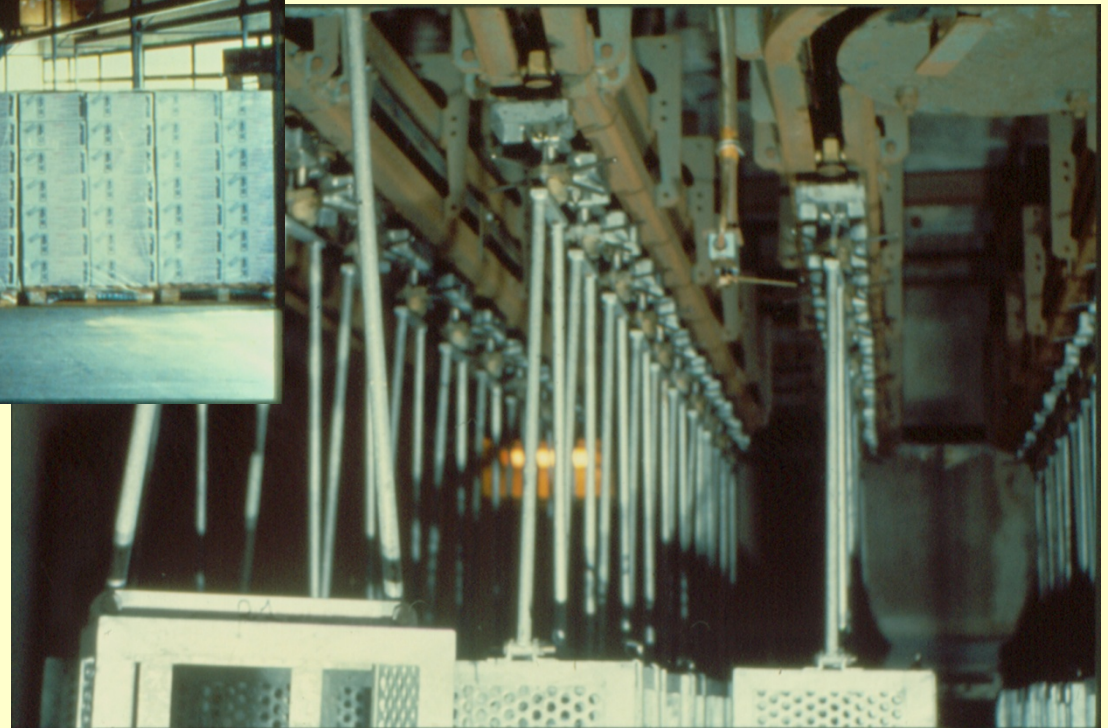
Les irradiateurs cobalt-60



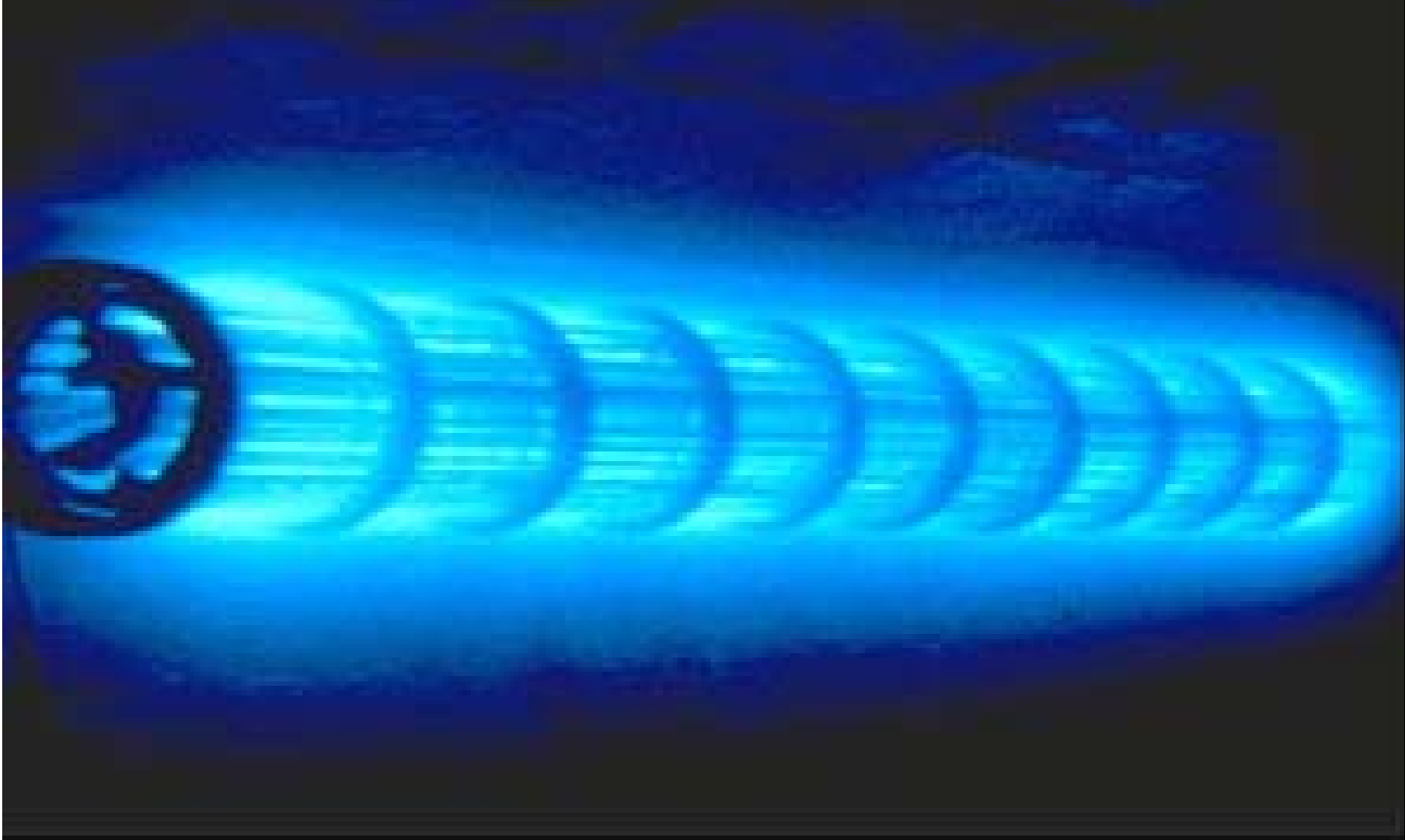
Quelques exemples d'installations françaises



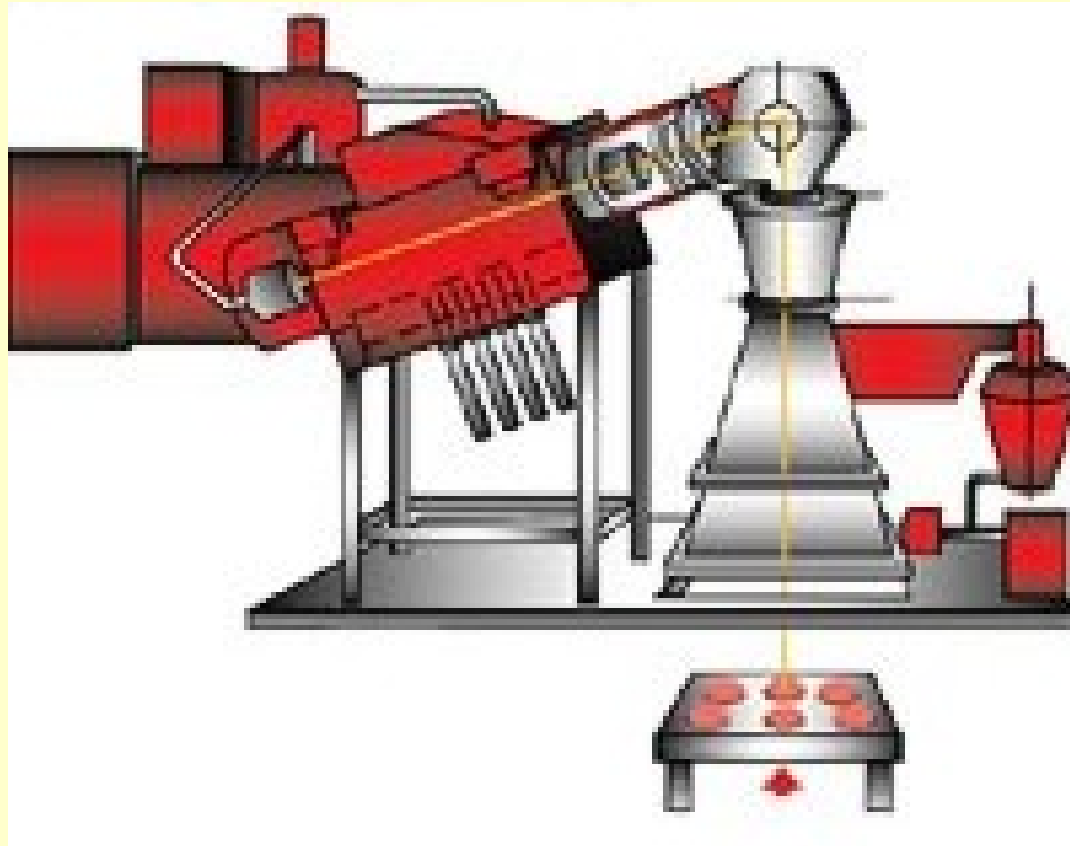
Quelques exemples d'installations françaises



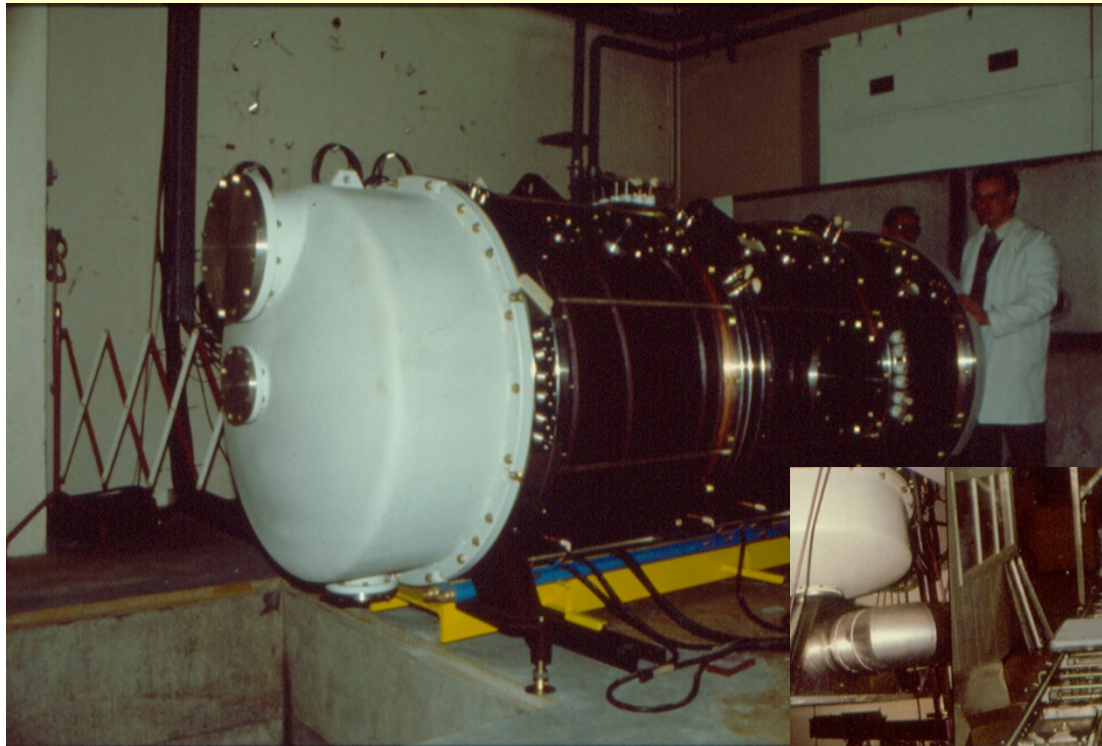
Source de cobalt-60 : effet Cerenkov



Les irradiateurs par électrons



Quelques exemples d'installations françaises







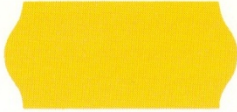
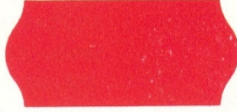
Quelques exemples d'installations françaises

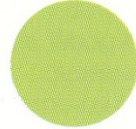







Les installations en France



Exemples de dosimètre

Dosirange: 10 - 25 kGy (1 - 2,5 Mrad) Colour change: yellow - red			
CODE	DESCRIPTION	NONIRRADIATED	IRRADIATED
2.01	'plain' indicator, circular, Ø12,5 mm.		
2.12.04	14 x 14 mm., with printed circle, text: 'red is γ exposed'		
2.14	indicator 26 x 12 mm. Can be applied easily and fast with a Meto gun (Handapplicator used in supermarkets).		

e: 2 - 10 kGy (0,2 - 1 Mrad) Colour change: green - violet			
	DESCRIPTION	NONIRRADIATED	IRRADIATED
3.3.01	'plain' indicator, circular, Ø12,5 mm.		
3.3.01.07	circular printed indicator with stripes, Ø12,5 mm.		
3.3.12.02	14 x 14 mm., with printed circle, text: 'violet is γ sterilized'		

LUMIÈRE D'ATOMES

LE NUCLÉAIRE AU SERVICE DE L'HOMME

Merci pour votre attention

Jacques FOOS & Yves DE SAINT JACOB

PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

Après Fukushima, les scénarios énergétiques de 2050

Fukushima ! Un nom que certains font sonner comme Hiroshima... après Tchernobyl. Faut-il « sortir du nucléaire » ? Et le peut-on ?

Cet ouvrage s'appuie sur une conviction profonde : pour répondre aux besoins de santé, d'éducation, de bien-être de la planète, et notamment de ses habitants les plus pauvres, il faut de l'énergie. Sans doute trois ou quatre fois plus qu'aujourd'hui à l'horizon 2050. Or même si l'on développe au maximum les énergies renouvelables, même si l'on relance un nucléaire plus sûr, même si l'on se serre la ceinture, cela ne suffira pas.

Alors, no future ? L'Apocalypse ? Non. Comme nous l'avons fait au ^{xx}e siècle, nos enfants trouveront des solutions.

Peut-on sortir du nucléaire ? est fondé sur une double expérience : l'approche universitaire du Pr Jacques Foos, titulaire pendant 25 ans de la chaire de sciences nucléaires du Conservatoire National des Arts et Métiers, et l'approche médiatique d'Yves de Saint Jacob, ancien rédacteur en chef de l'Agence France-Presse.



HERMANN

ISBN 978 2 7058 8172 2



9 782705 681722

19 €



PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

Jacques Foos
Yves de Saint Jacob

Jacques FOOS
YVES DE SAINT JACOB

PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

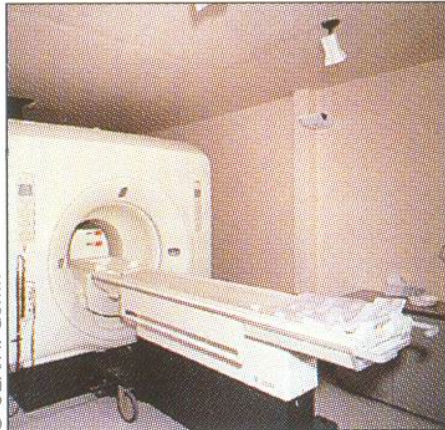
*Après Fukushima,
les scénarios
énergétiques de 2050*



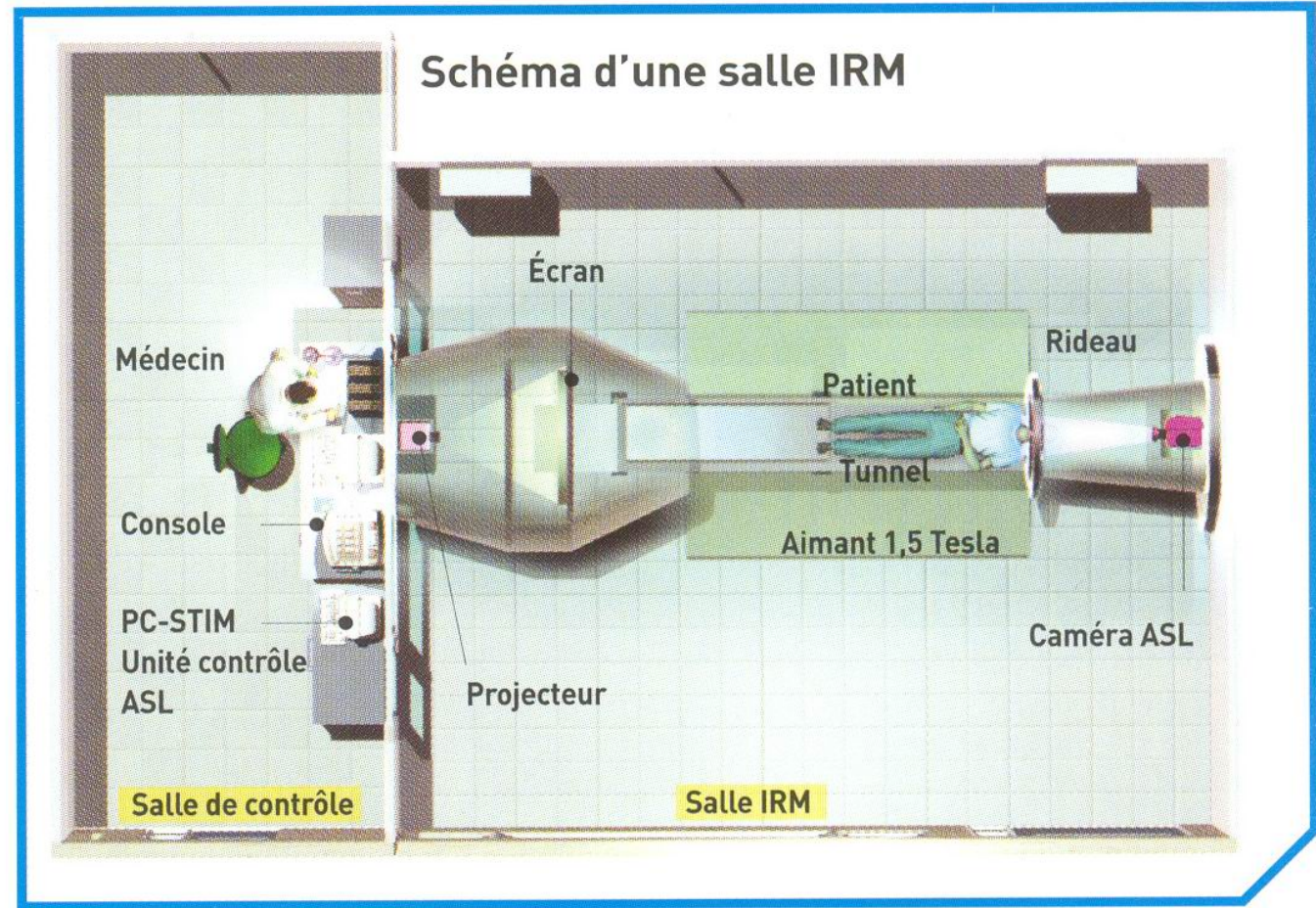
HERMANN

Imagerie par résonance magnétique nucléaire

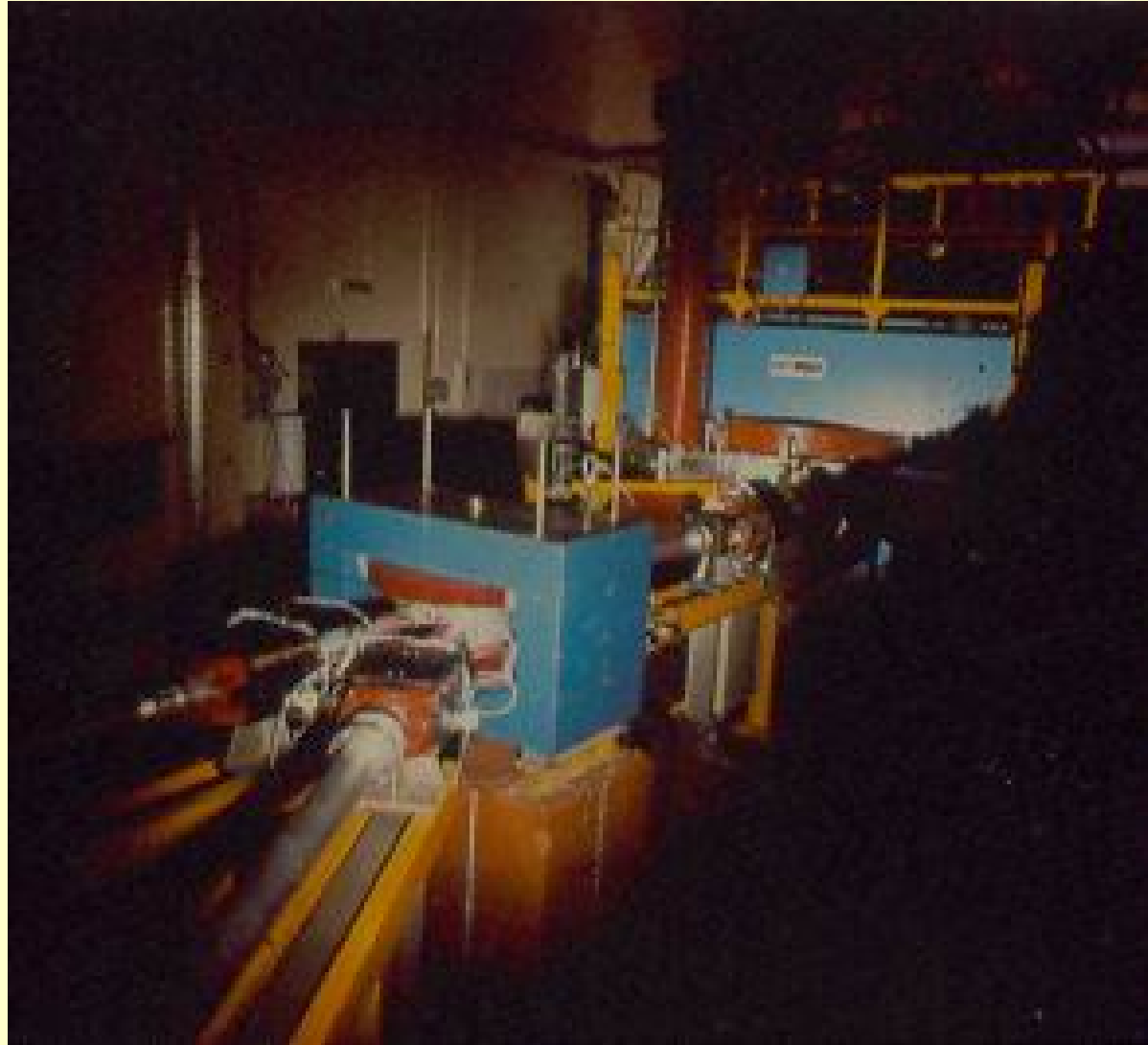
Salle d'imagerie par résonance magnétique.



© CEVA. Gonin



Cyclotron

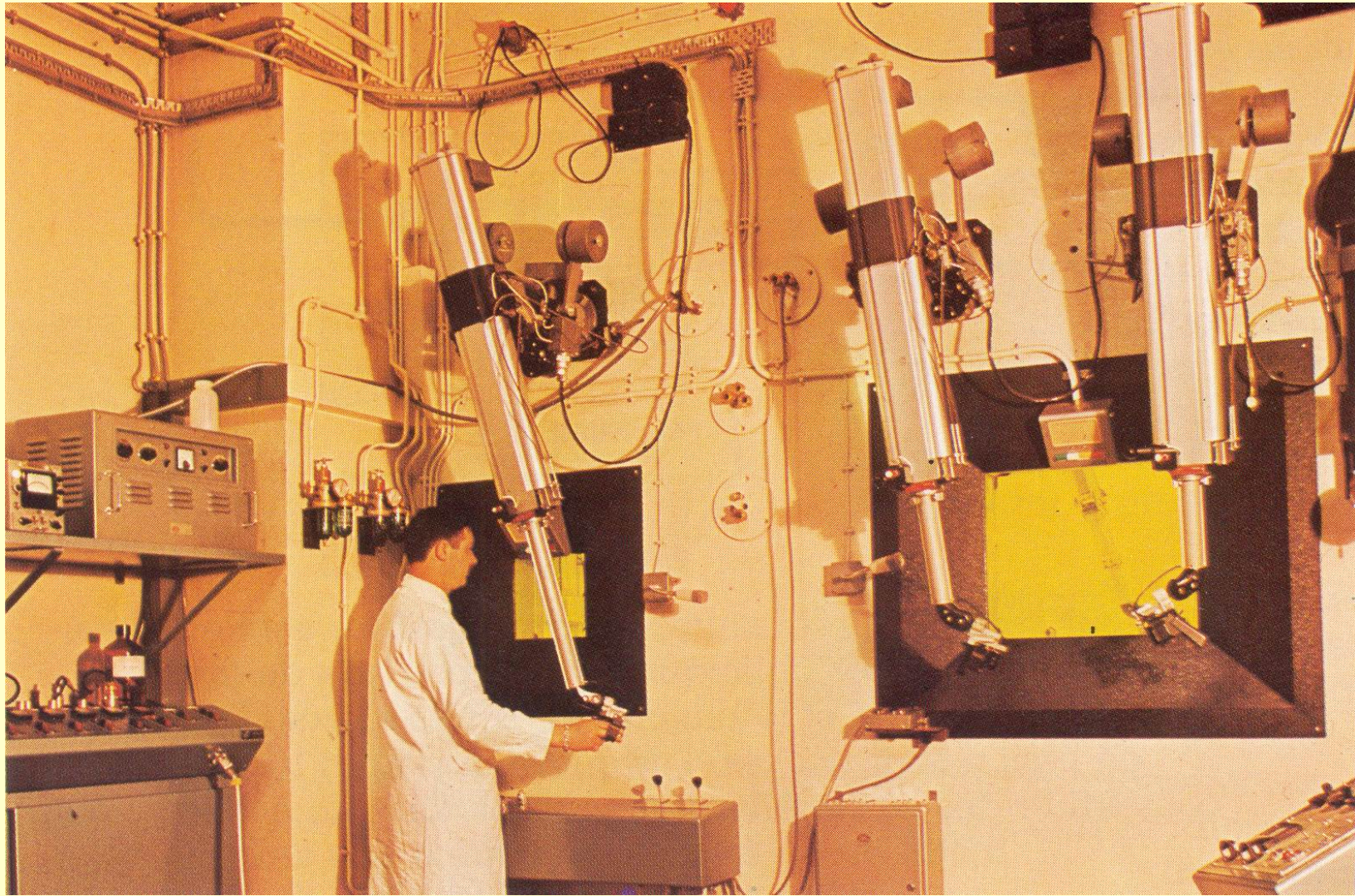


02/12/2016

Professeur Jacques Foos

193

Télemanipulation

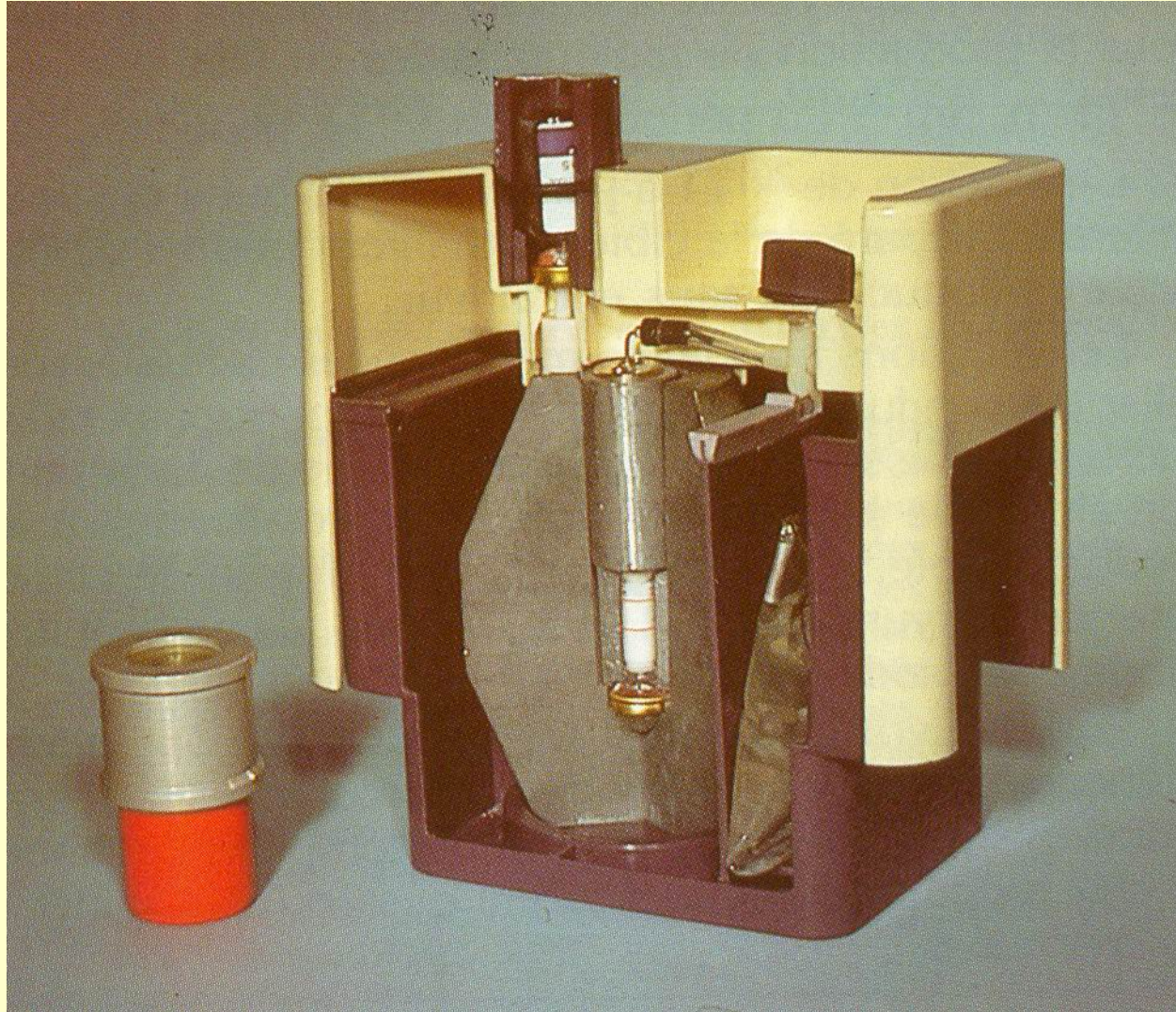


02/12/2016

Professeur Jacques Foos

194

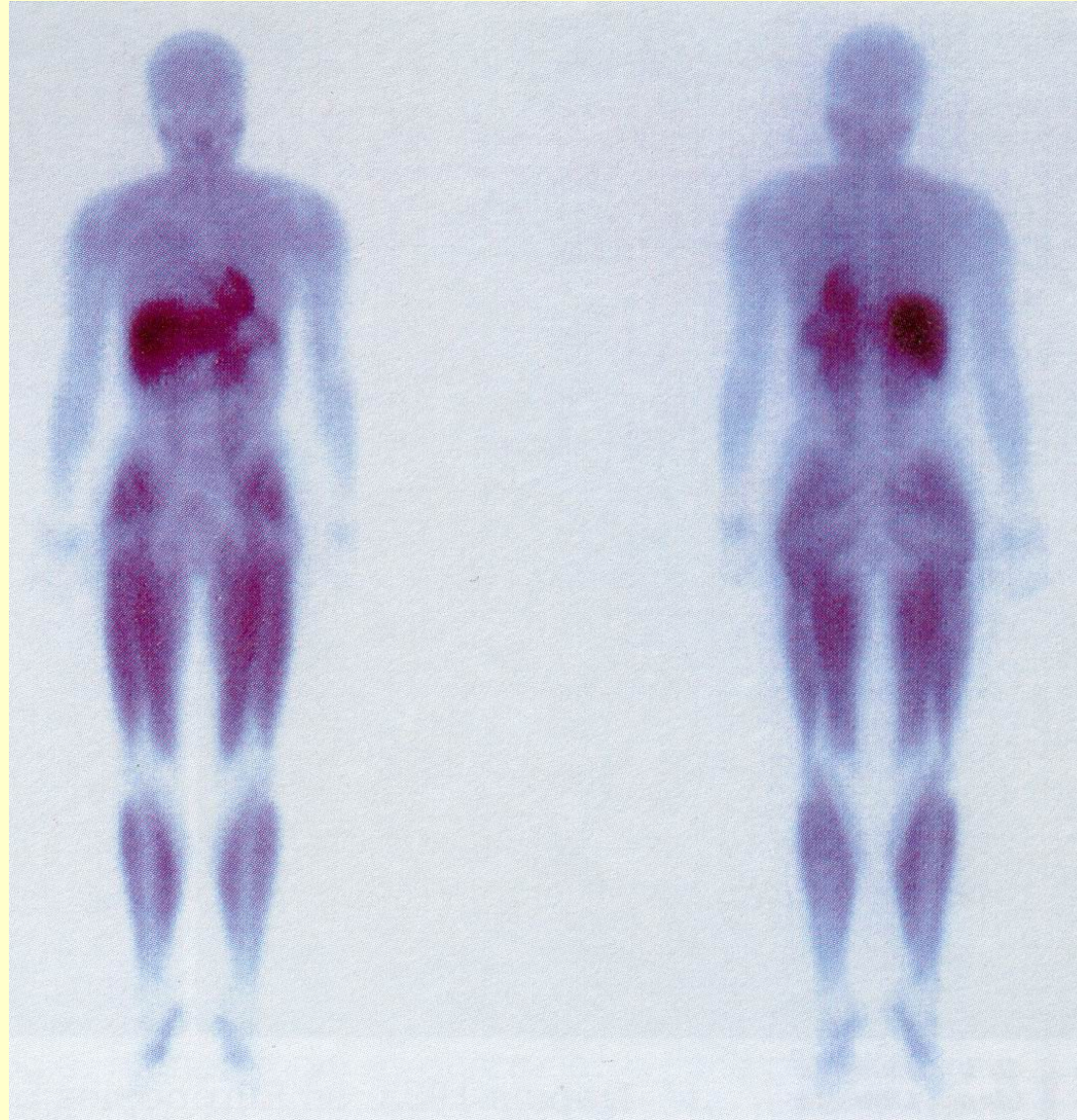
Générateur de technétium-99m



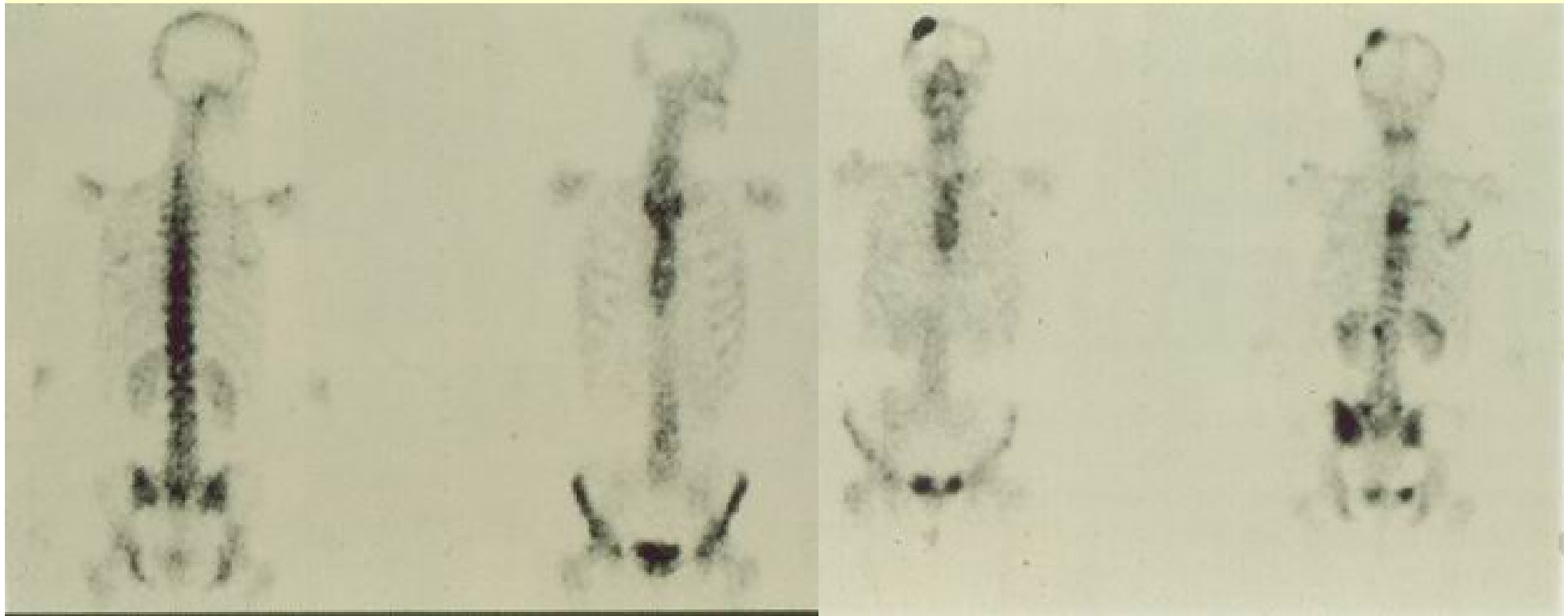
Ensemble générateur de Tc-99m



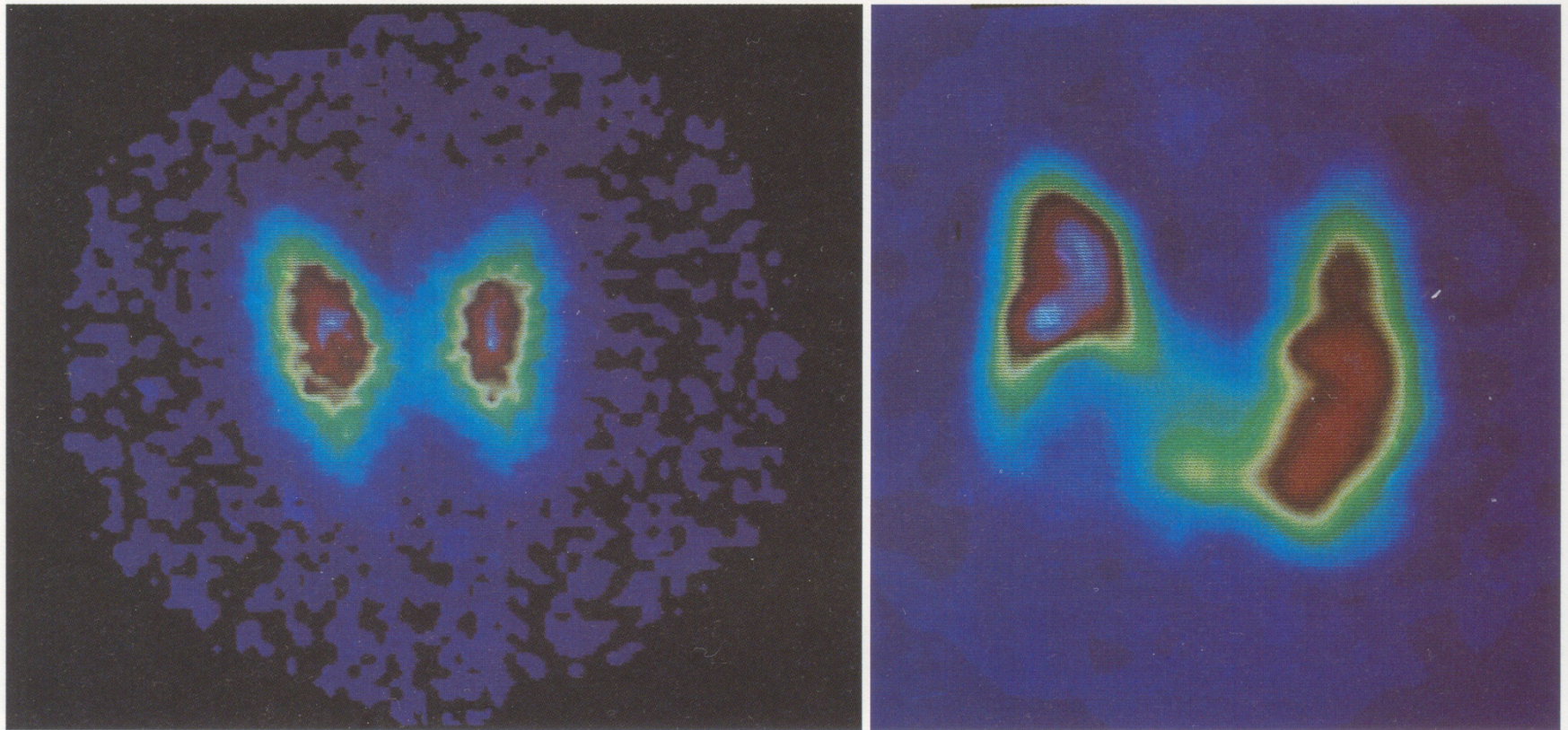
Marquage au Tc-99m (effort)



Imagerie au technétium-99m



Scintigraphie thyroïdienne

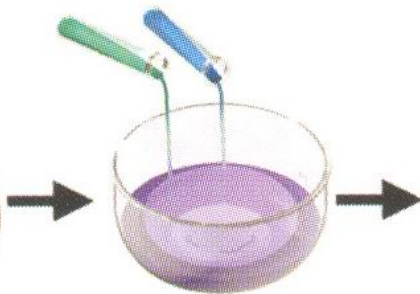


Tomographie par émission de positons : TEP

Processus de l'imagerie par TEP



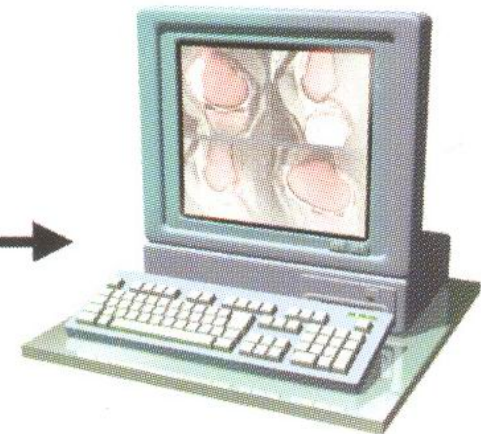
Production
des isotopes radioactifs



Incorporation
dans une molécule



Injection du traceur et
acquisition des données

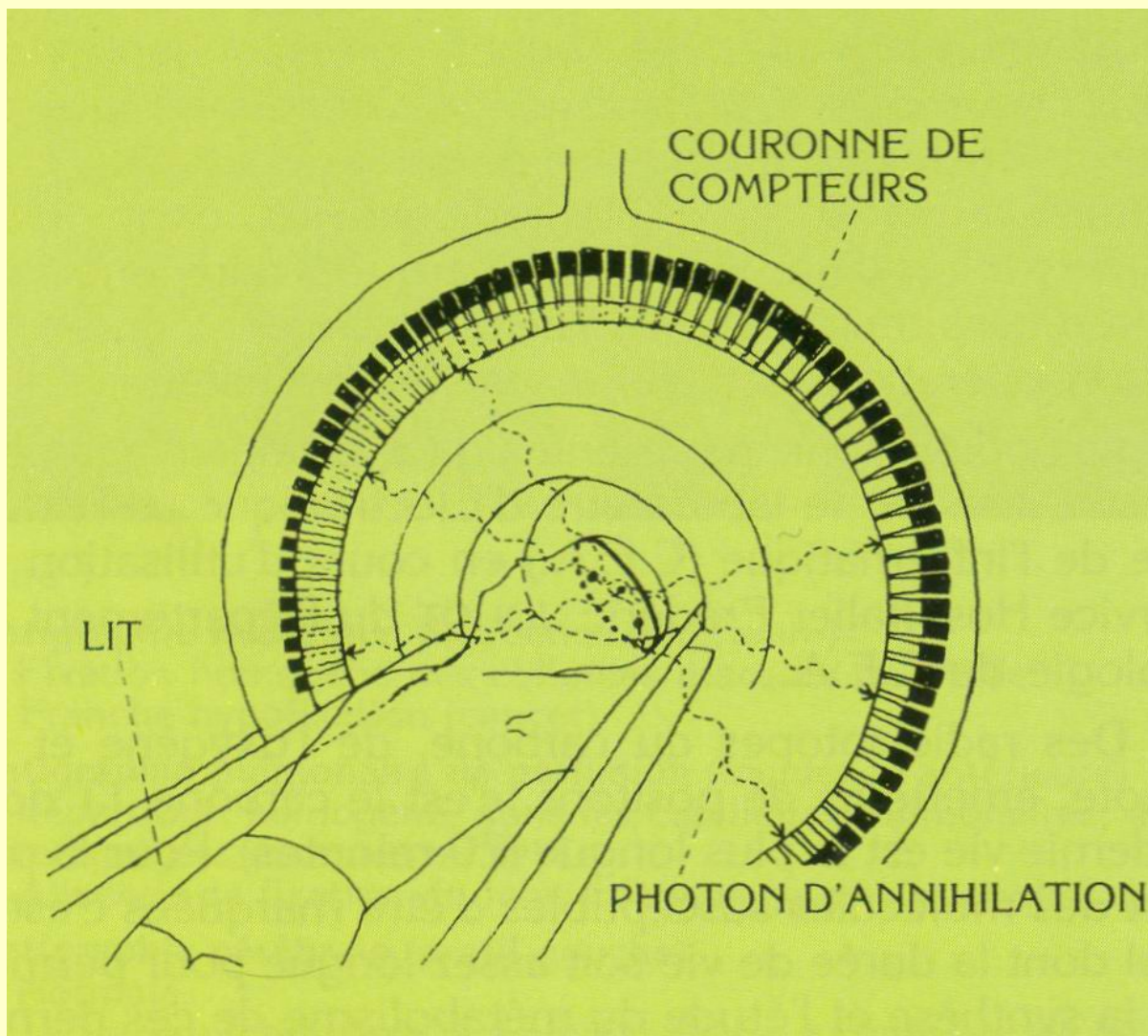


Traitement informatique,
image, interprétation

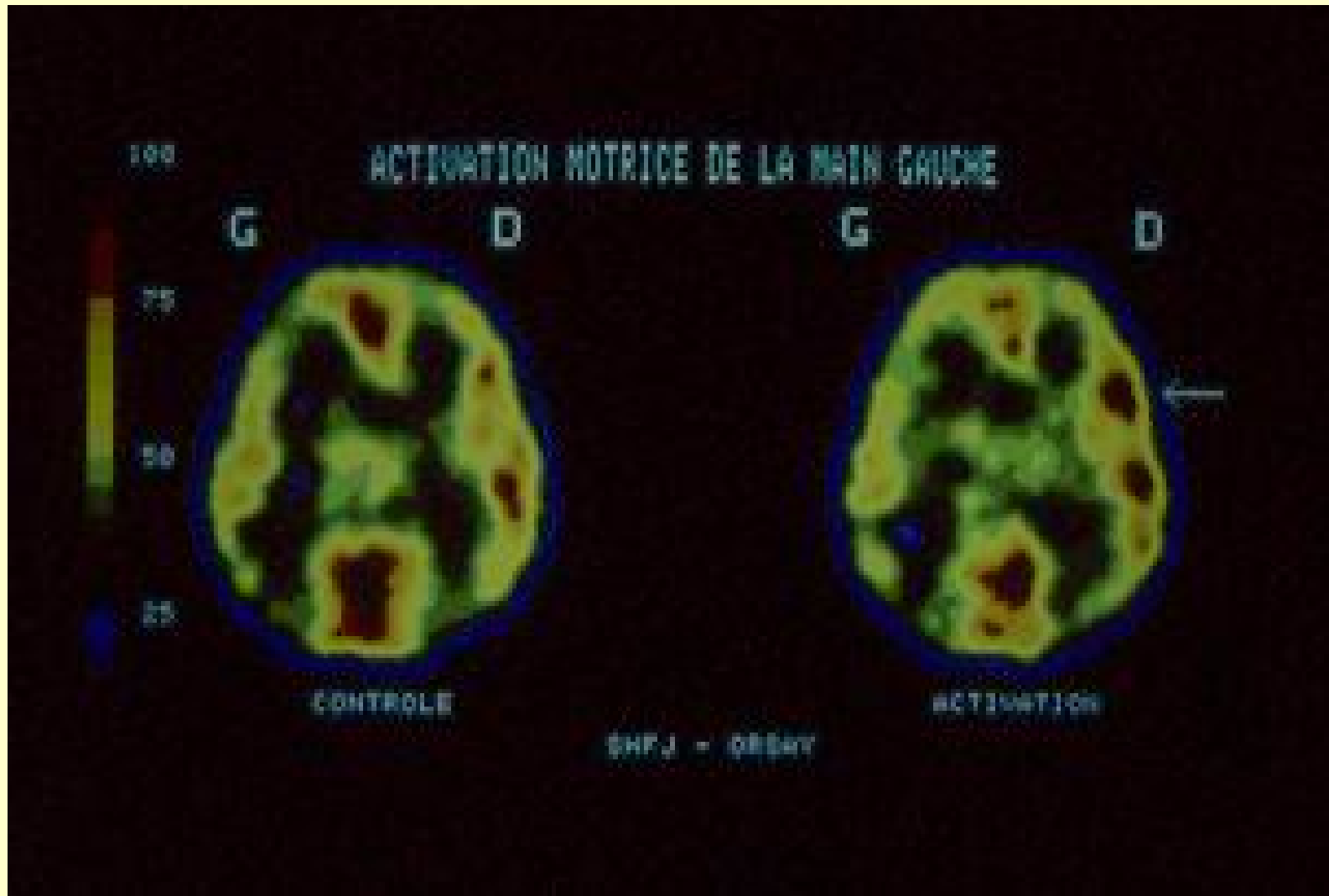
Imagerie TEP



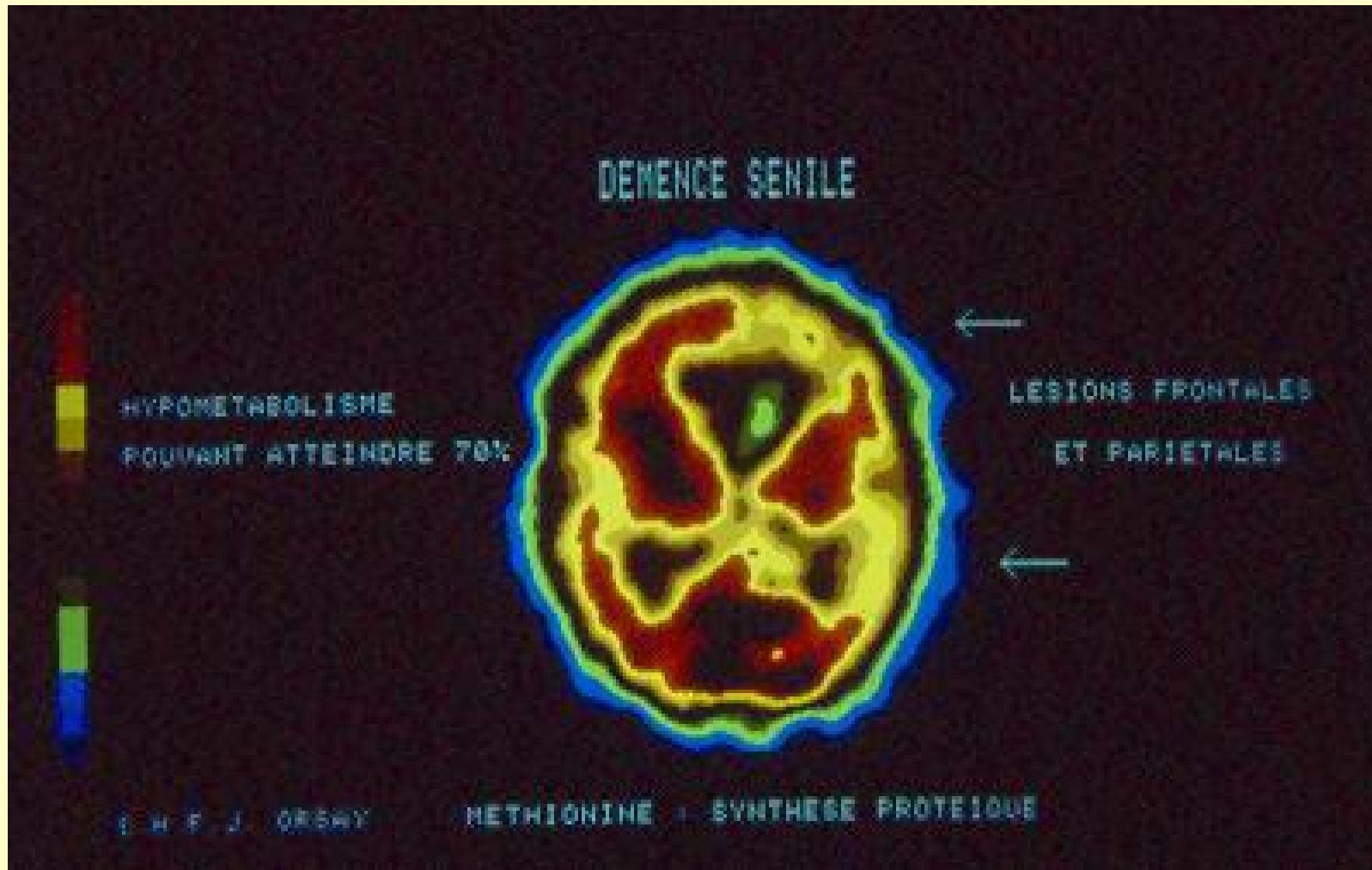
Caméra TEP (principe)



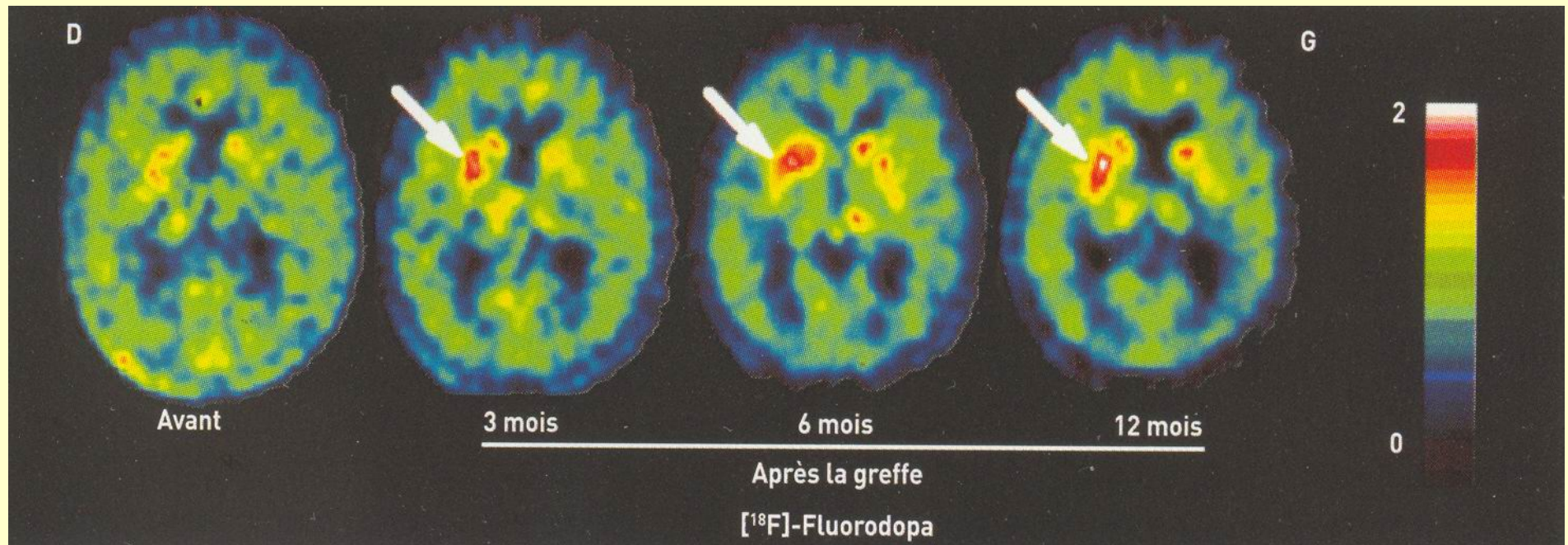
Activation motrice de la main gauche



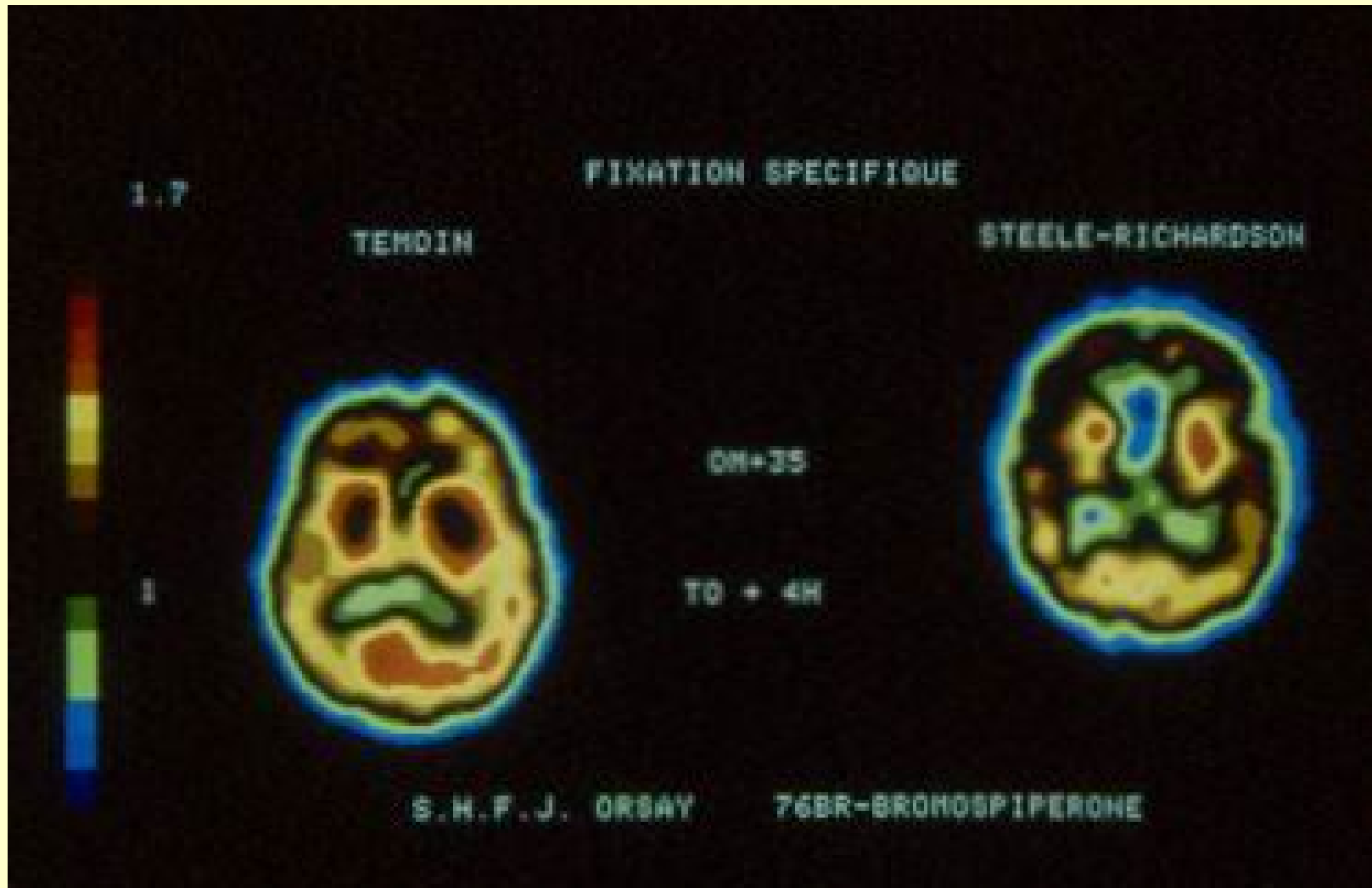
Démence sénile



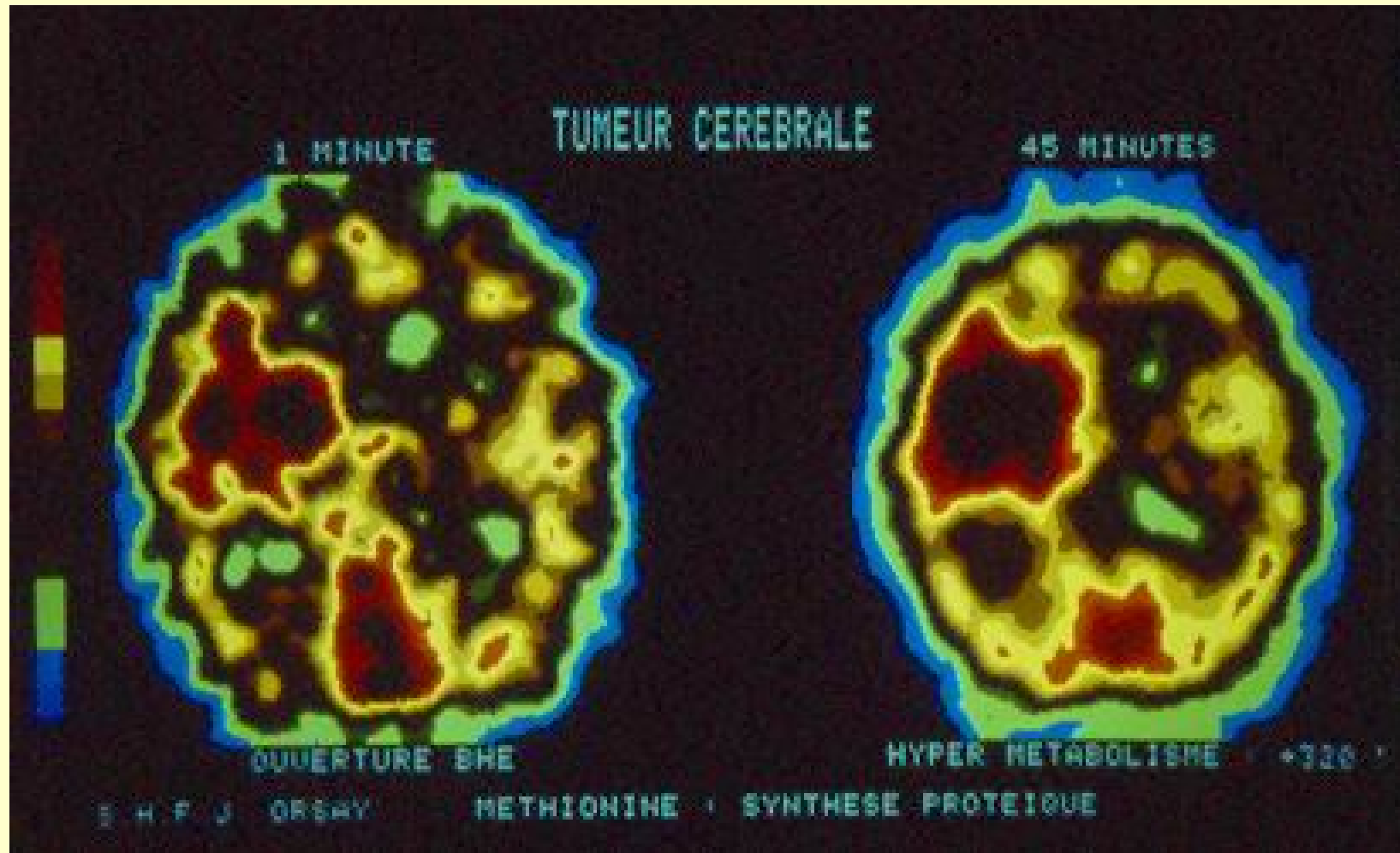
Maladie de Parkinson



Maladie de Steele-Richardson



Tumeur cérébrale



Les effets de la matière sur le rayonnement sont liés aux effets des rayonnements sur la matière

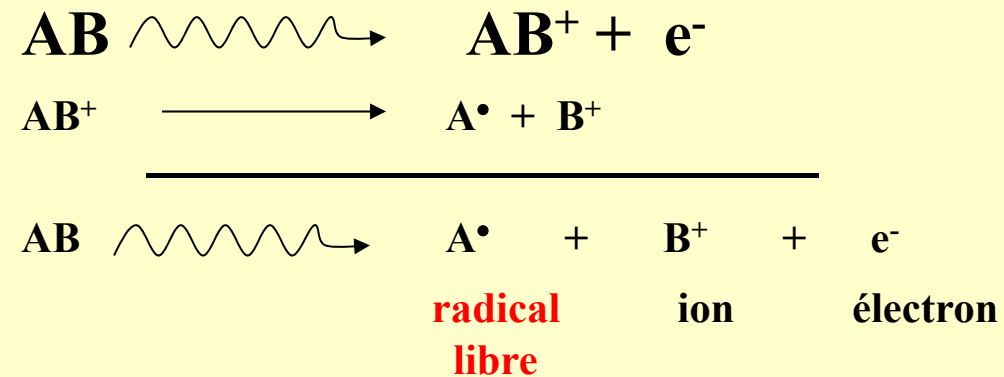
- **Effets physiques**
- **Effets chimiques**

Dans tous les cas : excitation et ionisation des atomes ou molécules du milieu rencontré

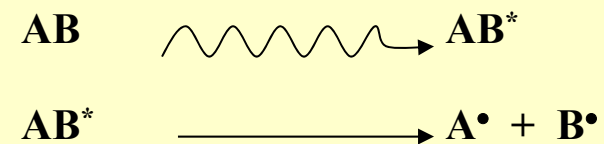
Effet direct

Conséquences chimiques

- de l'ionisation



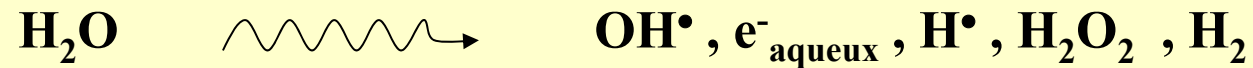
- de l'excitation



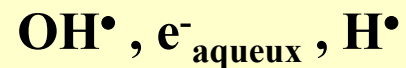
radicaux libres

produits de radiolyse

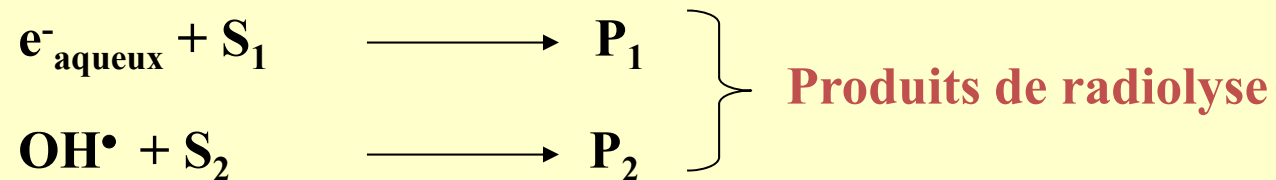
Effet indirect



Entités les plus réactives :



Elles vont réagir sur des solutés S éventuellement présents



Une espèce particulière : l'oxygène, biradical



Encore plus réactive !

Radiolyse = Thermolyse

La nature des composés étrangers formés (**produits de radiolyse**) sont de même nature que ceux engendrés par la chaleur (**produits de thermolyse**)

Ils sont formés en plus faible quantité

La cellule

Cellule : la plus petite unité capable de manifester les propriétés d'un être vivant.

Elle est constituée de molécules



```
graph TD; A[Elle est constituée de molécules] --> B[réactions chimiques]; B --> C[enzymes]
```

réactions chimiques

enzymes

L'édification d'une cellule dépend donc du fonctionnement d'enzymes spécifiques.

ADN - ARN ?

La synthèse des enzymes est un processus biologique fondamental.

Cette synthèse est programmée

A.D.N.

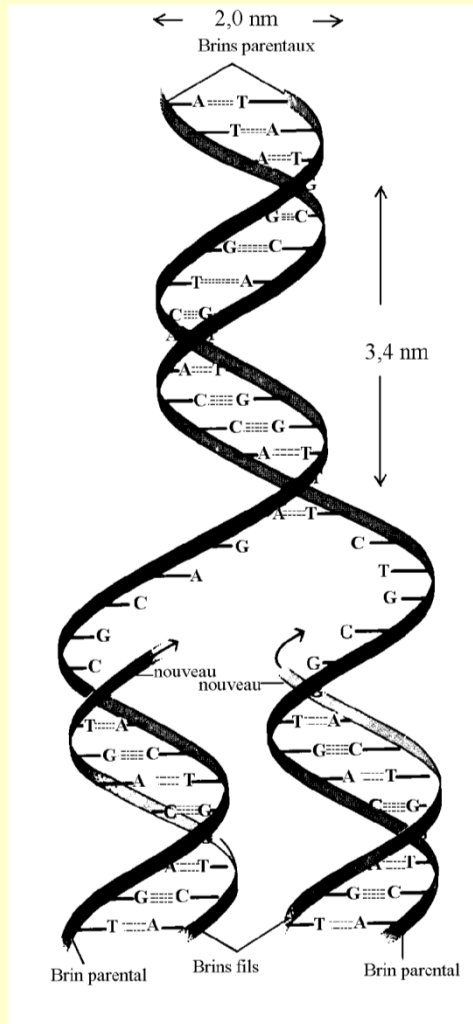
(Acide DésoxyriboNucléique)

**L'information est véhiculée jusqu'à l'appareil de synthèse
sous forme d'une copie (programme)**

A.R.N.m

(Acide RiboNucléique messenger)

Radiolyse de l'ADN



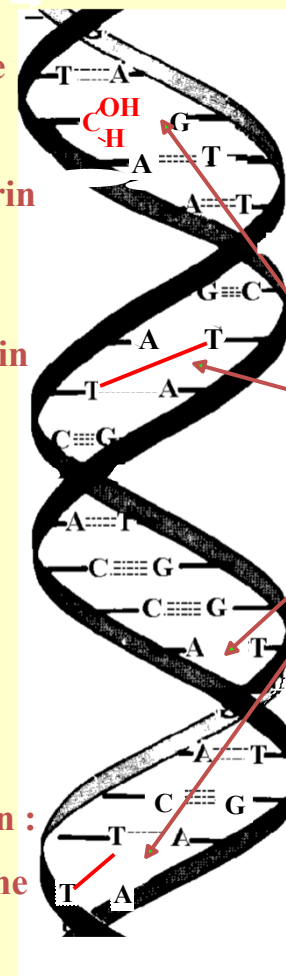
Hydratation de la cytosine

Rupture de brin

Pontage interbrin

Liaisons hydrogène rompues
⇒ ruptures de chaîne

Pontage intrabrin :
dimère de thymine



Aspects réglementaires : Législation européenne

La réglementation des aliments est fondée sur deux principes :

- * la protection et la santé des consommateurs**
- * la loyauté des transactions commerciales**

Directive 1999/2/CE du 22 février 1999 : rapprochement des législations des états membres concernant les conditions générales de traitement par ionisation des denrées et des ingrédients alimentaires

fixe les conditions d'autorisation de l'irradiation des denrées alimentaires

Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

... considérant que l'article 4 de la directive 1999/2/CE prévoit l'adoption d'une liste de denrées alimentaires qui peuvent, à l'exclusion de tous les autres, être traités par ionisation ; que cette liste est établie par étapes ;

considérant que les herbes aromatiques séchées, les épices et les condiments végétaux sont fréquemment contaminés et/ou infestés par des organismes et leurs métabolites, qui sont de nature à nuire à la santé publique ;

Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

considérant qu'une telle contamination et/ou infestation ne peuvent plus être traitées par des fumigants tels que l'oxyde d'éthylène en raison des risques de toxicité de leurs résidus ;

considérant que l'utilisation des rayonnements ionisants peut remplacer efficacement lesdites substances ;

Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

considérant que le traitement par ionisation est accepté par le Comité scientifique de l'alimentation humaine ;

considérant que ce traitement est, par conséquent, dans l'intérêt de la protection de la santé publique,

Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne ont arrêté la présente directive :

Art 1 : ... la présente directive établit une liste communautaire positive initiale de denrées et ingrédients alimentaires, ci-après dénommés «denrées alimentaires », pouvant être traités par ionisation et fixe les doses maximales autorisées pour atteindre le but recherché ...

Art 2 : les États membres ne peuvent interdire, restreindre ou empêcher la commercialisation de denrées alimentaires irradiées conformément aux dispositions générales de la directive-cadre et aux dispositions de la présente directive au motif qu'elles ont été traitées par ionisation ...

Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

**Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne
ont arrêté la présente directive :**

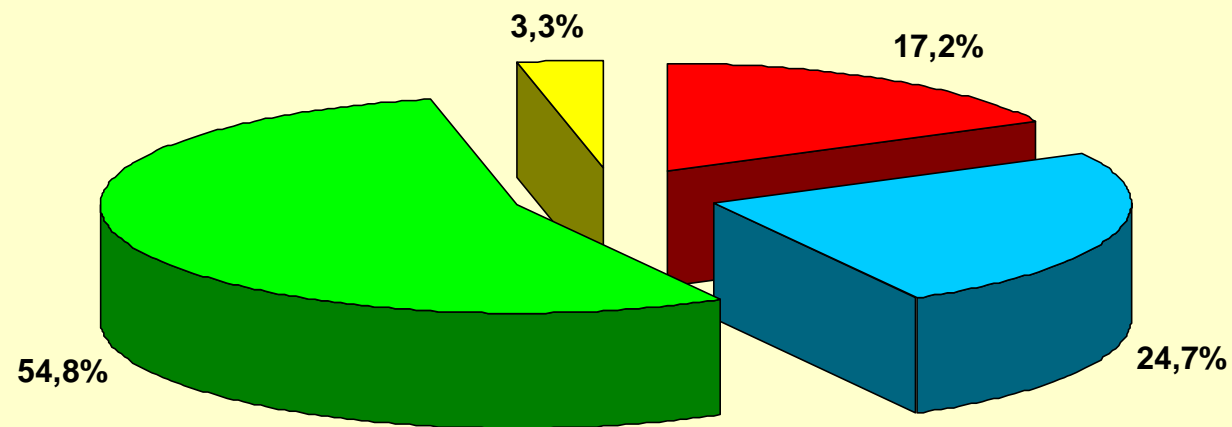
ANNEXE

Denrées alimentaires pouvant être traitées par ionisation et doses maximales d'irradiation

Catégorie de denrées alimentaires	Dose globale moyenne de radiation absorbée (kGy) valeur maximale
Herbes aromatiques séchées, épices et condiments végétaux	10

Exemples de quantités traitées en 2002

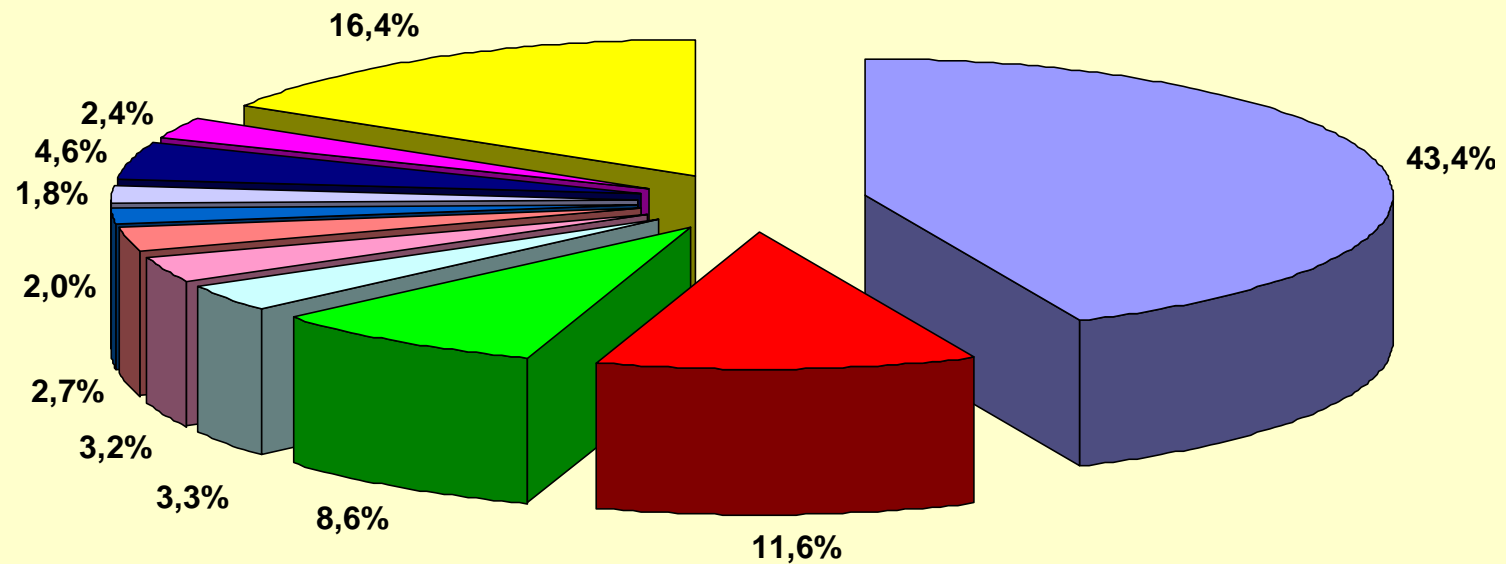
France : 5 129 tonnes



- cuisses de grenouilles congelées
- épices, herbes aromatiques, légumes secs
- viandes de poulet séparées mécaniquement, viandes et abats de poulets
- autres produits

Exemples de quantités traitées en 2002

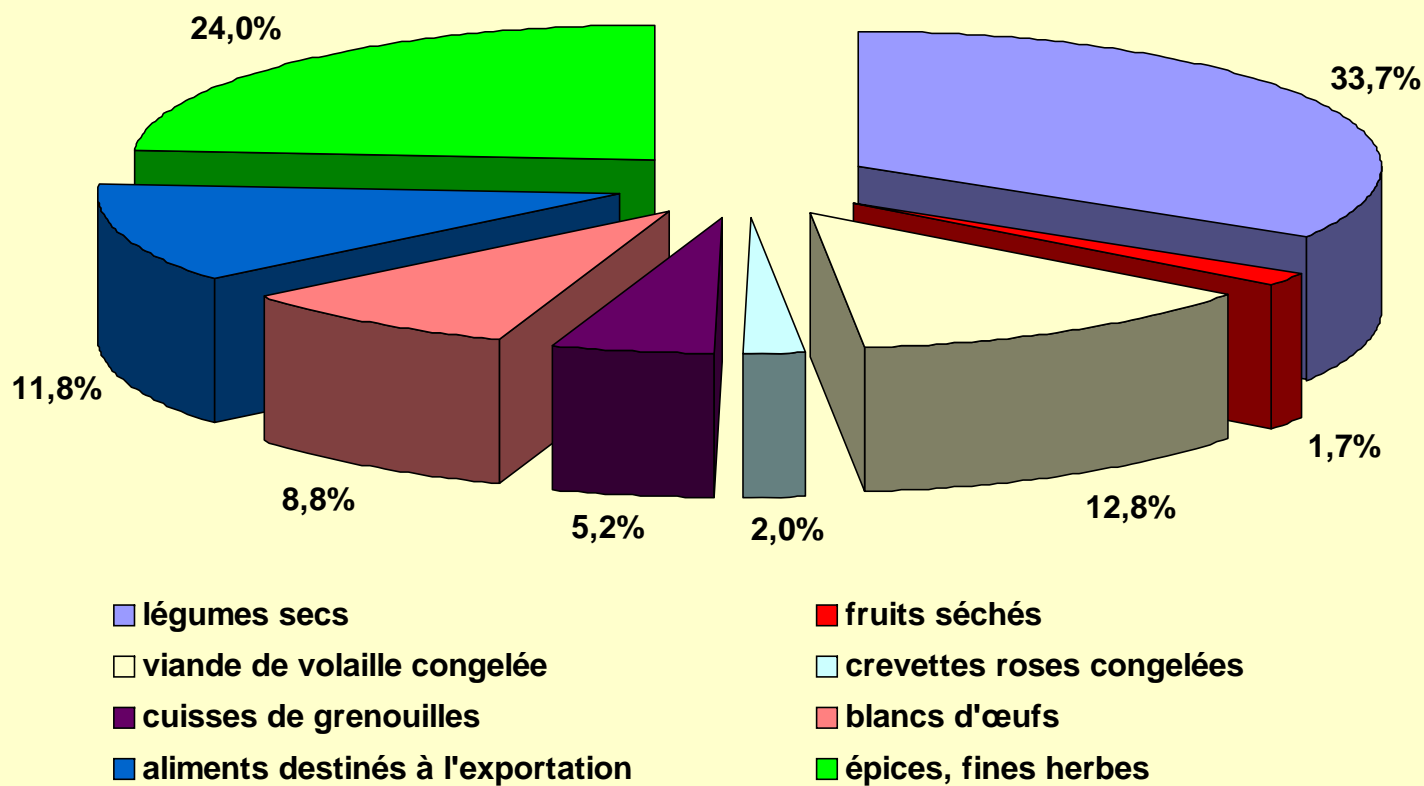
Belgique : 6 613 tonnes



- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| ■ cuisses de grenouilles congelées | ■ fruits de mer congelés |
| ■ épices, assaisonnements | ■ légumes congelés |
| ■ fromages | ■ poisson |
| ■ volaille congelée | ■ œufs |
| ■ viande congelée | ■ autres produits congelés |
| ■ autres produits | |

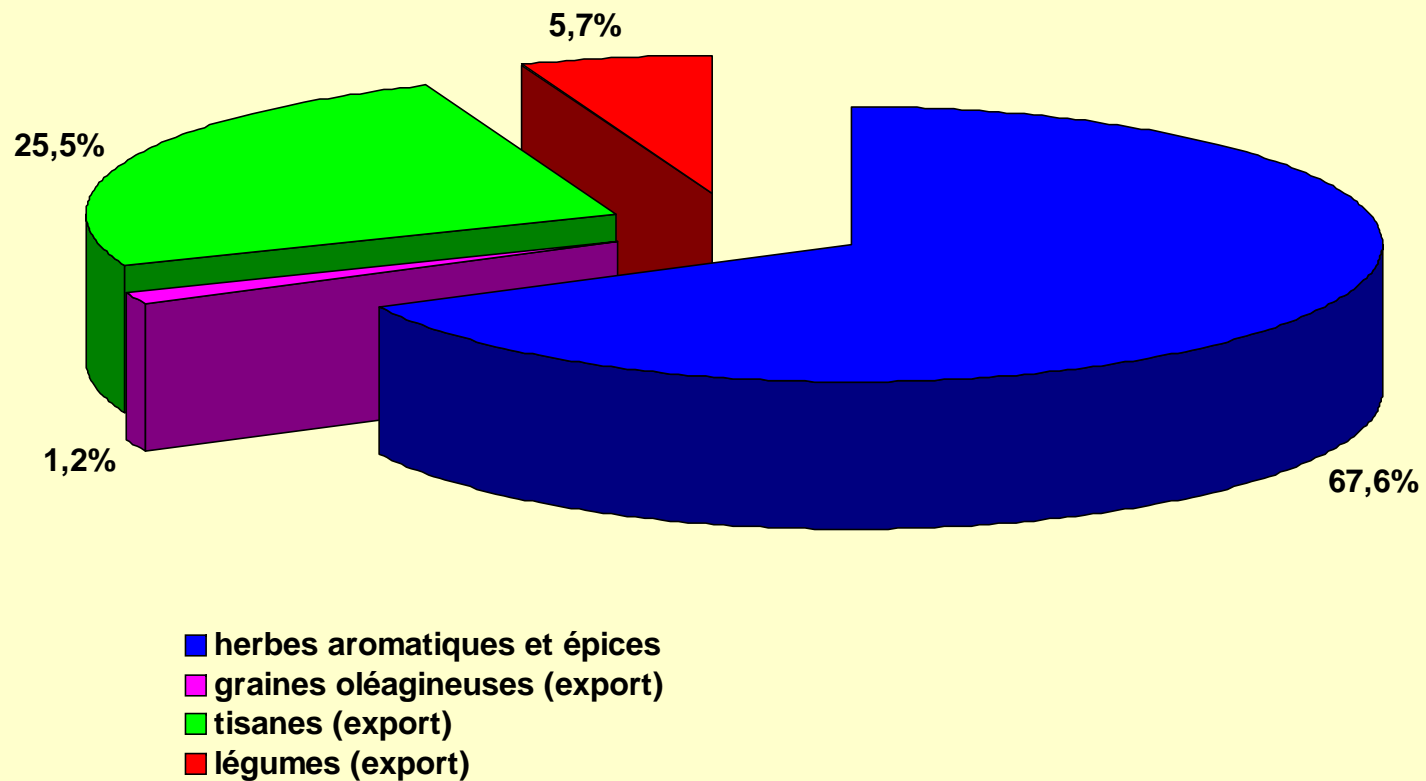
Exemples de quantités traitées en 2002

Pays-Bas : 7 114,4 tonnes



Exemples de quantités traitées en 2002

Allemagne : 494,4 tonnes



IONISATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES

- **Traitement simple et reproductible**
- **Dosimétrie précise**
- **Absence d'augmentation significative de la température**

D'où **moins d'altération des principes nutritifs par comparaison à des traitements de conservation classiques**

- **Absence d'additifs chimiques**

QUELQUES DIFFÉRENCES

- **pénétration plus grande pour les rayons γ que pour les électrons**
 - **emploi d'une source radioactive dans le cas des rayons γ d'où manipulations périodiques de sources très intenses**
 - **débits de dose très différents :**
 - de l'ordre du kGy/h (rayons γ)
 - de l'ordre de 1 000 kGy/h (électrons)
- **Les deux technologies sont plus complémentaires que concurrentielles**



Merci pour votre attention !