

Professeur Jacques Foos

La radioactivité

ou

« faut-il avoir peur 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 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



Historique de la découverte de la radioactivité

1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements



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)**

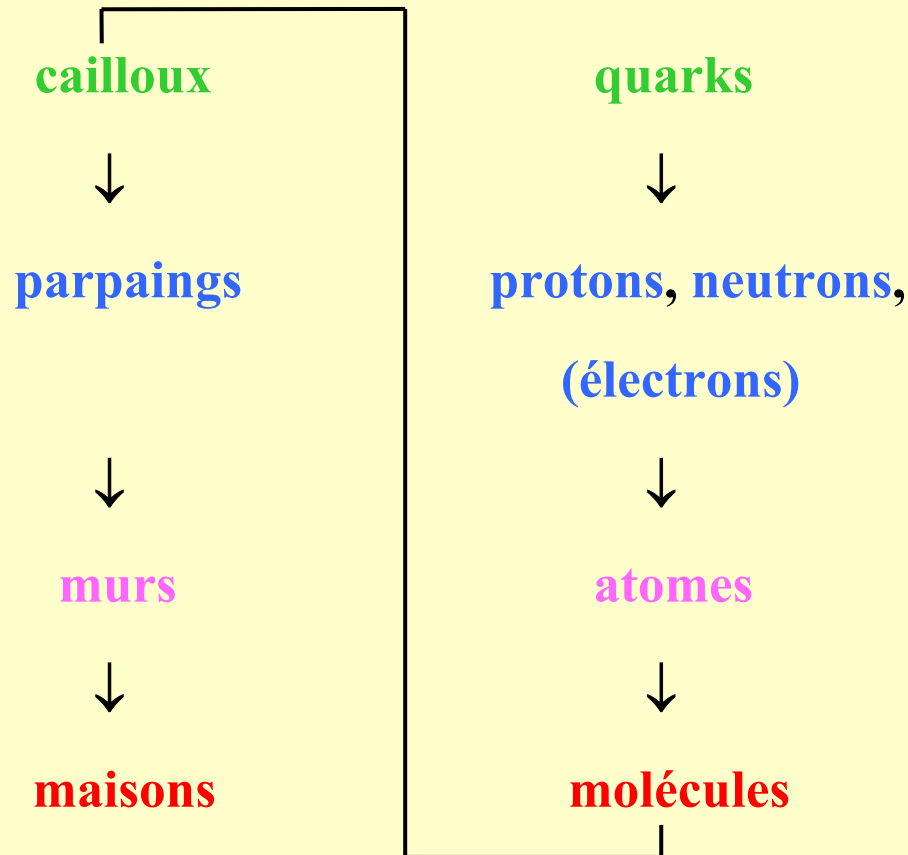
→ **descendants de l'uranium et
du thorium : 7 éléments**

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

→ **tous les éléments sans exception**



La matière est organisée comme un jeu de construction :



Big Bang



énergie



matière



Protons - neutrons - électrons

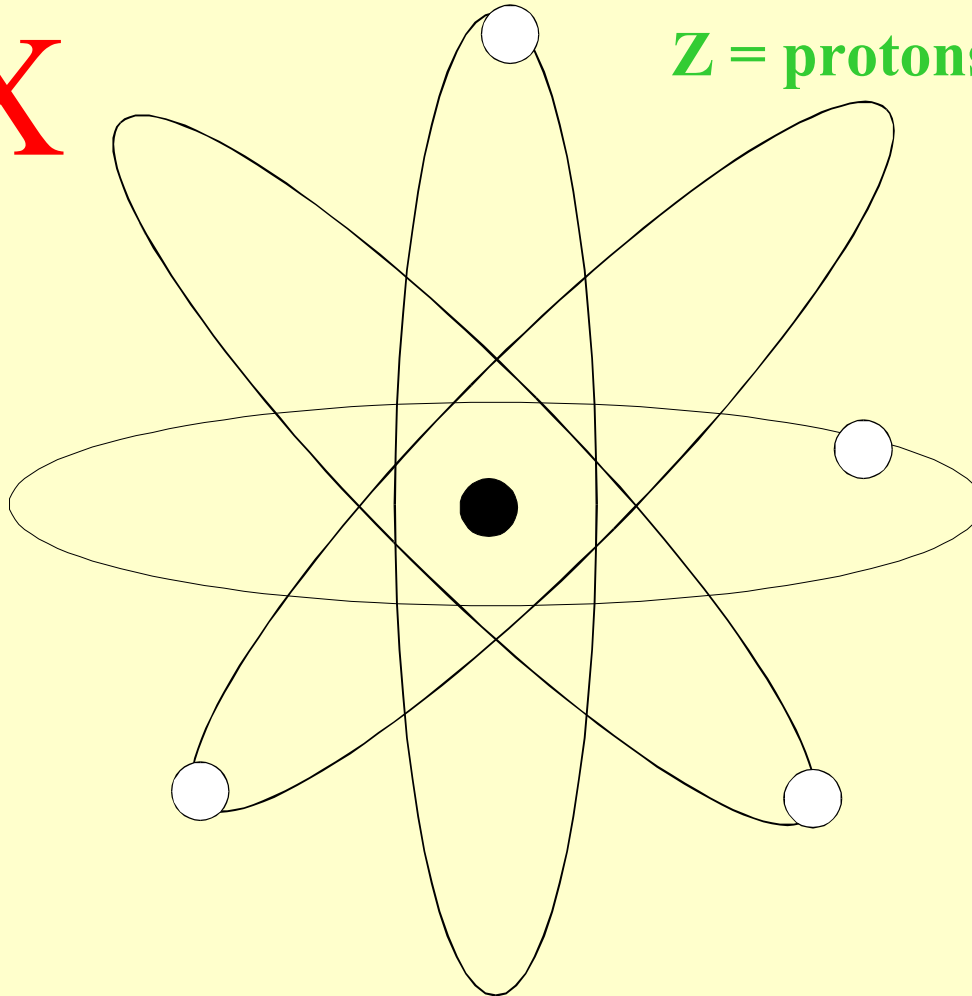
L'ATOME

A
 Z

X

A = protons + neutrons

Z = protons



LES TROIS ACTEURS PRINCIPAUX



* le proton \oplus charge positive



* le neutron \circ charge nulle

constituent le noyau positif de l'atome



* l'électron \ominus charge négative

(1 800 fois plus léger qu'un neutron ou proton)

Il contribue à la neutralité de l'atome : il y a autant d'électrons \ominus que de protons \oplus dans un atome

LES TROIS ACTEURS PRINCIPAUX

Le nombre de protons caractérise un élément

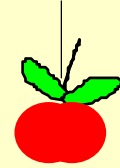
Le nombre de neutrons dans un atome peut, en revanche, varier. Ils contribuent à la cohésion du noyau et à la masse de l'atome.



LES INTERACTIONS

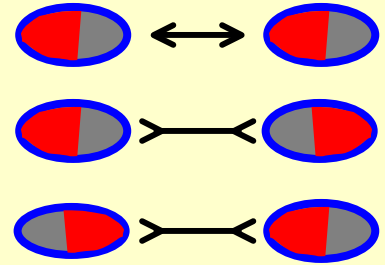
- **Gravitationnelle (Newton)**

- attraction entre masses
- portée infinie



- **Électromagnétique (Coulomb)**

- attraction entre charges de signe contraire
- répulsion entre charges de même signe
- portée infinie



- **Nucléaire forte**

- lie les protons et les neutrons entre eux dans le noyau
- portée très faible.

- **(Nucléaire faible)**



HISTORIQUE

- **électron** **THOMSON** **1897**
- **proton** **RUTHERFORD** **1919**
- **neutron** **CHADWICK** **1932**

- **du fer ?** **26 protons et 30 neutrons**
- **du carbone ?** **6 protons et 6 neutrons**
- **1 proton de plus ? c'est de l'azote**
- **79 protons ?** **de l'or**

Dans la nature :

- **le plus abondant** : **l'hydrogène (1 proton)**
- **le plus lourd** : **l'uranium (92 protons)**



Classification périodique

																<table border="1"> <tr> <td>H 1</td> <td colspan="15">élément stable</td> <td>He 2</td> </tr> </table>	H 1	élément stable															He 2					
H 1	élément stable															He 2																						
Li 3	Be 4															<table border="1"> <tr> <td><i>Fr</i> 87</td> <td colspan="15">élément radioactif</td> </tr> </table>	<i>Fr</i> 87	élément radioactif															B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
<i>Fr</i> 87	élément radioactif																																					
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	? 112	? 113	? 114	? 115	? 116																							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>La 57</td> <td>Ce 58</td> <td>Pr 59</td> <td>Nd 60</td> <td><i>Pm</i> 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> </table>																		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						
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																								
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><i>Ac</i> 89</td> <td><i>Th</i> 90</td> <td><i>Pa</i> 91</td> <td><i>U</i> 92</td> <td><i>Np</i> 93</td> <td><i>Pu</i> 94</td> <td><i>Am</i> 95</td> <td><i>Cm</i> 96</td> <td><i>Bk</i> 97</td> <td><i>Cf</i> 98</td> <td><i>Es</i> 99</td> <td><i>Fm</i> 100</td> <td><i>Md</i> 101</td> <td><i>No</i> 102</td> <td><i>Lr</i> 103</td> </tr> </table>																		<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						
<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																								

LES INTERACTIONS

• **En fait, un noyau contient :**

- **Z protons** (qui ont tendance à se repousser)
- **et N neutrons** (l'ensemble des nucléons : neutrons + protons, représente l'interaction nucléaire forte)

C'est dans la mesure où il y a équilibre entre la force de répulsion (coulombienne) et la force d'attraction (nucléaire) que l'assemblage constitué est stable : le noyau est alors stable.



- **S'il y a un léger déséquilibre entre les deux forces,
le noyau est instable.**
- **Il modifiera sa structure interne (changera un proton en neutron par exemple) pour revenir vers la stabilité.**
- **Ce faisant, il émet un rayonnement : on dit qu'il est radioactif.**

La radioactivité : c'est le retour vers l'équilibre



- **Plus l'assemblage constitué est loin de l'équilibre et plus le noyau est instable. Plus vite alors il modifiera sa structure pour se rapprocher de la stabilité.**

On retrouve le jeu de construction.

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**).



A l'origine : trois populations de noyaux

Après le **Big Bang**, une fois fabriqués protons et neutrons, la synthèse de tous les assemblages imaginables était possible.

Toutefois, les lois de la physique ne permettent pas de faire n'importe quoi !

En réalité, on peut classer les noyaux en trois catégories :

- * **les stables,**
- * **ceux dont la composition en protons et neutrons ne permet aucune cohésion, même pendant une fraction de seconde,**
- * **ceux dont la durée de vie nous permet de les identifier. *Ne subsistent cependant que ceux qui ont une durée de vie assez longue pour exister jusqu'à aujourd'hui.***



*Certains noyaux sont instables
car ils ont :*

trop de neutrons

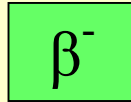
ou

trop de protons

ou

**trop de neutrons et de
protons**

Le noyau a trop de neutrons



un neutron se transforme en proton, le noyau éjecte alors un électron,
c'est ce que l'on appelle : **émission β^-**

du carbone	se transforme	en azote
de l'azote	se transforme	en oxygène
du fer	se transforme	en cobalt
du cobalt	se transforme	en nickel
du nickel	se transforme	en zinc etc.
du césium-137	se transforme	en baryum stable
de l'iode-129	se transforme	en xénon stable
de l'uranium	se transforme	en neptunium, puis en plutonium.

Le noyau a trop de protons

β^+ et capture électronique

un proton se transforme en neutron

c'est l'inverse de β^- :

l'azote se transforme en carbone

l'oxygène en azote

etc.

DÉSINTÉGRATION ALPHA

α

Les très gros noyaux perdent à la fois des protons et des neutrons (en réalité, une particule α : de l'hélium-4 constituée de $2p + 2n$)

Ainsi le plutonium redevient de l'uranium, de l'uranium se transforme en thorium, du polonium en plomb etc..

Souvent ces transformations (α , β) s'accompagnent d'un excès d'énergie.

Les noyaux se désexcitent, c'est-à-dire qu'ils rejettent à l'extérieur le trop plein d'énergie lié à leur instabilité.

Ils émettent alors un rayonnement électromagnétique appelé rayon γ



Ces rayons γ sont les cousins des autres rayonnements électromagnétiques :

ondes hertziennes

ondes radio

micro-ondes

infrarouge

lumière visible

ultraviolet*

rayons X*

rayons γ *

rayons cosmiques*

Leur énergie est égale ou plus grande que celle des rayons X mais nettement plus petite que celle des rayons cosmiques.

*** *Rayonnements ionisants***



RAYONNEMENTS IONISANTS

Rayonnement dont l'énergie véhiculée est suffisante pour arracher un électron aux atomes de la matière rencontrée.

Certains rayonnements ultraviolets, les rayons X, les rayons γ et les rayons cosmiques sont des rayonnements ionisants.



FISSION ET FUSION

Fission et **fusion** sont deux réactions nucléaires naturelles, dégageant beaucoup d'énergie

Fission : concerne les noyaux les plus lourds possédant un nombre pair de neutrons et de protons

Ex : * l'uranium-238, le thorium-232 fissionnent spontanément

* Le réacteur nucléaire d'Oklo (Gabon) il y a
1,7 milliard d'années



FISSION ET FUSION

Fission et **fusion** sont deux réactions nucléaires naturelles, dégageant beaucoup d'énergie

Fusion : concerne les noyaux les plus légers qui fusionnent pour former des noyaux plus lourds

Ex : Les noyaux d'hydrogène (élément n° 1) fusionnent pour donner des noyaux d'hélium (élément n° 2)

De telles réactions se déroulent depuis l'origine de l'Univers dans toutes les étoiles jeunes, comme le soleil, dégageant une énergie fantastique.



FISSION ET FUSION

La **fission** provoquée a été inventée entre 1935 et 1939, par hasard, en bombardant de l'uranium avec des neutrons.

Fission et **fusion** ont été utilisées par l'Homme pour la première fois dans l'armement.



FISSION ET FUSION

La fission provoquée a été inventée entre 1935 et 1939, par hasard, en bombardant de l'uranium avec des neutrons.

En contrôlant la réaction de fission, il l'utilise ensuite dans des réacteurs électrogènes.



FISSION ET FUSION

La fission provoquée a été inventée entre 1935 et 1939, par hasard, en bombardant de l'uranium avec des neutrons.

Il essaie aujourd'hui de contrôler la réaction de fusion dans des réacteurs : projet ITER.



FISSION ET FUSION

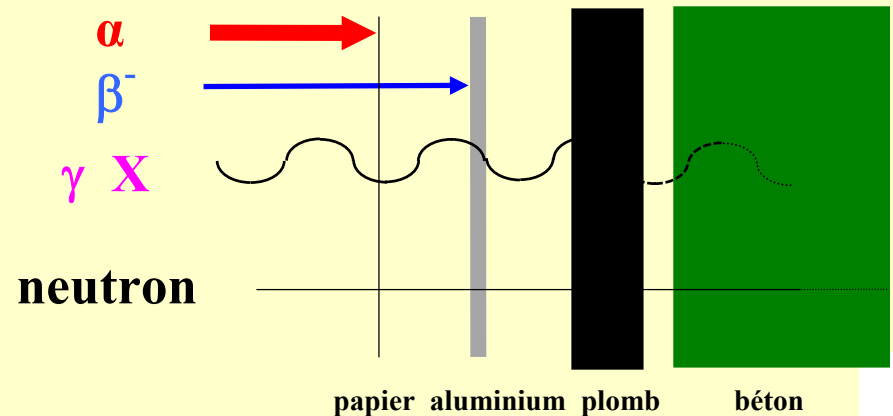
Que ce soit **fission** ou **fusion**, les cendres de tels réacteurs contiennent des noyaux radioactifs, émetteurs alpha, bêta, gamma.

Ce sont donc des déchets radioactifs



Que deviennent les rayonnements lorsqu'ils traversent la matière ?

- α : sont arrêtés par quelques dizaines de micromètres (millièmes de mm) dans un matériau solide ou liquide, 2 à 4 cm dans l'air.
- β^- : sont arrêtés par quelques mm ou cm (selon leur énergie) dans un matériau liquide ou solide mais peuvent parcourir quelques mètres dans l'air.
- γ : sont atténués d'un facteur 1 000 après la traversée d'environ 1 dizaine de cm dans le plomb, 45 cm dans le béton, 1,05 m dans l'eau.



La radioactivité

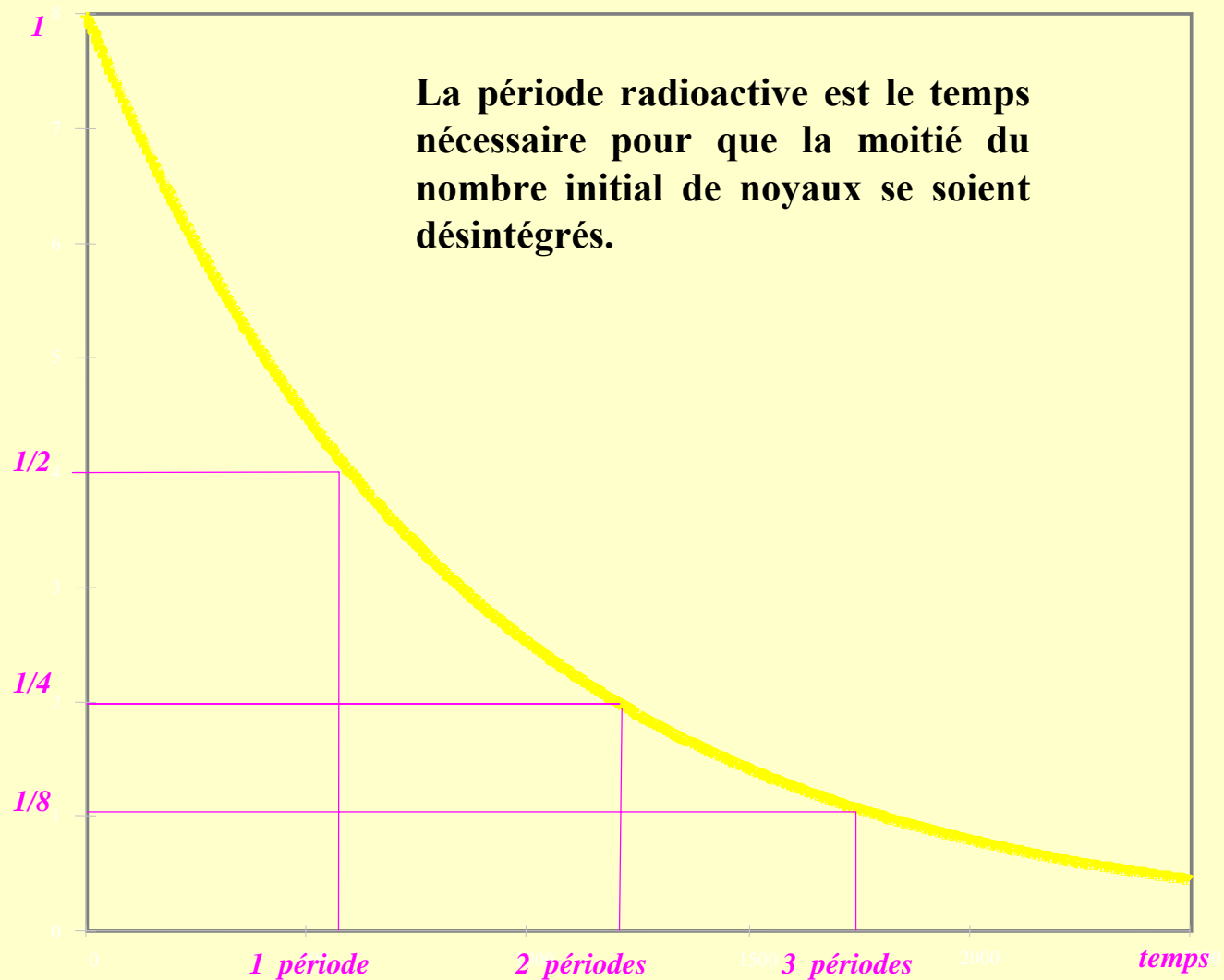
cela ne se voit pas



mais cela se détecte



La radioactivité est un processus qui décroît avec le temps



Après 10 périodes, il ne reste environ que le millième du composé radioactif initial.

**Pour les nucléides radioactifs naturels,
les périodes vont de :**

0,3 millionième de seconde pour le polonium-212

à

14 milliards d'années pour le thorium-232



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.



La radioactivité existe donc depuis le Big Bang. Aujourd'hui encore, tous les jours, les étoiles ne se nourrissent que de réactions nucléaires, fabriquant tous les éléments de la nature.

Les rayons cosmiques qui en sont issus produisent des éléments radioactifs qui tombent sur la surface de la terre, entraînés par les eaux de pluie :

ce sont les radioéléments induits.



On trouve ainsi aujourd'hui sur notre planète :

*** les radioéléments induits**

*** 25 noyaux radioactifs dont l'uranium
et le thorium**

*** les descendants de l'uranium et du thorium
(dont le radon)**

*** les 264 noyaux stables**



RADIOÉLEMENTS INDUITS

Produits par des réactions nucléaires, au moyen de rayons cosmiques, dans les hautes couches de l'atmosphère.

Ils tombent sur la surface de la Terre, entraînés par les eaux de pluie.

RADIOÉLEMENTS INDUITS

^{14}C (période = 5 730 ans)

25 000 atomes.m⁻².s⁻¹ production annuelle : 9 200 g

accumulation : 63 tonnes sous diverses formes

280 millions de curies = 10 EBq

^3H ou tritium (symbole T) (période = 12,3 ans)

2 000 atomes.m⁻².s⁻¹ production annuelle : 270 g

accumulation : 3,5 kg sous forme HTO (eau tritiée)

17 millions de curies = 0,6 Ebq

nota : 1 EBq = 1 milliard de milliards de becquerels

LES 25 RADIOÉLÉMENTS DE LONGUE PÉRIODE

radionucléide	T	Mode de désintégration	radionucléide	T	Mode de désintégration
^{40}K	$1,26 \times 10^9 \text{ a}$	β^-, c.e., β^+	^{147}Sm	$1,06 \times 10^{11} \text{ a}$	α
^{48}Ca	$2 \times 10^{16} \text{ a}$	β^-	^{148}Sm	$7 \times 10^{15} \text{ a}$	α
^{50}V	$1,4 \times 10^{17} \text{ a}$	β^- , c.e.	^{149}Sm	$7 \times 10^{16} \text{ a}$	α
^{82}Se	$1,4 \times 10^{20} \text{ a}$	β^-	^{152}Gd	$1,08 \times 10^{14} \text{ a}$	β^-
^{87}Rb	$4,88 \times 10^{10} \text{ a}$	β^-	^{174}Hf	$2 \times 10^{15} \text{ a}$	c.e.
^{113}Cd	$9,3 \times 10^{15} \text{ a}$	β^- , c.e.	^{176}Lu	$3,79 \times 10^{10} \text{ a}$	β^-
^{115}In	$5,1 \times 10^{14} \text{ a}$	β^-	^{186}Os	$2 \times 10^{15} \text{ a}$	α
^{123}Te	$1,3 \times 10^{13} \text{ a}$	c.e.	^{187}Re	$4,2 \times 10^{10} \text{ a}$	β^-
^{128}Te	$1,5 \times 10^{24} \text{ a}$	β^-	^{190}Pt	$6 \times 10^{11} \text{ a}$	c.e.
^{130}Te	$2,5 \times 10^{21} \text{ a}$	β^-	^{232}Th	$1,4 \times 10^{10} \text{ a}$	α
^{138}La	$1,06 \times 10^{11} \text{ a}$	c.e.	^{235}U	$7 \times 10^8 \text{ a}$	α
^{142}Ce	$5 \times 10^{16} \text{ a}$	β^-	^{238}U	$4,5 \times 10^9 \text{ a}$	α
^{144}Nd	$2,1 \times 10^{15} \text{ a}$	β^- , c.e.			

LE POTASSIUM-40

Parmi les éléments radioactifs de longue vie enfermés dans l'écorce terrestre

période radioactive : 1,26 milliard d'années

0,0118% dans le potassium naturel

93% de potassium-39

6,88% de potassium-41

Un chiffre :

**surface de la France,
1 mètre de profondeur**

1 million de curies de potassium-40

(672 millions de becquerels à l'hectare)



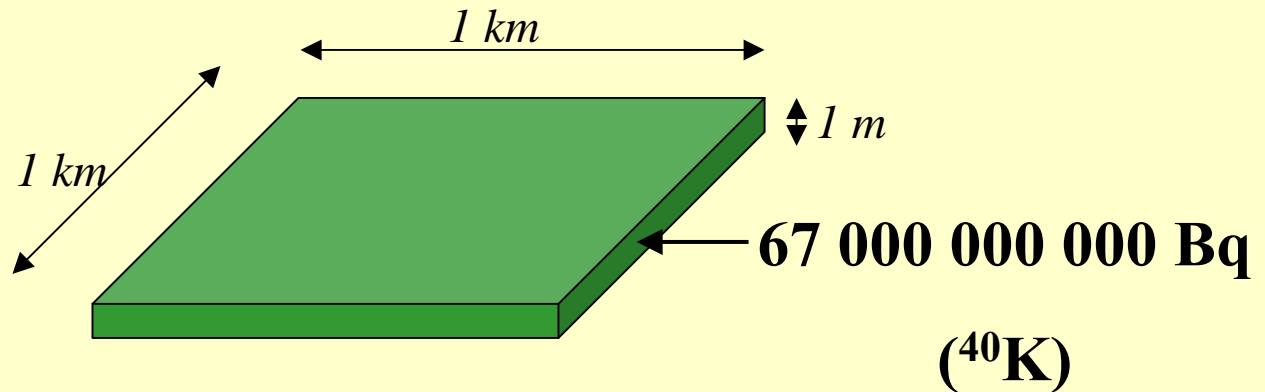
92	uranium
91	protactinium
90	thorium
89	actinium
88	radium
87	francium
86	radon
85	astate
84	polonium
83	bismuth
82	plomb

Quelques valeurs

1 gramme d'oxyde d'uranium : **22 000 Bq**

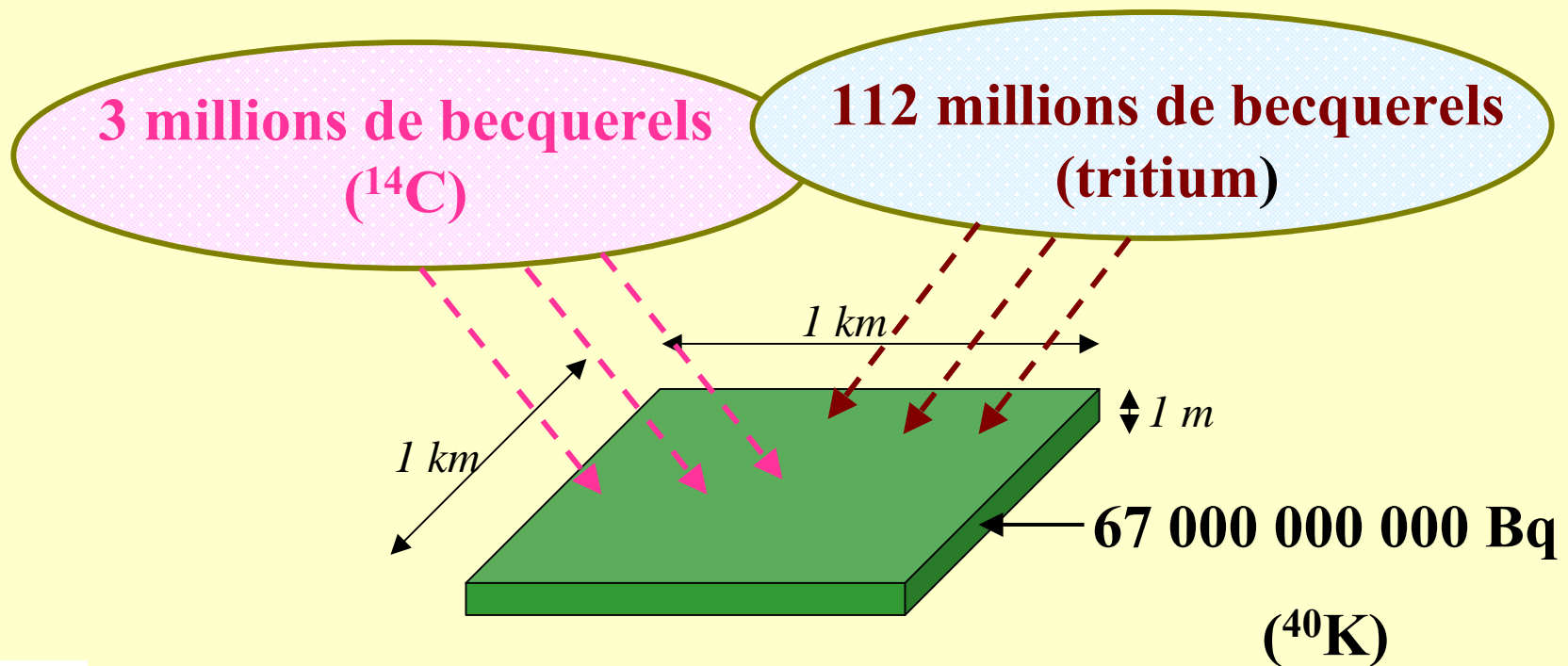
1 km² de la surface de la France, sur 1 m de profondeur

67 milliards de becquerels de potassium-40



Quelques valeurs

Sur ce même km^2 , tombent chaque année du **carbone-14** et du **tritium** dont les activités ont pour valeurs respectives :



Pourquoi des valeurs aussi élevées ?

**En raison du très grand nombre d'atomes (donc de noyaux)
par gramme de matière :**

entre (2 500 et 50 000) milliards de milliards !

50 000 000 000 000 000 000 000



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.

RADIOACTIVITÉ D'ORIGINE NATURELLE DANS LES ALIMENTS

(valeurs exprimées en Bq/kg)

Lait	50-80
Pomme de terre	150
Blé	140
Viande	90
Légumes verts	100
Fruits	40

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**.**



Les effets biologiques des rayonnements ionisants

Les radiations ionisantes agissent, au niveau des cellules,
sur les molécules d'**ADN**, d'**ARN**, ainsi que sur les
ribosomes et les **mitochondries**



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.

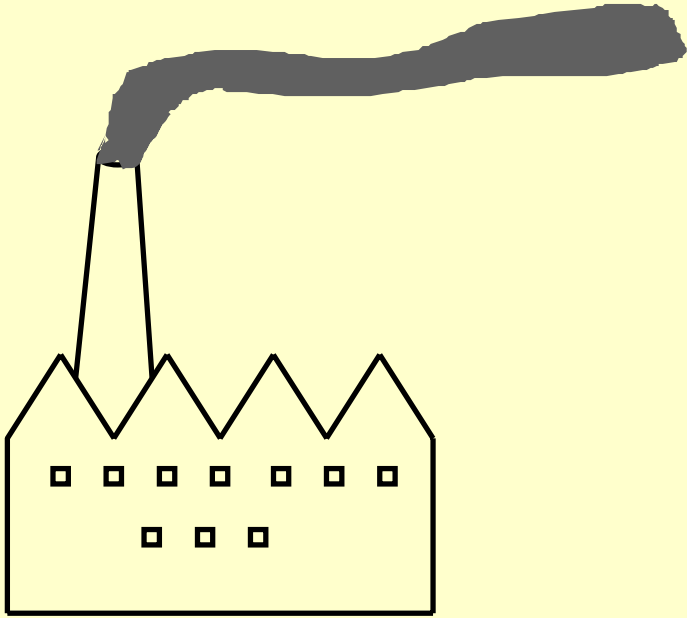
(Acide DésoxyriboNucléique)

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

A.R.N.m

(Acide RiboNucléique messenger)

Ribosome ?



Usine de fabrication des protéines :

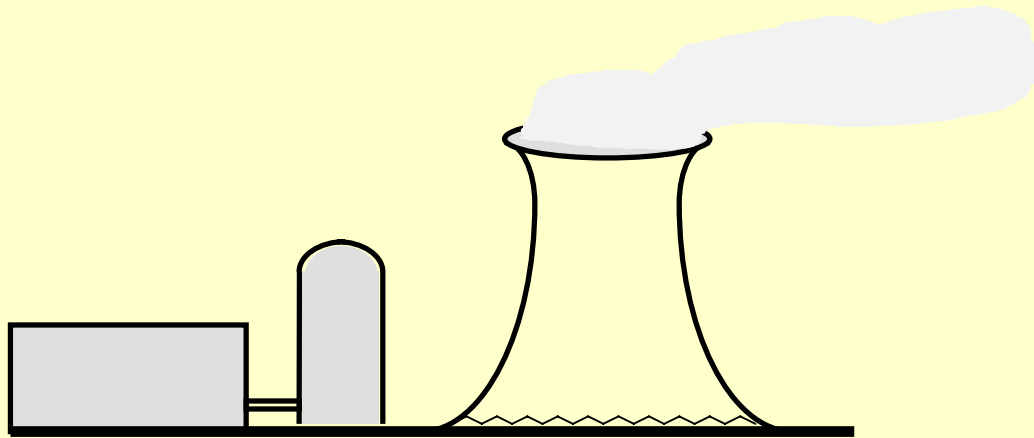
les ribosomes

**Les ribosomes assurent l'assemblage des acides aminés
selon le plan rigoureusement déterminé que leur apporte
l'ARN.**

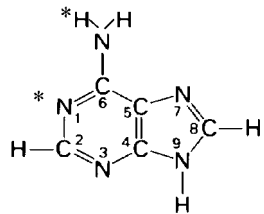
La mitochondrie ?

Ces usines ont besoin d'énergie → centrales énergétiques :

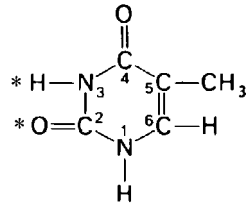
les mitochondries



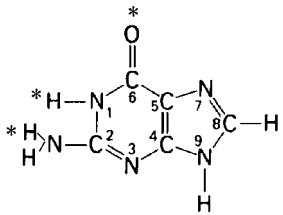
Structure de l'ADN



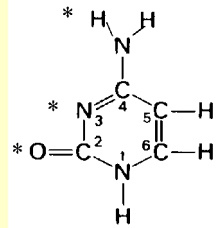
Adénine (A)



Thymine (T)

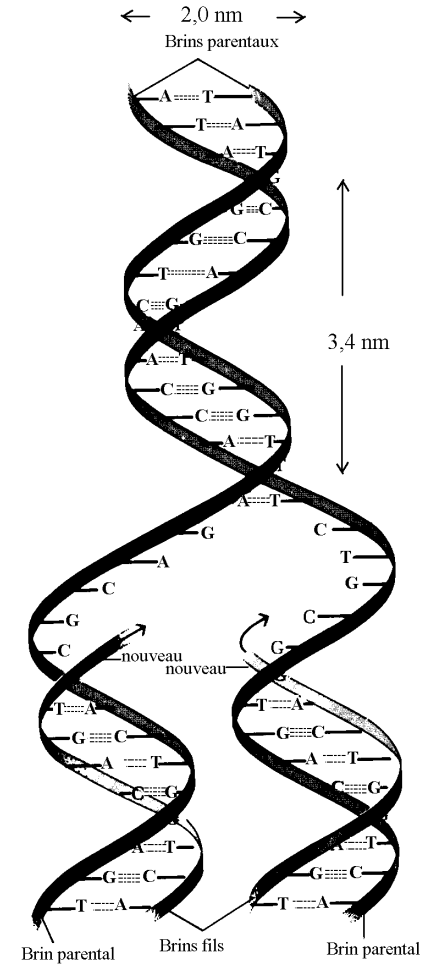
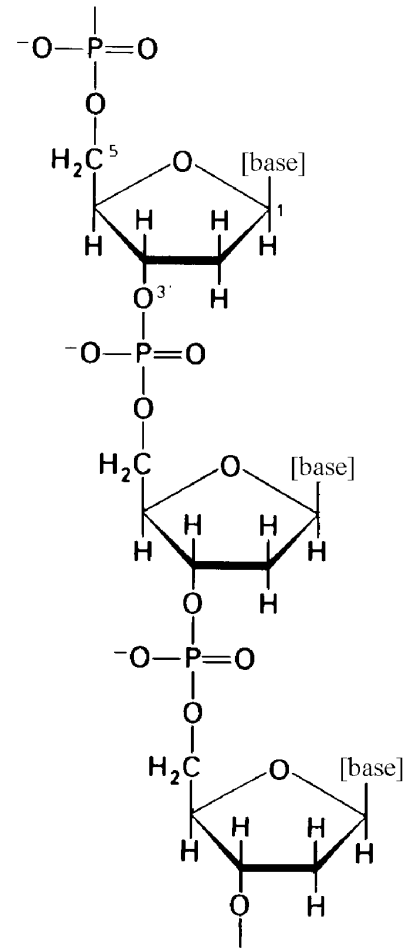


Guanine (G)

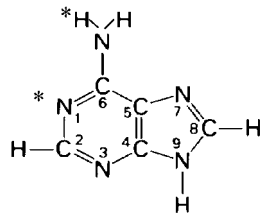


Cytosine (C)

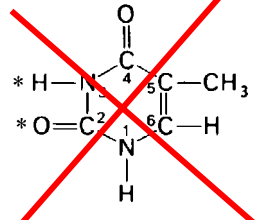
*** Point d'attache**



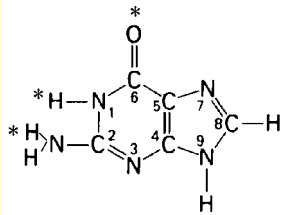
Structure de l'ARNm



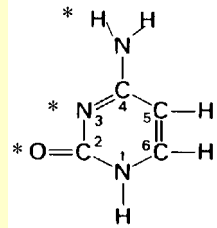
Adénine (A)



Thymine (T)

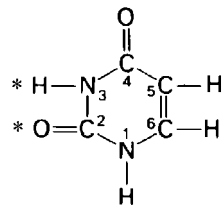


Guanine (G)

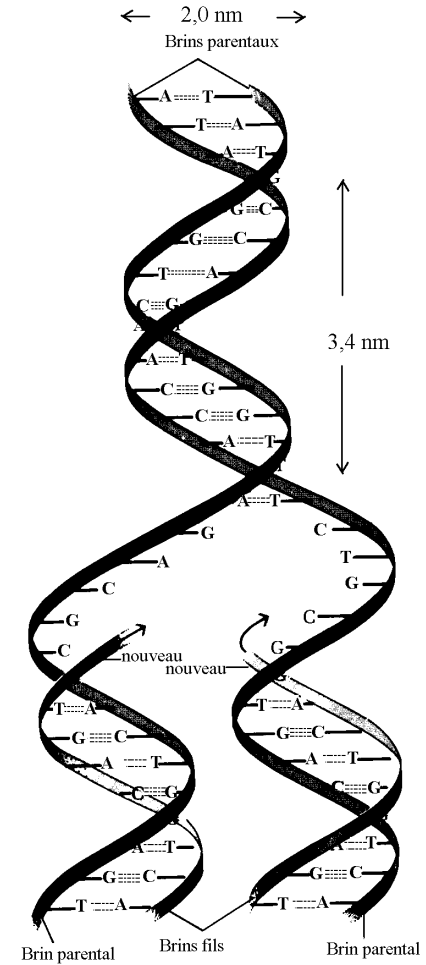
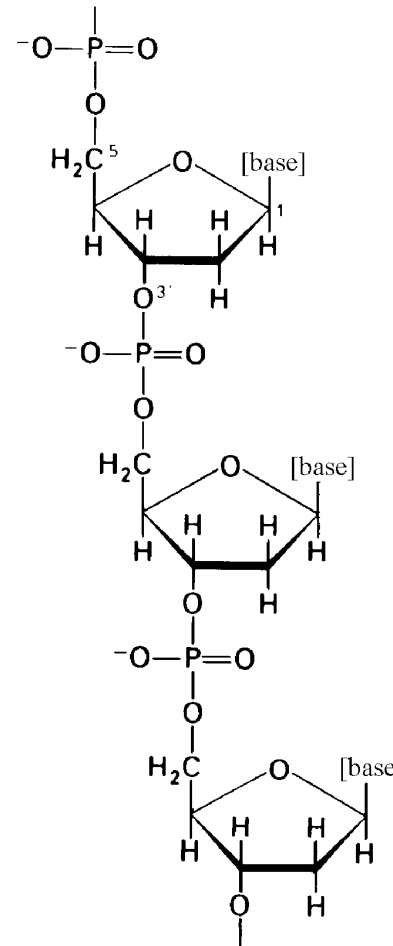


Cytosine (C)

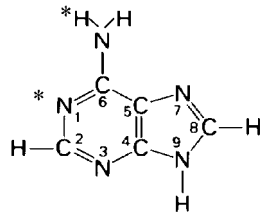
*** Point d'attache**



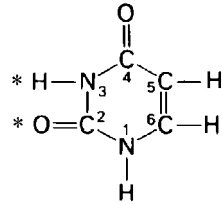
Uracile (U)



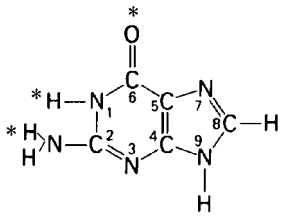
Structure de l'ARNm



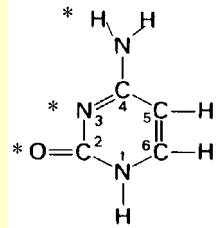
Adénine (A)



Uracile (U)

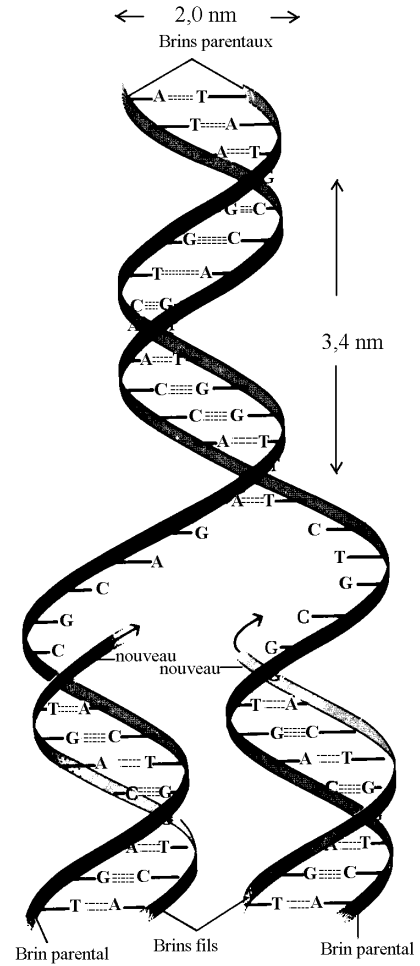
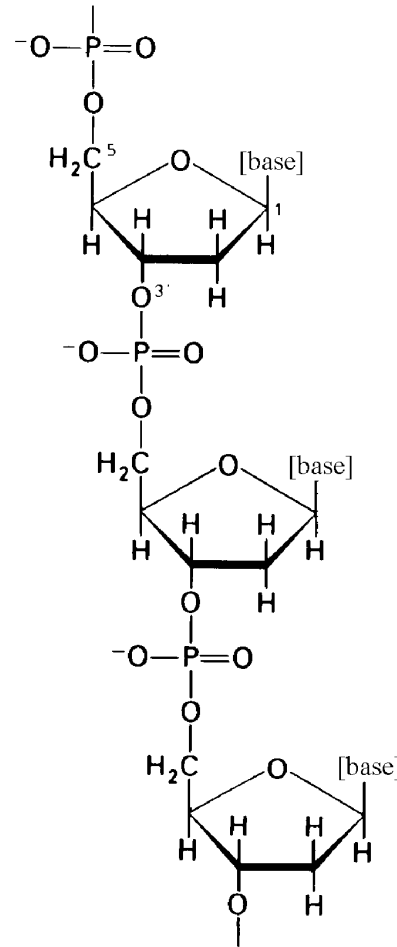


Guanine (G)



Cytosine (C)

*** Point d'attache**



20 acides aminés, fabriqués à partir de mots-codes véhiculés par l'ARN messenger.

Les codons sont constitués par une combinaison de 3 des 4 bases (A T G C) U

⇒ 64 combinaisons possibles pour 20 amino-acides.

Certains peuvent se construire à partir de plusieurs combinaisons :

6	possibilités	pour 3	d'entre eux
4	possibilités	pour 5	d'entre eux
3	possibilités	pour 1	d'entre eux
2	possibilités	pour 9	d'entre eux
1	possibilité	pour 2	d'entre eux dont la

méthionine → départ

restent 3 combinaisons → fin

Professeur Jacques Foos : La radioactivité ou « faut-il avoir peur de la radioactivité ? » : 66



Exemple

ADN

ARN messenger

TAC	CAA	GCA	AGA	ATA	ATG	GGA	AGA	CTT ...
AUG	GUU	CGU	UCU	UAU	UAC	CCU	UCU	GAA ...
Met	Val	Arg	Ser	Tyr	Tyr	Pro	Ser	Glu

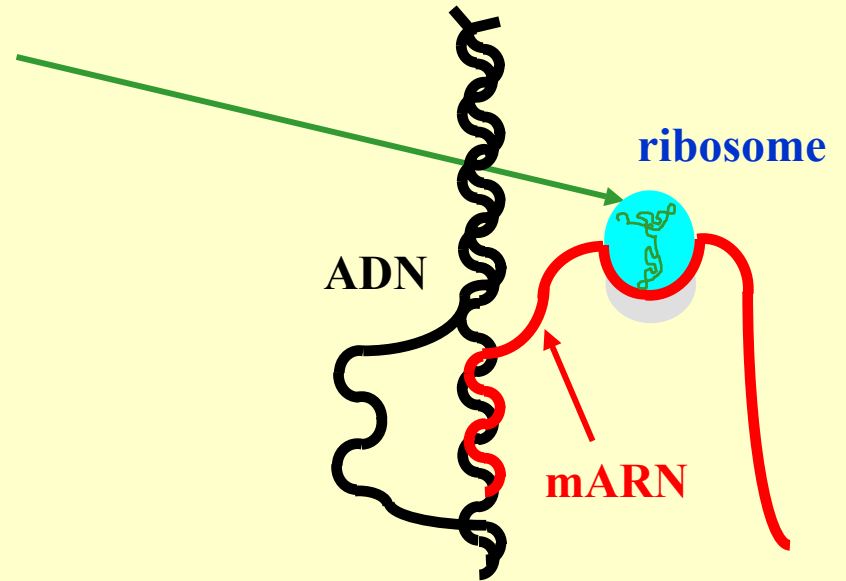
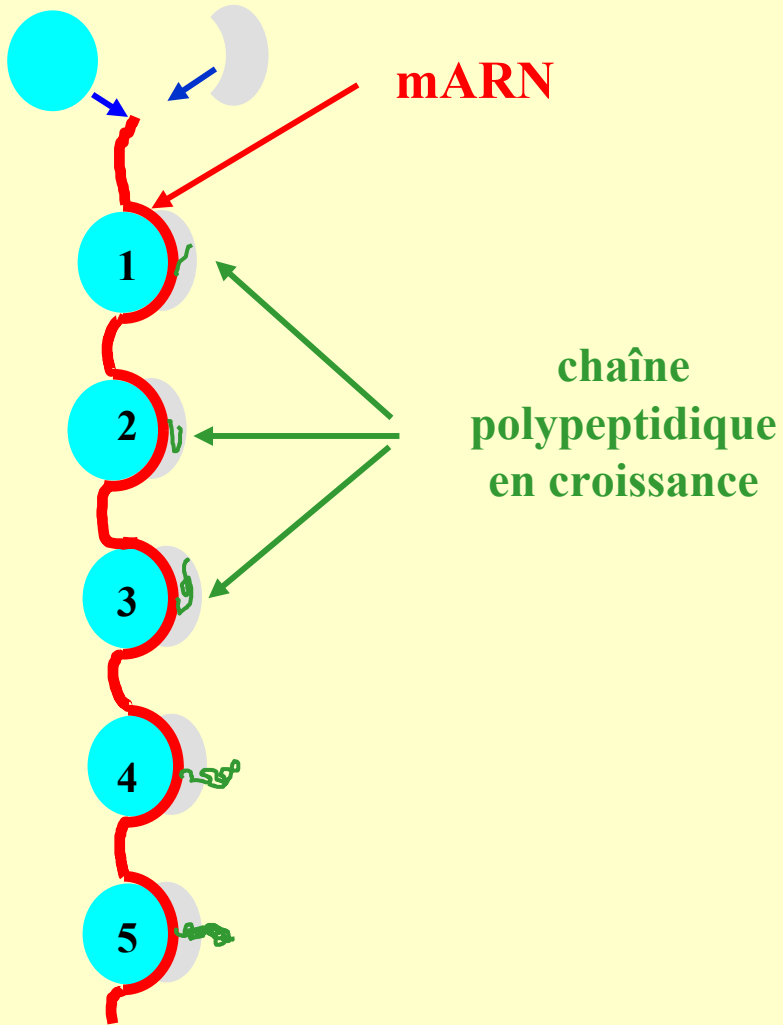
Départ

... TTC	ACC	TGA	CGT	CCA	TTT	ACT
... AAG	UGG	ACU	GCA	GGC	AAA	UGA
Lys	Trp	Thr	Ala	Ala	Lys	FIN

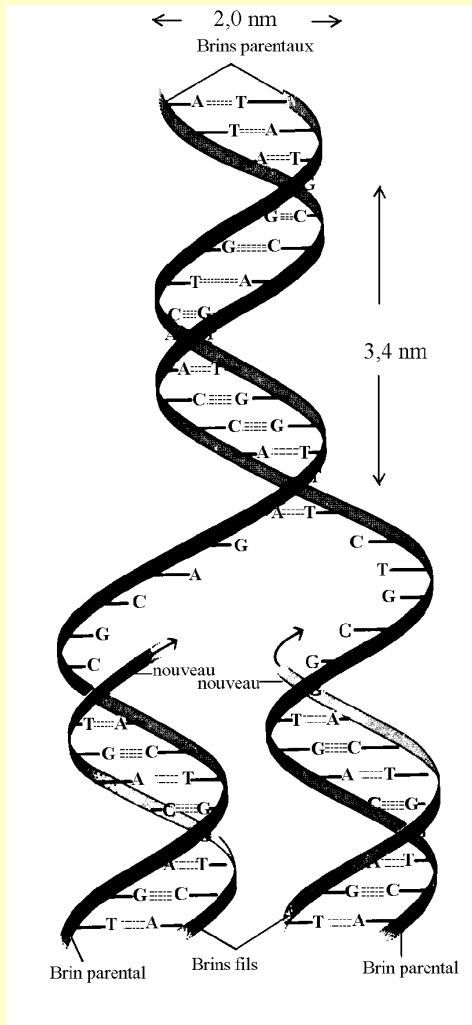
24 milliards de paires de bases pour décrire la séquence en bases des 46 chromosomes d'une cellule humaine.



sous-unités
ribosomales
arrivant



Radiolyse de l'ADN



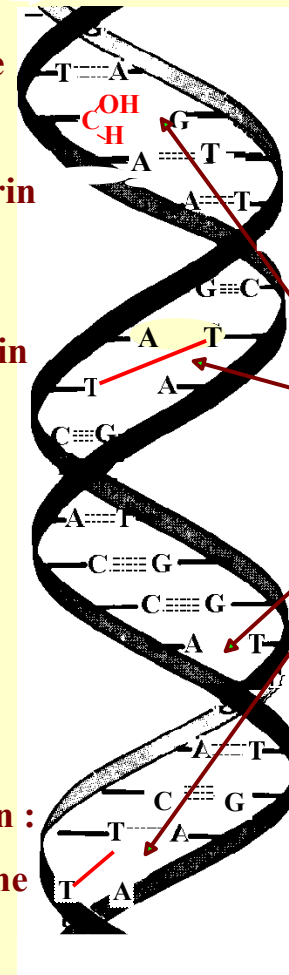
Hydratation de la cytosine

Rupture de brin

Pontage interbrin

Liaisons hydrogène rompues
⇒ ruptures de chaîne

Pontage intrabrin :
dimère de thymine



Effet fonction de la dose

Aux faibles doses : mitoses ralenties

Aux doses moyennes : effets variables

- soit simple inhibition avec ralentissement et arrêt des mitoses
- soit rupture chromosomique
- soit blocage des synthèses biochimiques

Aux fortes doses : accentuation des effets précédents

→ mort cellulaire



Des « chiffres » !

Doses absorbées en une seule fois par irradiation homogène du corps entier.

Entre 0 et 0,25 gray : pas de symptômes pathologiques identifiés en relation avec l'irradiation

De 0,25 à 1 gray : quelques nausées, légères chutes du nombre de globules blancs



Des « chiffres » !

Doses absorbées en une seule fois par irradiation homogène du corps entier .

- De 1 à 1,25 gray** : vomissements, modification nette de la formule sanguine, mais évolution satisfaisante ou guérison complète assurée.
- De 2,25 à 5 grays** : les conséquences pour la santé deviennent graves ; l'hospitalisation est obligatoire ; la dose de 5 grays est mortelle pour 1 personne sur 2
- Au-delà de 5 grays** : décès quasi certain



Ces effets sont appelés « **déterministes** » : le niveau de dose détermine la gravité des effets. La dose absorbée (**exprimée en gray**) est utilisée pour caractériser les effets immédiats consécutifs à de fortes irradiations.

Toutefois, les expositions à des doses importantes de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers ou de leucémies.

Ces effets se manifestent de manière aléatoire. Ils sont appelés effets « **stochastiques** ». La dose absorbée **s'exprime en sievert**. Ainsi :

en irradiation externe et en contamination interne homogène :

1 gray = 1 sievert pour les rayonnements X , γ , β

1 gray = 25 sieverts pour les rayonnements α



Il a été **impossible** de mettre en évidence, chez l'homme, un **excès de cancer** pour des doses **inférieures à 100 mSv**

Les progrès de la radiobiologie ont montré que les cellules ne subissent pas passivement les dommages infligés par l'irradiation mais **se défendent par plusieurs mécanismes**.

Ainsi, les cassures « **simple-brin** » de l'ADN sont réparées avec une demi-vie de 5 minutes. Les cassures « **double-brin** » le sont plus lentement et parfois imparfaitement.



Les cellules ne sont donc ni passives ni isolées quand elles sont irradiées mais elles réagissent vite et efficacement en mettant en jeu des mécanismes de défense adaptés à la dose.

Ces mécanismes dépendent notamment du nombre et de la nature des lésions cellulaires.

Presque le tiers des gènes d'une cellule sont dévolus à ces mécanismes protecteurs !

→ effet hormésis



IRRADIATION ?

L'irradiation est la pénétration d'un rayonnement à l'intérieur de la matière, inerte ou vivante.

En la traversant, le rayonnement va y perdre tout ou partie de son énergie.

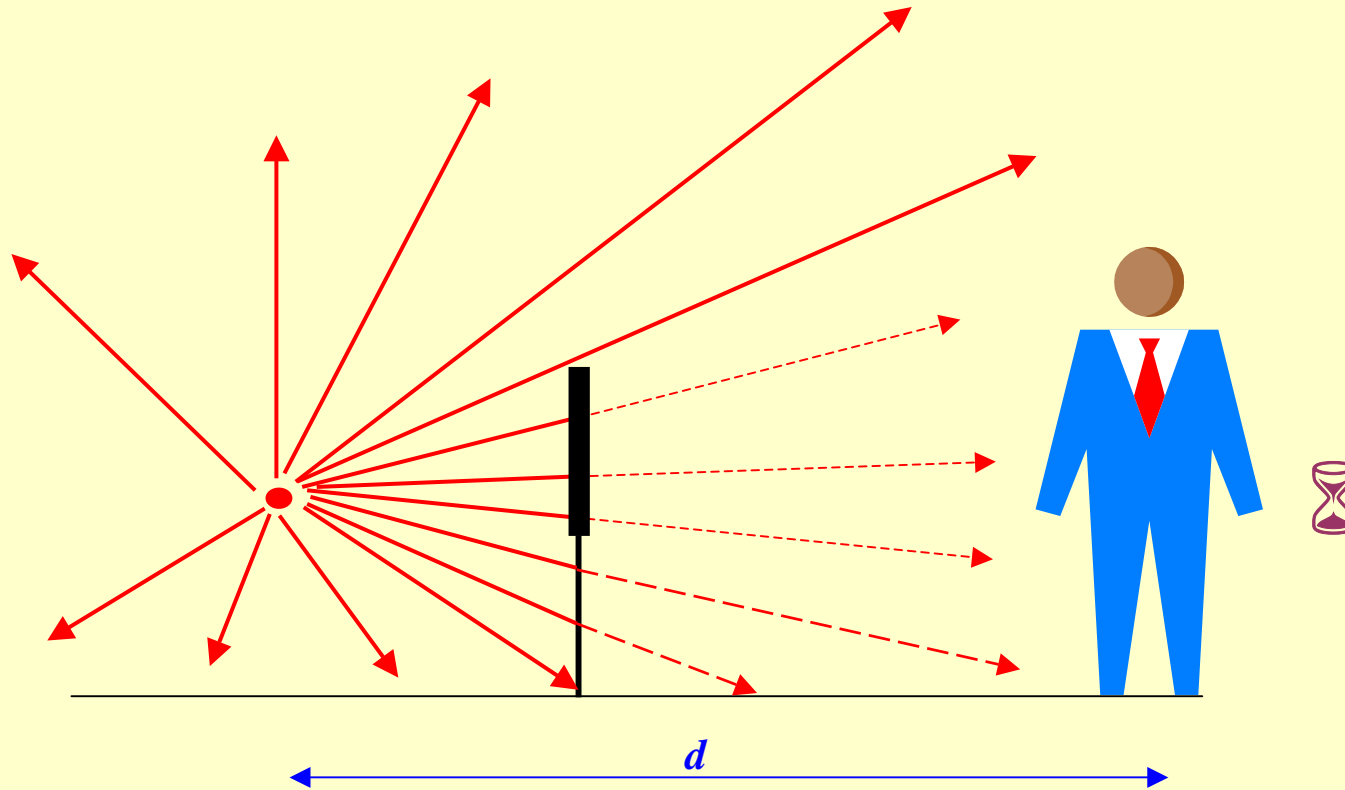
Pour se protéger de l'irradiation, il faut :

- *s'éloigner de la source irradiante*
- *interposer des écrans entre la source et l'objet*
- *diminuer la durée d'irradiation*

Exemple concret : l'effet du soleil sur notre peau



IRRADIATION ?



la dose reçue par l'individu est divisée par 4 (2^2) s'il se trouve à la distance $2d$,

par 9 (3^2) s'il se situe à $3d$, etc.

CONTAMINATION ?

La contamination est le dépôt d'une substance sur un support (inerte ou vivant).

Si la substance est *radioactive*,
la contamination est *radioactive*.

Dans de dernier cas, selon qu'elle concerne l'*extérieur* ou l'*intérieur* du corps humain, elle sera dite *externe* ou *interne*.



CONTAMINATION ?

Cette contamination radioactive est alors suivie d'irradiation** par les rayonnements émis par la substance déposée.**

C'est là que la nature (et donc le parcours dans la matière) des rayonnements (α , β , γ , neutrons) intervient.



CONTAMINATION ?

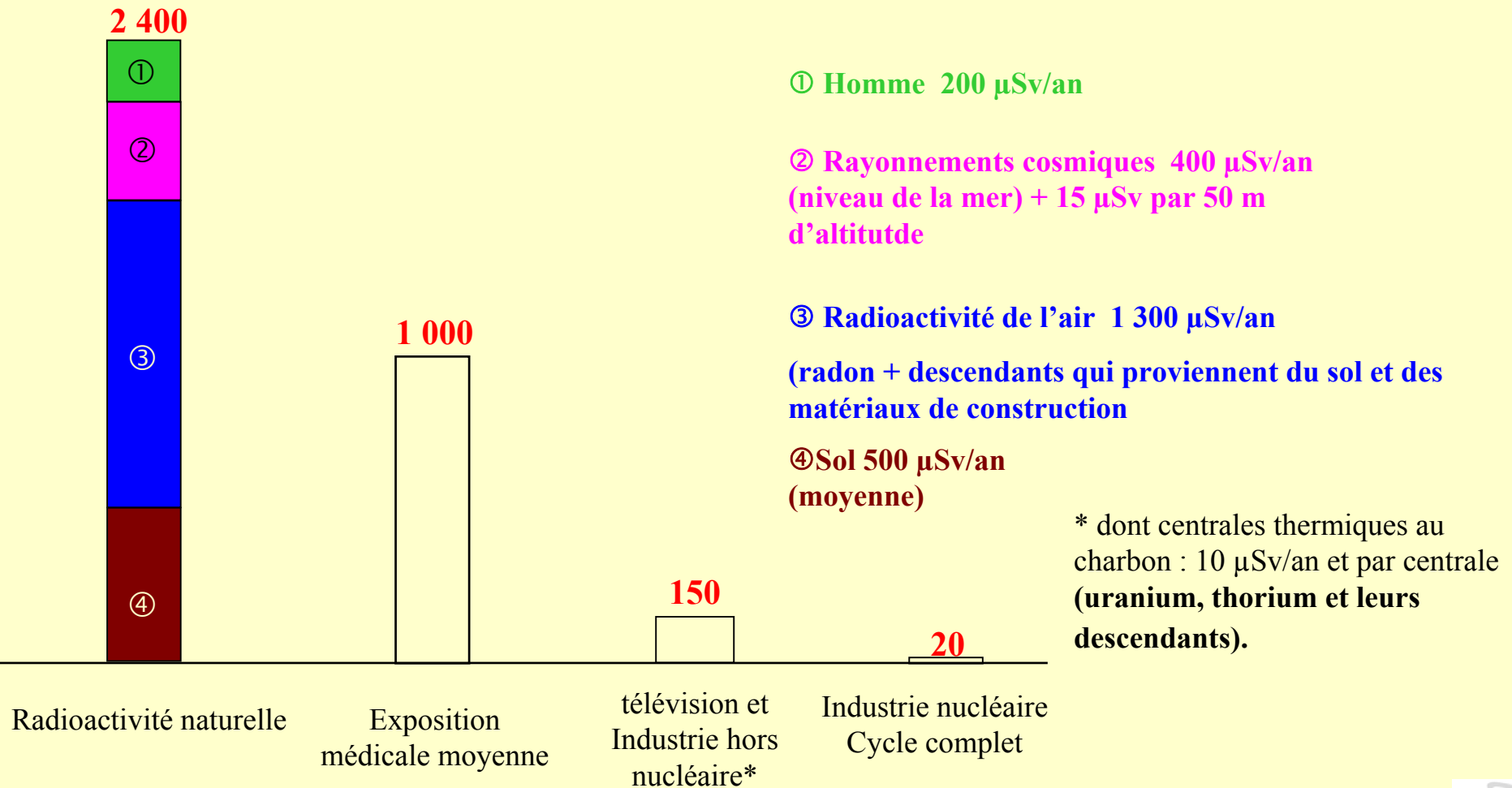
Comment se débarrasser d'une contamination radioactive ?

Si cette contamination est externe, on se trouve dans le même cas qu'un dépôt de poussière ou de peinture sur la peau : un lavage de la partie contaminée, plus ou moins facile selon la nature du dépôt, permet de s'affranchir de cette contamination.

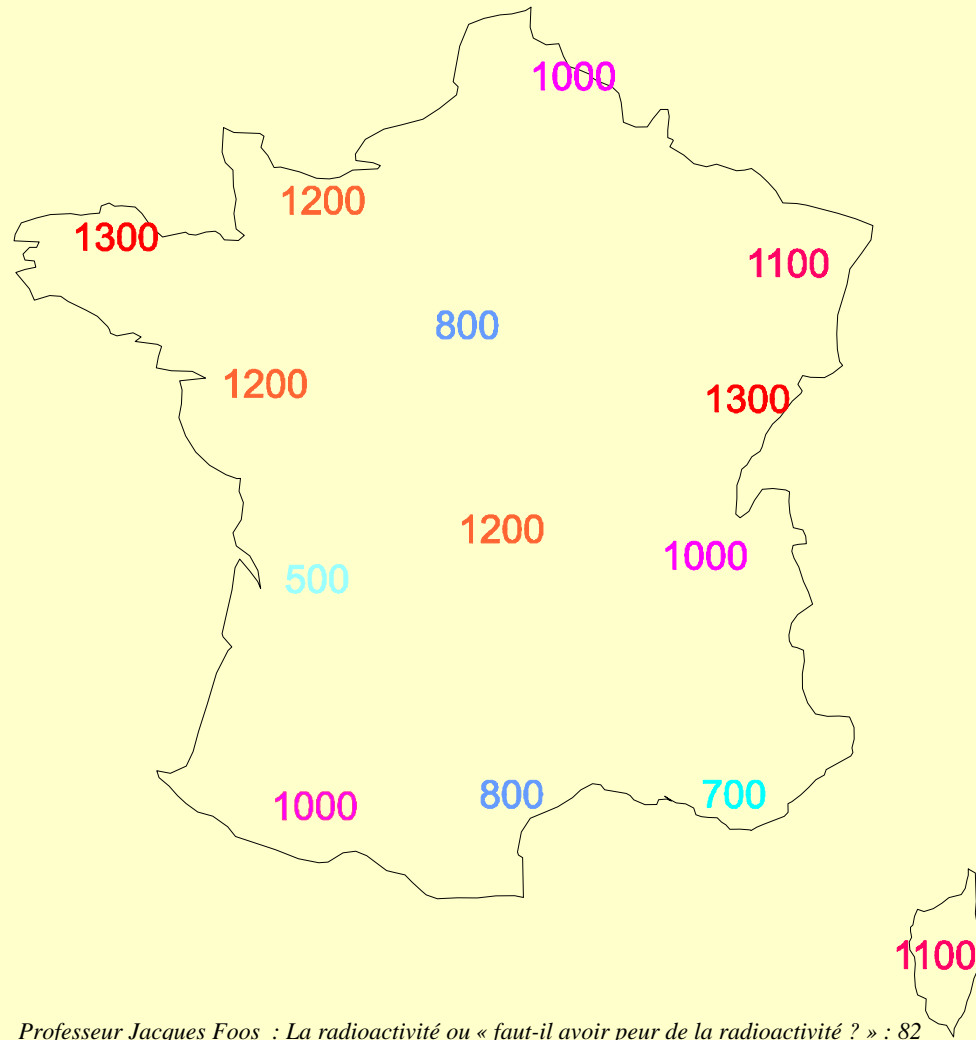
Si elle est interne, la décontamination est plus délicate. On utilise alors des « capteurs chimiques » qui, absorbés par l'organisme, fixent les éléments radioactifs et les éliminent en les entraînant avec eux par les voies naturelles.



SOURCES D'IRRADIATION POUR LES INDIVIDUS en $\mu\text{Sv}/\text{an}$




IRRADIATION EXTERNE TELLURIQUE + COSMIQUE ($\mu\text{Sv}/\text{an}$)



Professeur Jacques Foos : La radioactivité ou « faut-il avoir peur de la radioactivité ? » : 82

SOL DE LA FRANCE sur 1 mètre de profondeur

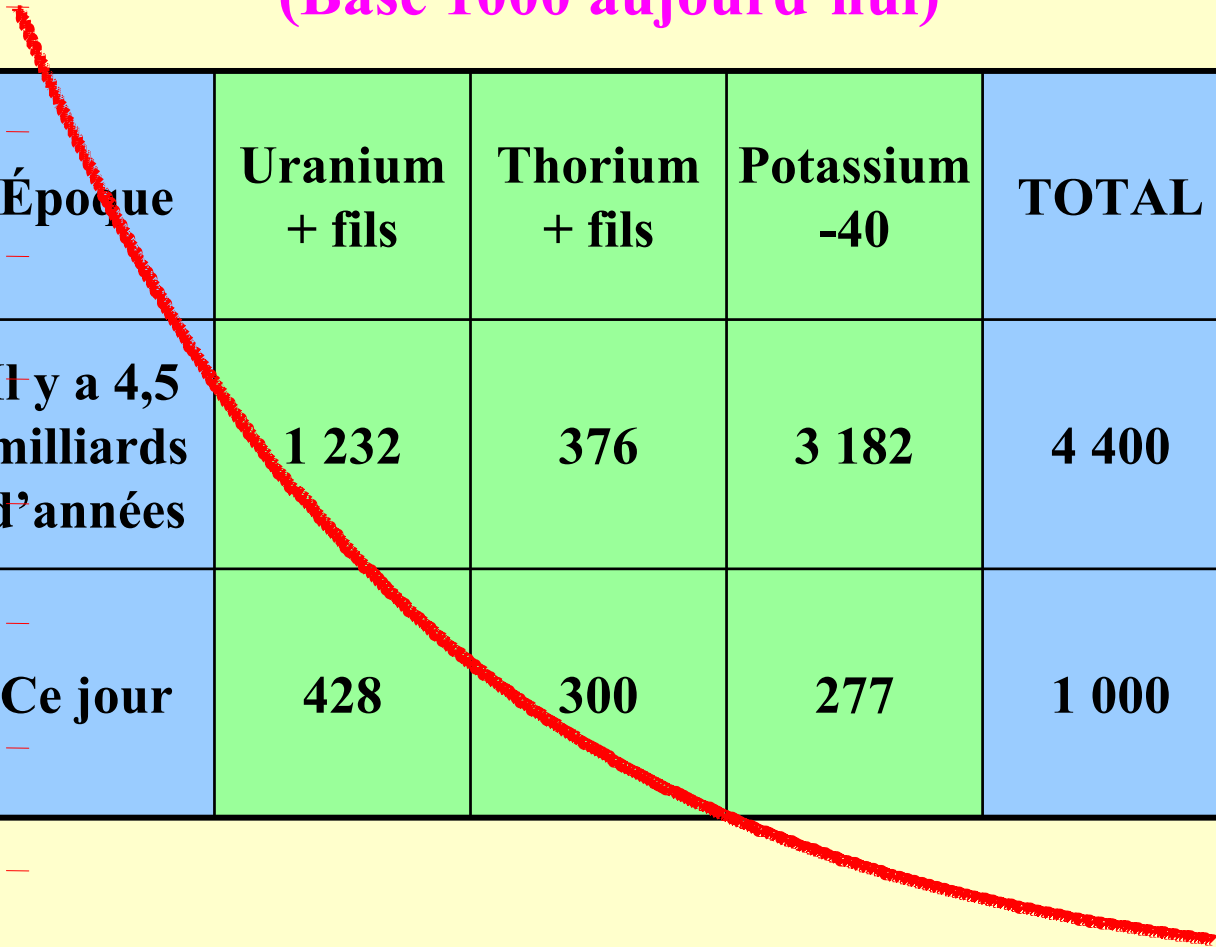


1 million de curies de potassium-40 (37 PBq)
300 000 curies d'uranium (\approx 11 PBq)
300 000 curies de thorium (\approx 11 PBq)
(parmi d'autres !)

1 PBq = 1 million de milliards de becquerels

ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ NATURELLE AVEC LE TEMPS

(Base 1000 aujourd'hui)



Époque	Uranium + fils	Thorium + fils	Potassium -40	TOTAL
Il y a 4,5 milliards d'années	1 232	376	3 182	4 400
Ce jour	428	300	277	1 000

DOSES REÇUES LORS DES VOYAGES EN AVION

	Temps de vol en minutes	Dose par vol en μSv	Dose pour 1 000 h de vol en mSv
Paris-Dublin	95	4,5	2,8
Bruxelles-Athènes	195	9,8	3
Paris-Rio	675	20	2,3
Londres-Toronto	490	50	6,2
Amsterdam-Vancouver	645	70	6,6

Réf : « Santé et rayonnements ionisants »

Novembre 2002

MÉDECINE NUCLÉAIRE ET RADIOLOGIE

Comparaison de la dose efficace (mSv) correspondant à un certain nombre d'examens

RADIOLOGIE	mSv	MEDECINE NUCLEAIRE
scanner abdomen →	20	← cœur Tl-201
scanner thorax →	10	
lavement baryté →		← cerveau Tc-99m HMPAO
urographie →	5	← foie Tc-99m HIDA
transit gastrointestinal →		← cœur Tc-99m MIBI
rachis lombaire 2 clichés →	Irradiation naturelle annuelle	← squelette Tc-99m phosphonate
abdomen →		
	1	← reins Tc-99m MAG3
pelvis →		← poumons Tc-99m microsphères
rachis dorsal 2 clichés →		
	0,5	← thyroïde Tc-99m pertechnetate
		← reins Tc-99m DMSA
		← reins I-123 hippuran
crâne 2 clichés →		
	0,1	← test de Schilling Co-57 vit.B12
thorax 2 clichés →		← clairance Cr-51 EDTA



TRACEURS RADIOACTIFS

- * **médecine**
- * **industrie**
- * **sciences de la terre**
- * **analyse**

périodes courtes

Activités les plus faibles possibles

RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE (1934)

Tc ($Z = 43$ - 1937)

Pm ($Z = 61$ - 1945)

Puis 93 (1940) → 116 (2005)

+ 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 chimiques de l'isotope radioactif (traceur).



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

- *préservation du patrimoine artistique*
- *industrie*
- *agro-alimentaire*

* **Applications thérapeutiques**

- **traitement du cancer**
- **réhabilitation**

* **Aide au diagnostic *in vivo***

➔ **imagerie médicale**

* **Aide au diagnostic *in vitro***

➔ **dosages radio-immunologiques**



Taiwan

* 10 000 personnes

* Pendant 20 ans

* 180 immeubles

* 1 700 appartements

Débits de dose compris entre 20 et 500 mSv/an

➔ Excès de dose moyen pour les 10 000 personnes :
400 mSv (pour quelques uns : 6 000 mSv)



Taiwan

	Naturels (sans excès de dose)	Prédits par les modèles CIPR	Observés
Décès par cancer attendus	217 (dont 4 à 5 leucémies)	287 (217 + 70)	7 (3,2% de 217)
Anomalies héréditaires attendues	46 (toutes maladies congénitales confondues)	64 (46 + 18)	3 (6,5% de 46)