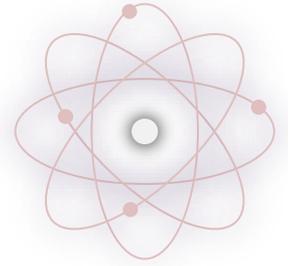


L'énergie nucléaire: Physique & radioprotection

Thierry Bastin



Plan de l'exposé



1. La radioactivité

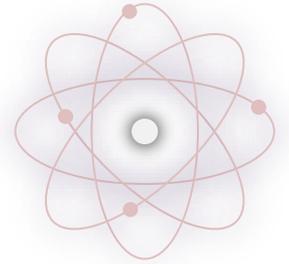


2. La production d'énergie nucléaire :

principes physiques de base



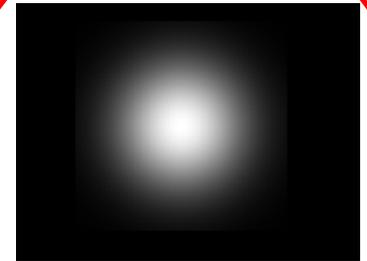
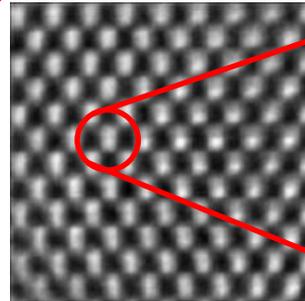
La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

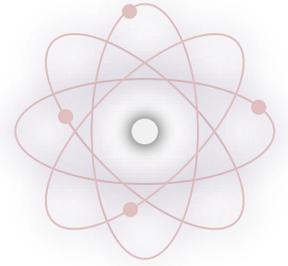


www.webelements.com



0,1 nm =
0,0001 μm =
0,0000001 mm

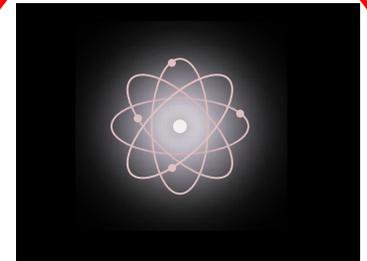
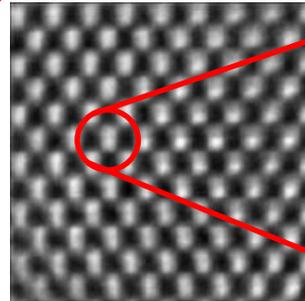
La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

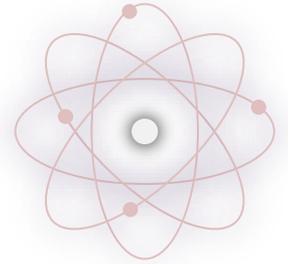


www.webelements.com



0,1 nm =
0,0001 μm =
0,0000001 mm

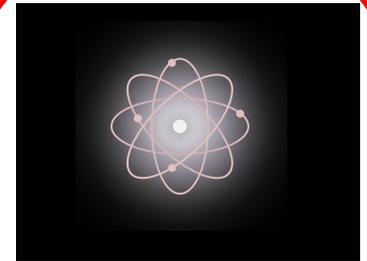
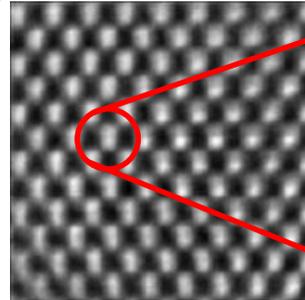
La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

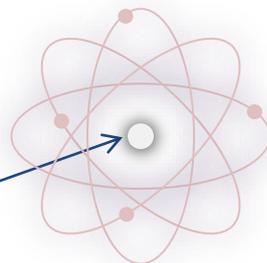


www.webelements.com



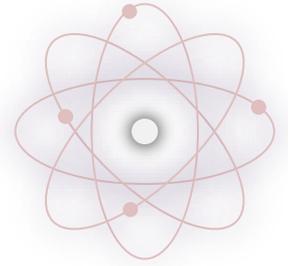
0,1 nm =
0,0001 μm =
0,0000001 mm

Noyau de l'atome
(0,000001 nm, chargé +)



Electrons
(chargés -)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

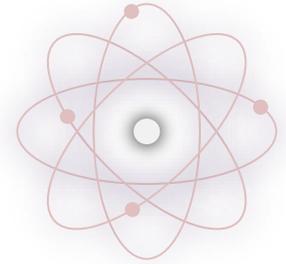
Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	H
Carbone	C
Potassium	K
Iode	I
Césium	Cs

Nom	Symbole
Plomb	Pb
Radon	Rn
Radium	Ra
Uranium	U
Plutonium	Pu



La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Une centaine d'éléments :

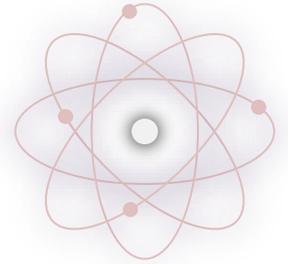
TABLEAU PERIODIQUE DES ELEMENTS

<http://www.periodni.com>

1S IIA																		1S VIIIA																													
1																		2																													
H 1.0079 HYDROGENE																		He 4.0026 HELIUM																													
2 IIA																1S IIIA 14 IVA 15 VA 16 VIA 17 VIIA																															
3 6.941 Li LITHIUM		4 9.0122 Be BERYLLIUM																5 10.811 B BORE		6 12.011 C CARBONE		7 14.007 N AZOTE		8 15.999 O OXYGENE		9 18.998 F FLUOR		10 20.180 Ne NEON																			
11 22.990 Na SODIUM		12 24.305 Mg MAGNESIUM																13 26.982 Al ALUMINIUM		14 28.086 Si SILICIUM		15 30.974 P PHOSPHORE		16 32.065 S SOUFRE		17 35.453 Cl CHLORE		18 39.948 Ar ARGON																			
19 39.098 K POTASSIUM		20 40.078 Ca CALCIUM		21 44.956 Sc SCANDIUM		22 47.867 Ti TITANE		23 50.942 V VANADIUM		24 51.996 Cr CHROME		25 54.938 Mn MANGANESE		26 55.845 Fe FER		27 58.933 Co COBALT		28 58.693 Ni NICKEL		29 63.546 Cu CUIVRE		30 65.38 Zn ZINC		31 69.723 Ga GALLIUM		32 72.64 Ge GERMANIUM		33 74.922 As ARSENIC		34 78.96 Se SELENIUM		35 79.904 Br BROME		36 83.798 Kr KRYPTON													
37 85.468 Rb RUBIDIUM		38 87.62 Sr STRONTIUM		39 88.906 Y YTTRIUM		40 91.224 Zr ZIRCONIUM		41 92.906 Nb NIOBIUM		42 95.94 Mo MOLYBDENE		43 (98) Tc TECHNETIUM		44 101.07 Ru RUTHENIUM		45 102.91 Rh RHODIUM		46 106.42 Pd PALLADIUM		47 107.87 Ag ARGENT		48 112.41 Cd CADMIUM		49 114.82 In INDIUM		50 118.71 Sn ETAIN		51 121.76 Sb ANTIMOINE		52 127.60 Te TELLOURE		53 126.90 I IODE		54 131.29 Xe XENON													
55 132.91 Cs CESIUM		56 137.33 Ba BARYUM		57-71 La-Lu Lanthanides		72 178.49 Hf HAFNIUM		73 180.95 Ta TANTALE		74 183.84 W TUNGSTENE		75 186.21 Re RHENIUM		76 190.23 Os OSMIUM		77 192.22 Ir IRIDIUM		78 195.08 Pt PLATINE		79 196.97 Au OR		80 200.59 Hg MERCURE		81 204.38 Tl THALLIUM		82 207.2 Pb PLOMB		83 208.98 Bi BISMUTH		84 (209) Po POLONIUM		85 (210) At ASTATE		86 (222) Rn RADON													
87 (223) Fr FRANCIUM		88 (226) Ra RADIUM		89-103 Ac-Lr Actinides		104 (267) Rf RUTHERFORDIUM		105 (268) Db DUBNIUM		106 (271) Sg SEABORGIUM		107 (272) Bh BOHRIUM		108 (277) Hs HASSIUM		109 (276) Mt MEITNERIUM		110 (281) Ds DARMSTADIUM		111 (280) Rg ROENTGENIUM		112 (285) Cn COPERNICIUM																									
LANTEANIDES																		57 138.91 La LANTHANE		58 140.12 Ce CERIUM		59 140.91 Pr PRASEODYME		60 144.24 Nd NEODYME		61 (145) Pm PROMETHIUM		62 150.36 Sm SAMARIUM		63 151.96 Eu EUROPIUM		64 157.25 Gd GADOLINIUM		65 158.93 Tb TERBIUM		66 162.50 Dy DYSPROSIUM		67 164.93 Ho HOLMIUM		68 167.26 Er ERBIUM		69 168.93 Tm THULIUM		70 173.05 Yb YTTERIUM		71 174.97 Lu LUTETIUM	
ACTINIDES																		89 (227) Ac ACTINIUM		90 232.04 Th THORIUM		91 231.04 Pa PROTACTINIUM		92 238.03 U URANIUM		93 (237) Np NEPTUNIUM		94 (244) Pu PLUTONIUM		95 (243) Am AMERICIUM		96 (247) Cm CURIUM		97 (247) Bk BERKELIUM		98 (251) Cf CALIFORNIUM		99 (252) Es EINSTEINIUM		100 (257) Fm FERMIUM		101 (258) Md MENDELEVIUM		102 (259) No NOBELIUM		103 (262) Lr LAWRENCIUM	

Copyright © 2010 Bart Genaers

La radioactivité

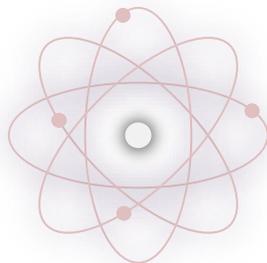


- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

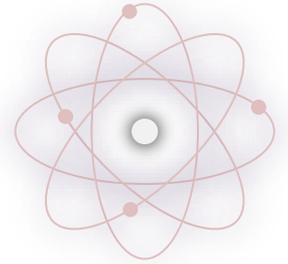
Nom	Symbole
Hydrogène	H
Carbone	C
Potassium	K
Iode	I
Césium	Cs

Nom	Symbole
Plomb	Pb
Radon	Rn
Radium	Ra
Uranium	U
Plutonium	Pu



Les atomes se distinguent entre eux par le nombre d'électrons (nombre Z)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	H
Carbone	C
Potassium	K
Iode	I
Césium	Cs

Nom	Symbole
Plomb	Pb
Radon	Rn
Radium	Ra
Uranium	U
Plutonium	Pu

- Tous les atomes d'une même sorte ne sont pas les mêmes ...

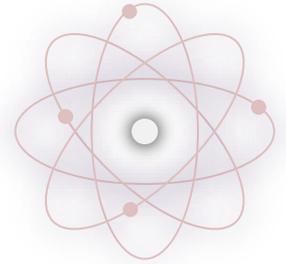
Plusieurs types d'atomes

d'hydrogène : ^1H , ^2H , ^3H

de carbone : ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...

-> isotopes
(noyaux différents)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Tous les atomes d'une même sorte ne sont pas les mêmes ...

Plusieurs types d'atomes

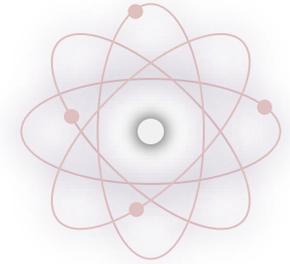
d'hydrogène : ^1H , ^2H , ^3H

de carbone : ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...

-> isotopes

(noyaux différents)

La radioactivité

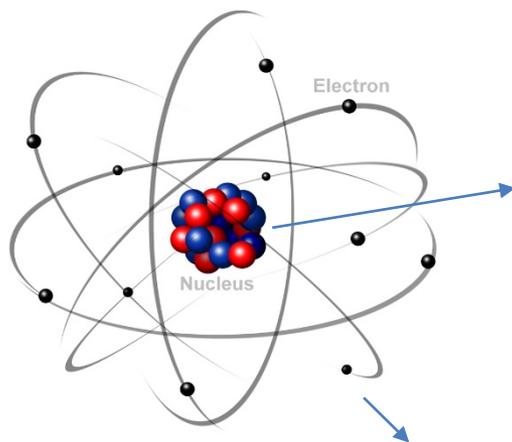


- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...



Noyau:
 • Protons (+)
 • Neutrons

Electron (-)

Protons = # électrons = nombre Z

Protons & neutrons = nucléons

nucléons = nombre de masse A

Z -> type d'atome X

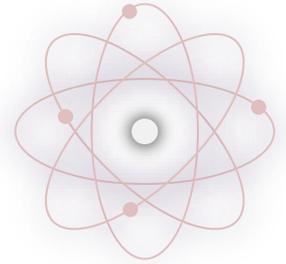
A -> type d'isotope



Atomes \neq -> # protons \neq

Isotopes \neq -> # neutrons \neq

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Tous les atomes d'une même sorte ne sont pas les mêmes ...

Plusieurs types d'atomes

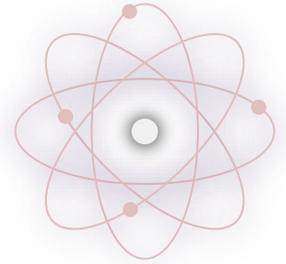
d'hydrogène : ^1H , ^2H , ^3H

de carbone : ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...

-> isotopes

(noyaux différents)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

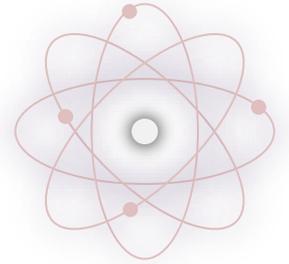
Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Tous les atomes sont
 - soit stables (immuables au cours du temps)
 - soit instables (se transforment au cours du temps)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

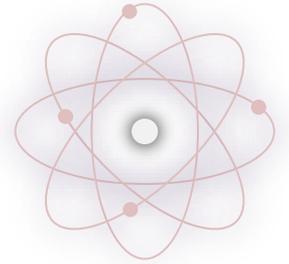
Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Tous les atomes sont
 - soit stables (immuables au cours du temps)
 - soit instables (se transforment au cours du temps)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

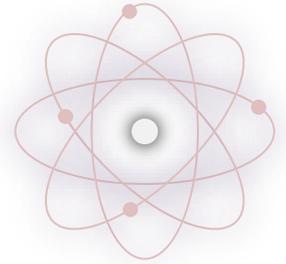
Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Tous les atomes sont
 - soit stables (immuables au cours du temps)
 - soit instables (se transforment au cours du temps)

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

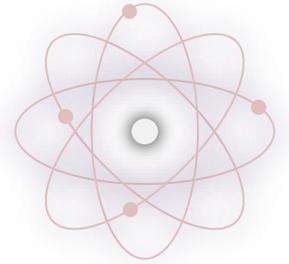
Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

- Les atomes **instables** sont appelés **RADIOACTIFS**

!! C'est là que les problèmes commencent !!

En se transformant : les atomes instables émettent du rayonnement ... néfaste

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I , ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs , ...

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{210}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...

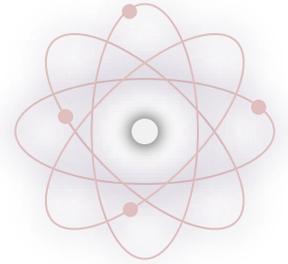
- 3 types de rayonnement émis par les atomes **RADIOACTIFS**

α , β , γ

Rayonnement issu du noyau des atomes, quand ils se transforment

On parle de désintégration radioactive du noyau

La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ (β)
Carbone	${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$ (β), ...
Potassium	${}^{39}\text{K}$, ${}^{40}\text{K}$ (β , γ), ${}^{41}\text{K}$, ...
Iode	${}^{127}\text{I}$, ${}^{131}\text{I}$ (β , γ), ...
Césium	${}^{133}\text{Cs}$, ${}^{137}\text{Cs}$ (β , γ), ...

Nom	Symbole
Plomb	${}^{206}\text{Pb}$, ${}^{210}\text{Pb}$ (β , γ), ...
Radon	${}^{222}\text{Rn}$ (α), ...
Radium	${}^{226}\text{Ra}$ (α), ...
Uranium	${}^{235}\text{U}$ (α), ${}^{238}\text{U}$ (α), ...
Plutonium	${}^{239}\text{Pu}$ (α), ${}^{241}\text{Pu}$ (β), ...

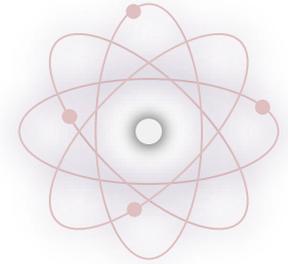
- 3 types de rayonnement émis par les atomes **RADIOACTIFS**

α , β , γ

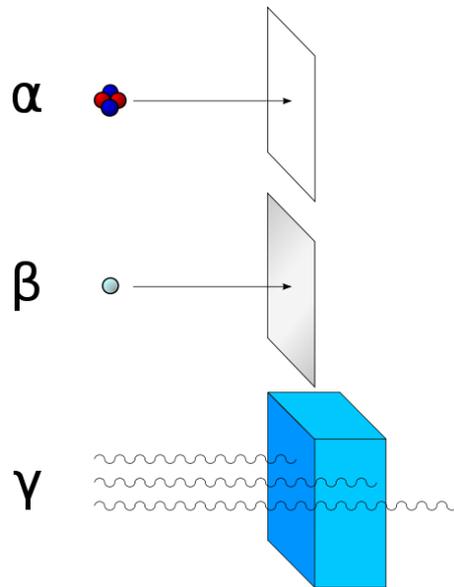
Rayonnement issu du noyau des atomes, **quand** ils se transforment

On parle de désintégration radioactive du noyau

La radioactivité



- Les rayonnements α , β , γ



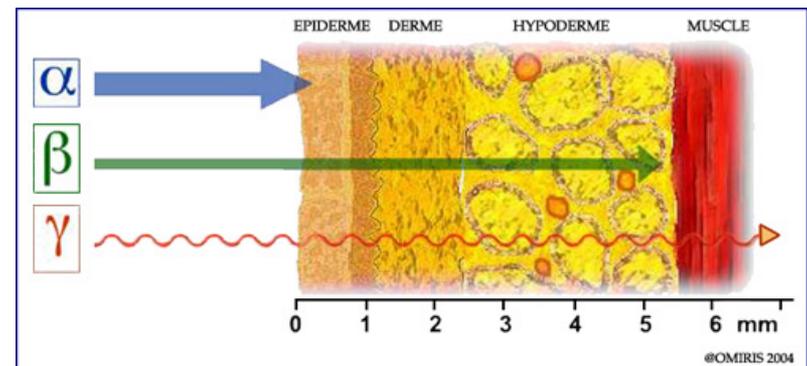
Une feuille de papier les arrête

Une plaque métallique les arrête

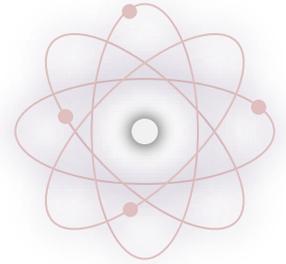
Un bloc de béton les atténue

Figure wikipedia

Rayonnements α : protection la plus facile, mais ce sont les plus dangereux pour la santé car ils ont un grand pouvoir de destruction des cellules (si irradiation interne)



La radioactivité



- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

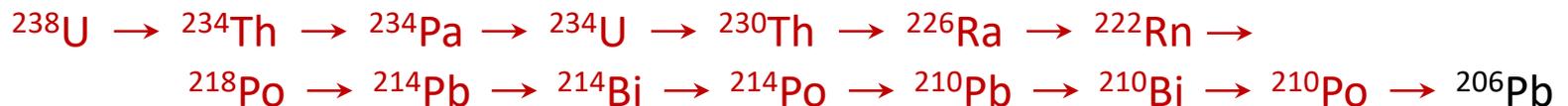
Ils ont tous un nom et un symbole :

Nom	Symbole
Hydrogène	^1H , ^2H , ^3H (β)
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C (β), ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K (β , γ), ^{41}K , ...
Iode	^{127}I , ^{131}I (β , γ), ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs (β , γ), ...

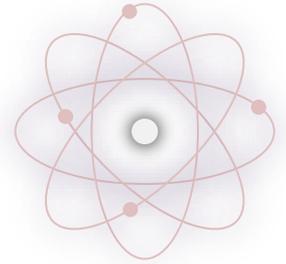
Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{210}Pb (β , γ), ...
Radon	^{222}Rn (α), ...
Radium	^{226}Ra (α), ...
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

- Que deviennent les atomes **instables (radioactifs)** ?

D'autres atomes, stables ou ... **instables (radioactifs)**



La radioactivité



- L'activité des atomes RADIOACTIFS

Tout échantillon de matière peut contenir des atomes radioactifs

- si oui -> substance radioactive
- si non -> substance inerte

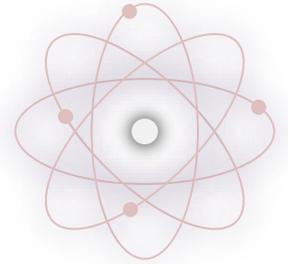
Substances radioactives

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ...
Radon	^{220}Rn , ^{222}Rn , ...
Radium	^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ...
Uranium	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ...
Plutonium	^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ...



www.webelements.com

La radioactivité



- L'activité des atomes RADIOACTIFS

Dans une substance radioactive,

des atomes radioactifs se transforment (« se désintègrent ») en permanence



Activité de la substance (en Becquerel - Bq)

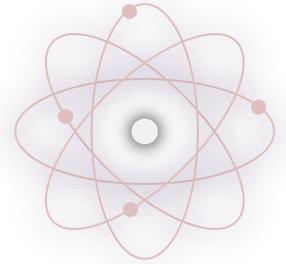
=

Nombre de désintégrations par seconde

Exemples :

- 1 g de radium pur : 37 milliards de Bq = 37 GBq
- 1 g d' ^{238}U : 12320 Bq, 1 g d' ^{235}U : 77700 Bq, 1 g de ^{239}Pu : 2.3 GBq
- 1 être humain (adulte) : 8000 Bq (provient du ^{14}C et ^{40}K (0.01%))
- 1 litre d'eau potable : 20 Bq

La radioactivité



- L'activité des atomes RADIOACTIFS

Dans une substance radioactive,

des atomes radioactifs se transforment (« se désintègrent ») en permanence



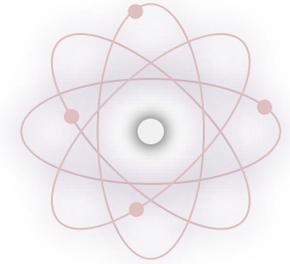
- On ne sait jamais quand un atome donné se transforme
- Au bout d'un certain temps T , la moitié des atomes radioactifs s'est transformée

Ce temps T = demi-vie de l'atome radioactif

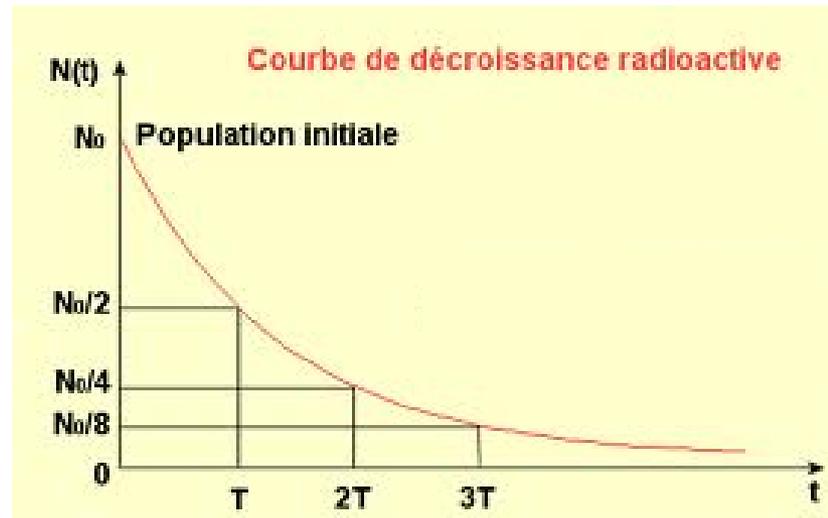
Nom	Symbole (demi-vie T)
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C (5720 a), ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K (1.3 milliards a), ...
Iode	^{127}I , ^{131}I (8 j), ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs (30 a), ...

Nom	Symbole (demi-vie T)
Radon	^{220}Rn (56 s), ^{222}Rn (3.8 j), ...
Radium	^{226}Ra (1600 a), ^{228}Ra (5.8 a), ...
Uranium	^{238}U (4.5 milliards a), ...
Plutonium	^{239}Pu (24110 a), ...

La radioactivité



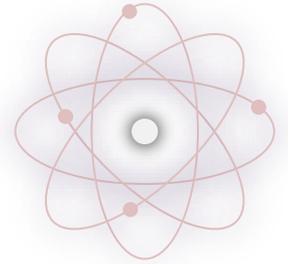
- L'activité des atomes RADIOACTIFS



Nom	Symbole (demi-vie T)
Carbone	^{12}C , ^{13}C , ^{14}C (5720 a), ...
Potassium	^{39}K , ^{40}K (1.3 milliards a), ...
Iode	^{127}I , ^{131}I (8 j), ...
Césium	^{133}Cs , ^{137}Cs (30 a), ...

Nom	Symbole (demi-vie T)
Radon	^{220}Rn (56 s), ^{222}Rn (3.8 j), ...
Radium	^{226}Ra (1600 a), ^{228}Ra (5.8 a), ...
Uranium	^{238}U (4.5 milliards a), ...
Plutonium	^{239}Pu (24110 a), ...

La radioactivité



- Radioactivité naturelle et artificielle

- Les atomes radioactifs sont présents partout (depuis toujours).

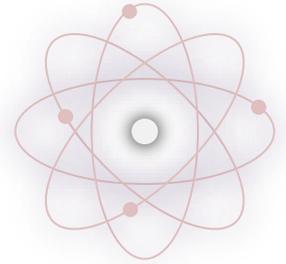
Radioactivité naturelle

- Sol : typiquement 1 million de Bq/m³ (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U, ²²²Rn)
- Mer : 12000 Bq/m³
- Nourriture : 100 à 200 Bq/kg
- Air : 1 à 100 Bq /m³ (²²²Rn), parfois bcq plus dans les caves mal ventilées
- 1 être humain (adulte) : 8000 Bq

- Les activités humaines génèrent des éléments radioactifs
(centrales nucléaires, bombes atomiques,
activités scientifiques, ...)

Radioactivité artificielle

La radioactivité



- Contamination \neq Irradiation, exposition

- **Contamination** = accumulation d'éléments radioactifs au-delà des valeurs naturelles

Ex : • Contamination des sols, maisons, vêtements, corps, aliments, ...
par les retombées de poussières radioactives dans l'environnement suite

- aux essais nucléaires atmosphériques

- à des accidents de centrales nucléaires (Tchernobyl, Fukushima, ...)

- Contamination de l'air par le radon (si $> 400 \text{ Bq/m}^3$)

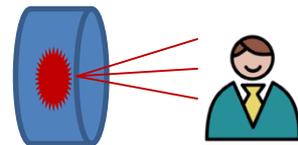
- **Irradiation, exposition** =

Exposition aux rayonnements α , β , γ issus des éléments radioactifs

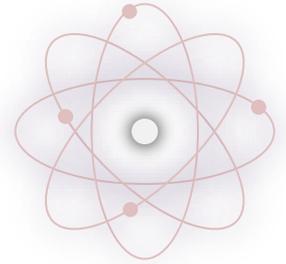
Ex : • Exposition naturelle, médicale, dans des endroits contaminés

- Exposition par contamination (externe ou interne)

On peut être irradié SANS être contaminé :



La radioactivité



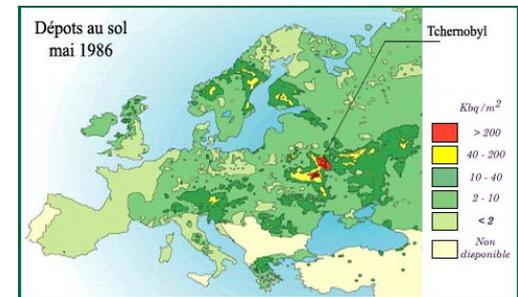
- Contamination \neq Irradiation, exposition

- **Contamination** = accumulation d'éléments radioactifs au-delà des valeurs naturelles

Mesure :

- Contamination des sols: en Bq/m², ou en Bq/kg
- Contamination de l'air: en Bq/m³

Contamination ¹³⁷Cs - Tchernobyl



www.laradioactivite.com

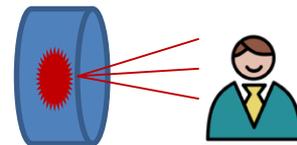
- **Irradiation, exposition** =

Exposition aux rayonnements α , β , γ issus des éléments radioactifs

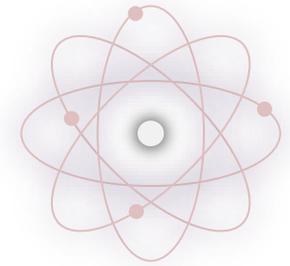
Mesure :

En quantité de rayonnement nous traversant et occasionnant des dégâts en nous:

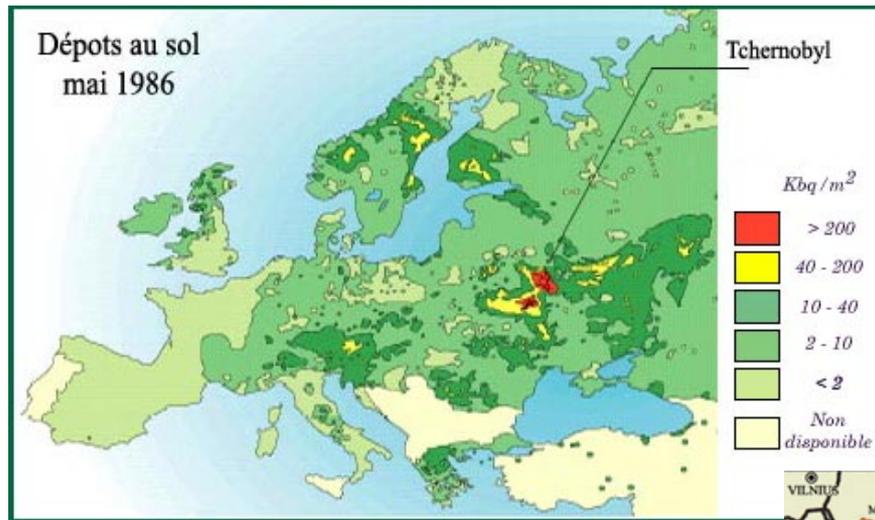
en Sievert – Sv (= unité de **dose**)



La radioactivité



- Contamination en ^{137}Cs suite à Tchernobyl



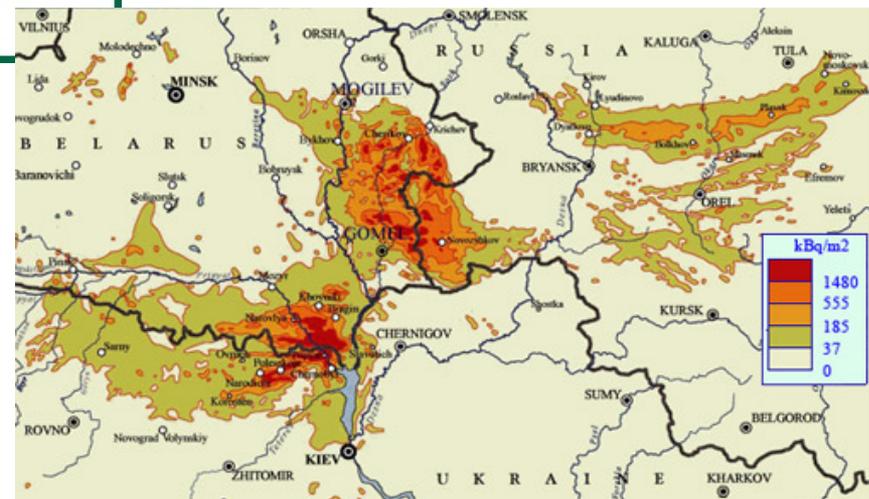
www.laradioactivite.com

Au total:

85 millions GBq dispersés
en ^{137}Cs

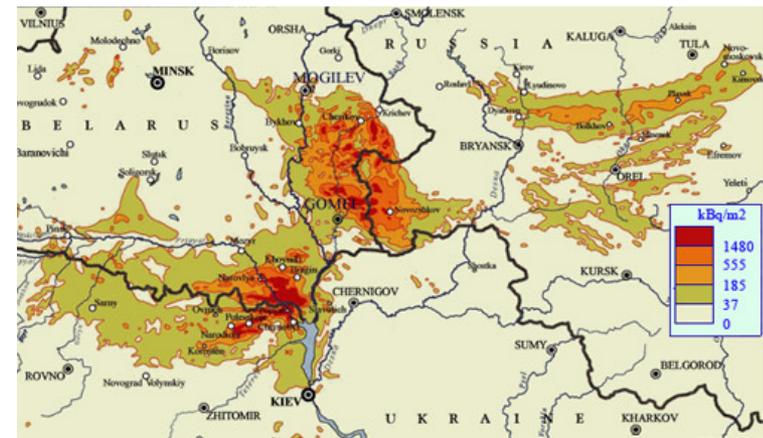
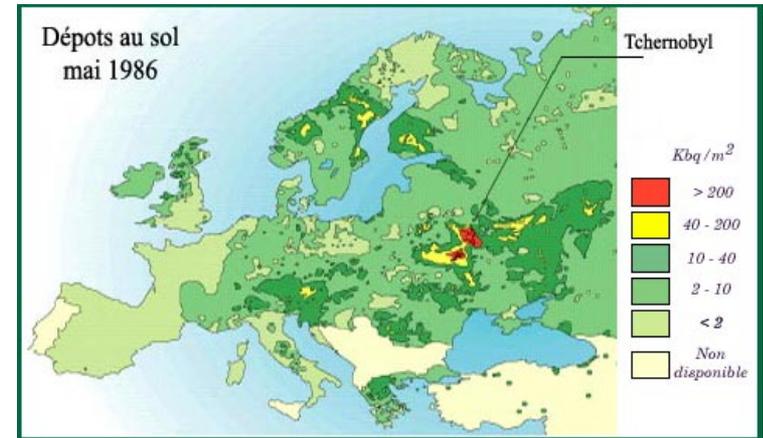
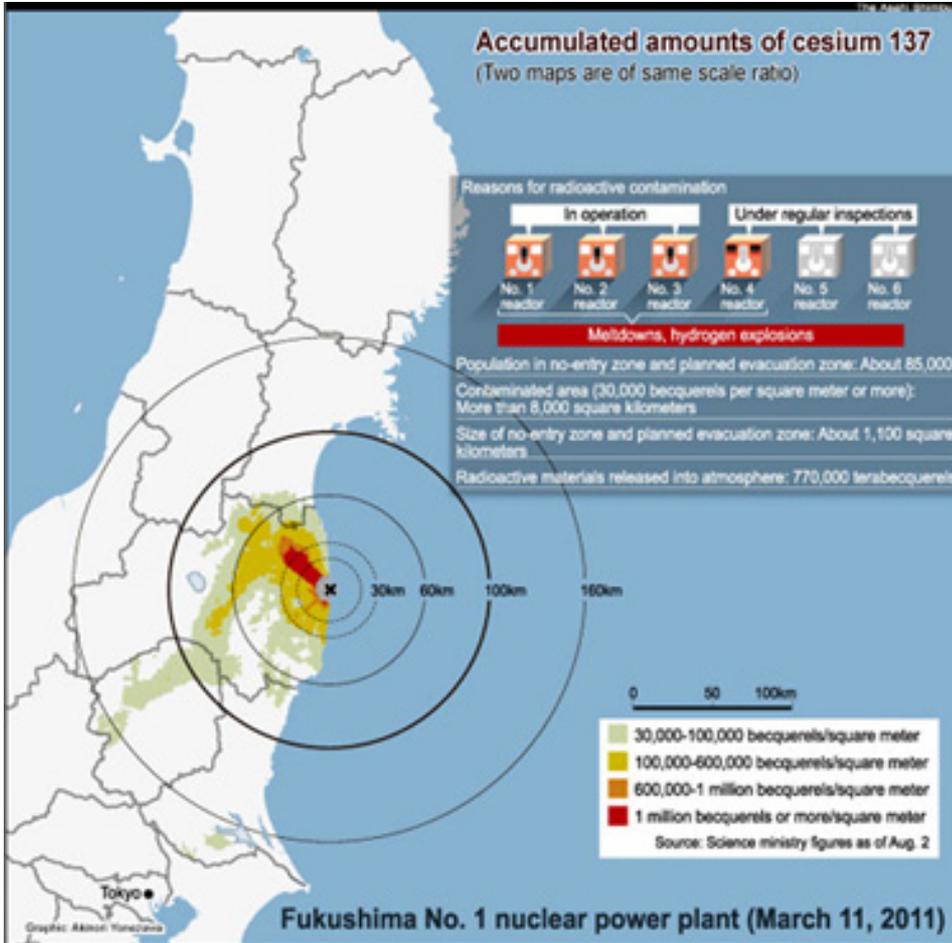
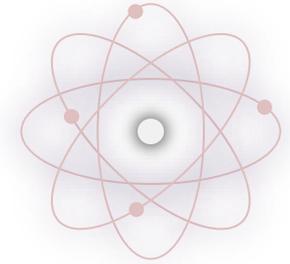
> 37 kBq/m² : territoires dits contaminés

> 555 kBq/m² : évacuation forcée des
personnes



www.laradioactivite.com

La radioactivité



Contamination totale:

Fukushima \approx 770 millions de GBq
 Tchernobyl \approx 5200 millions de Gbq \approx $1/7^e$

Au début: ^{131}I (8 j) est le pb

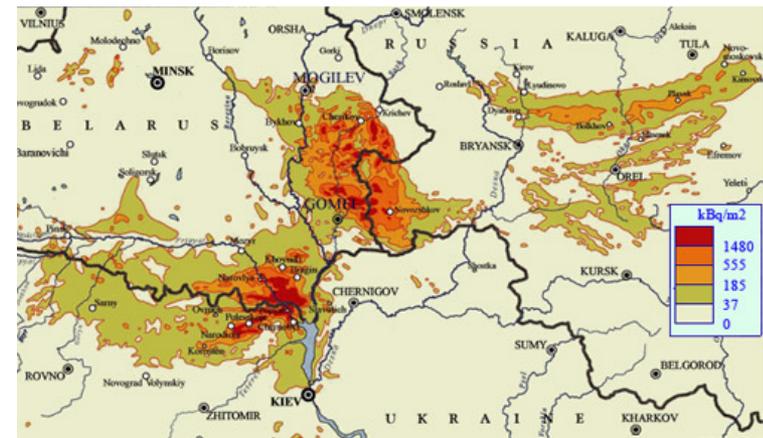
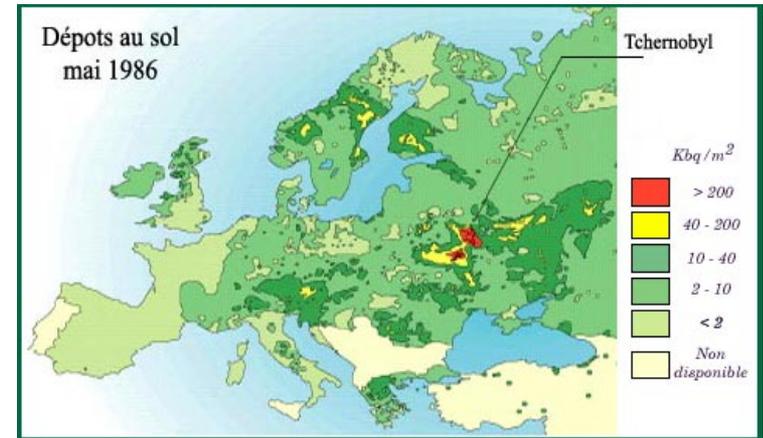
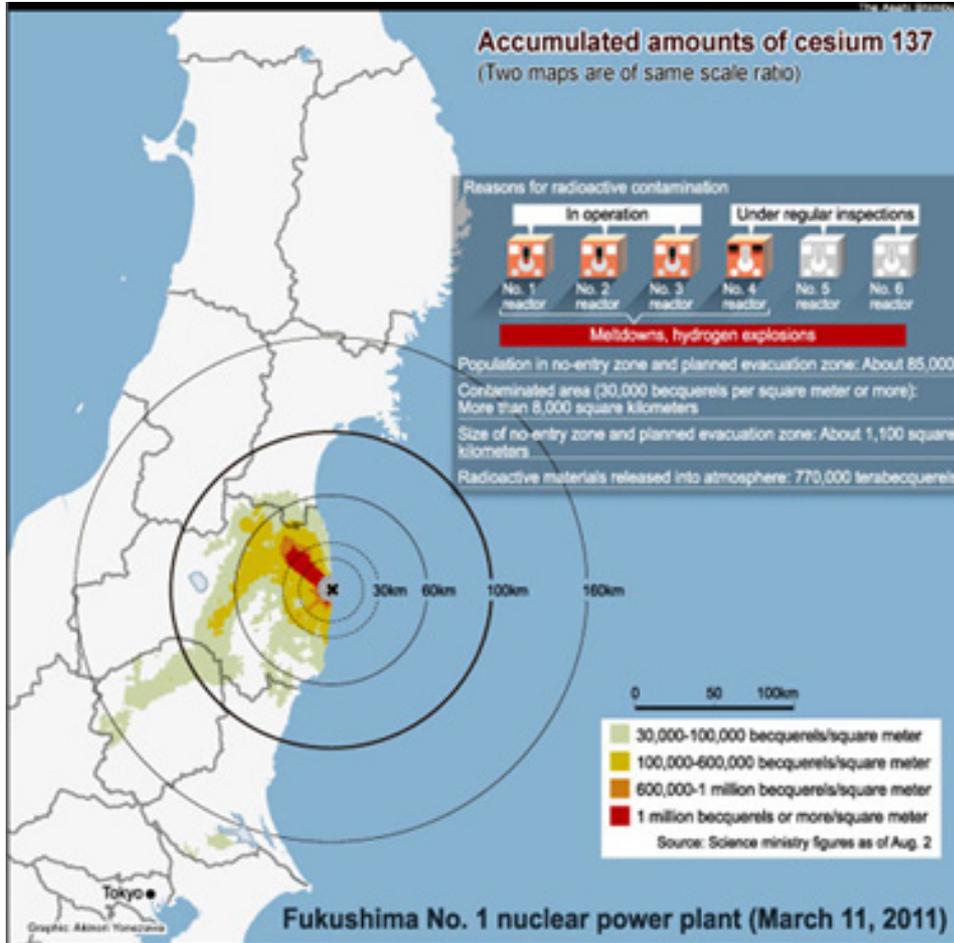
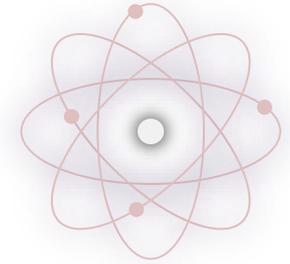
Puis: ^{137}Cs (30 a) est le pb

INES

F. : 7

T. : 7

La radioactivité



Contamination globale ^{137}Cs :

Fukushima \approx 36 millions de GBq
 Tchernobyl \approx 85 millions de Gbq
 Bombe Hiroshima \approx 89000 GBq

$\left. \begin{array}{l} \approx 40\% \\ \approx 170x \end{array} \right\}$

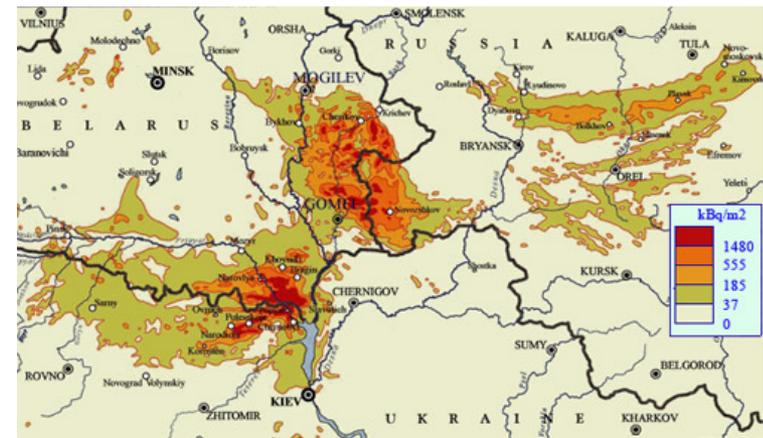
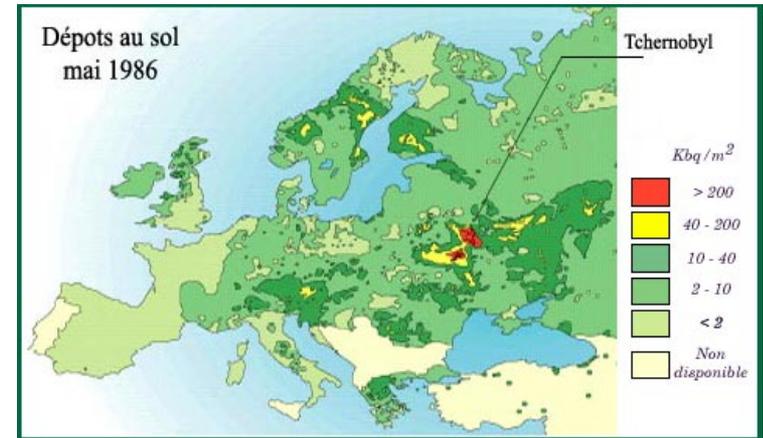
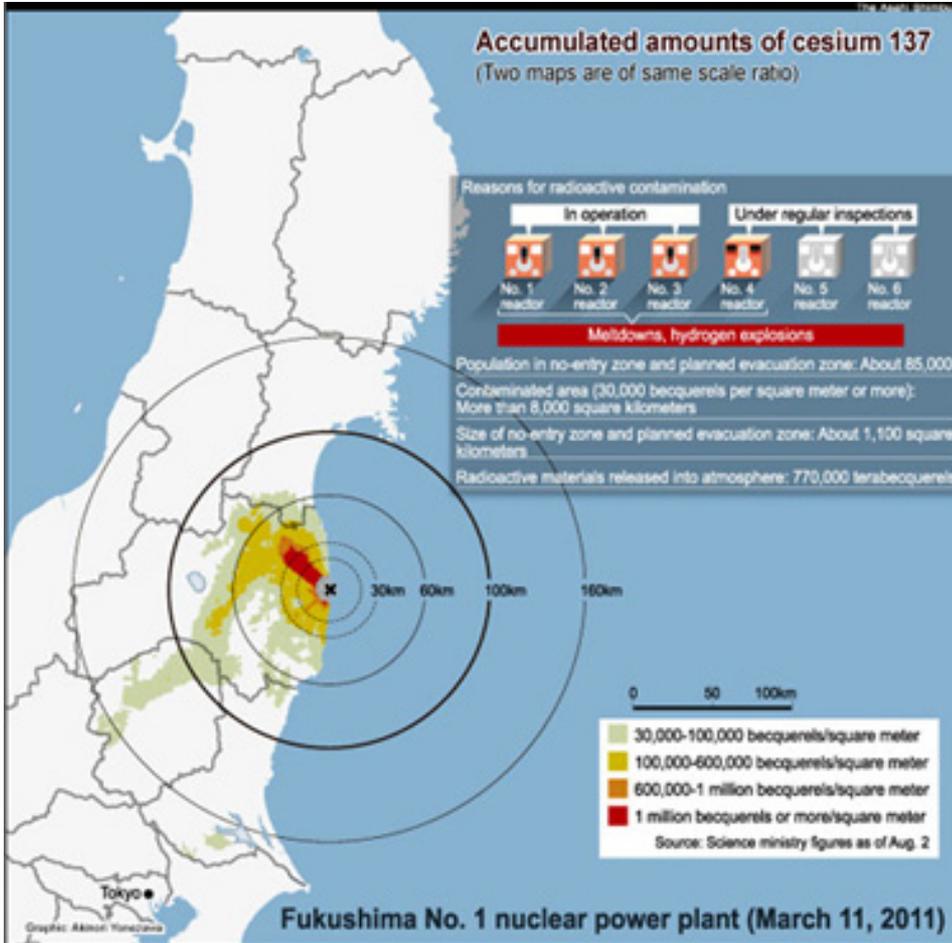
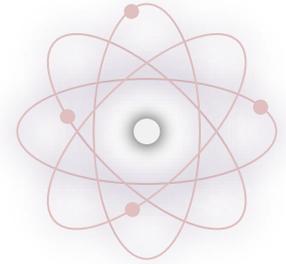
Surfaces contaminées (> 37 kBq/m² -> 0.5 mSv/an)

Fukushima \approx 8000 km²
 Tchernobyl \approx 145000 km²

$\left. \begin{array}{l} \approx 1/18^e \\ (40\% \text{ Japon}) \end{array} \right\}$

INES
 F. : 7
 T. : 7

La radioactivité



Contamination globale ¹³⁷Cs:

Fukushima ≈ 36 millions de GBq
 Tchernobyl ≈ 85 millions de Gbq
 Bombe Hiroshima ≈ 89000 GBq

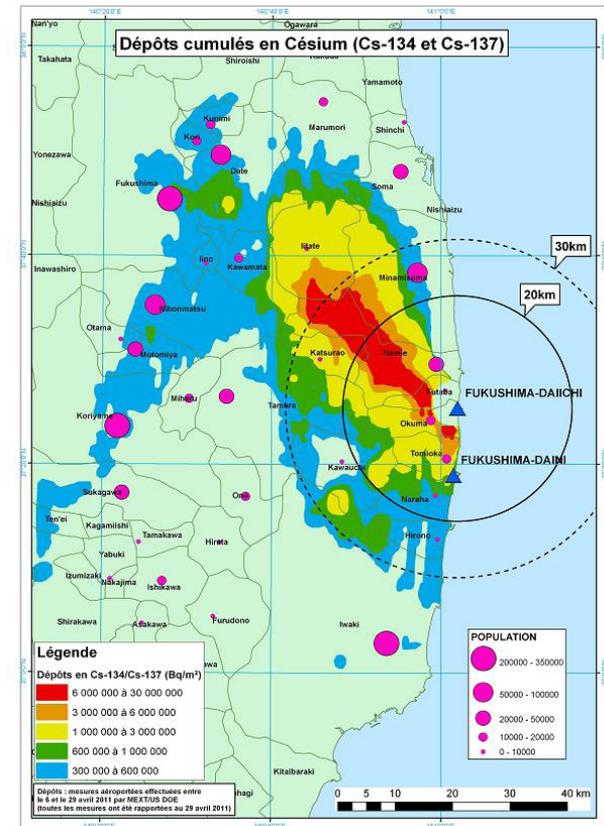
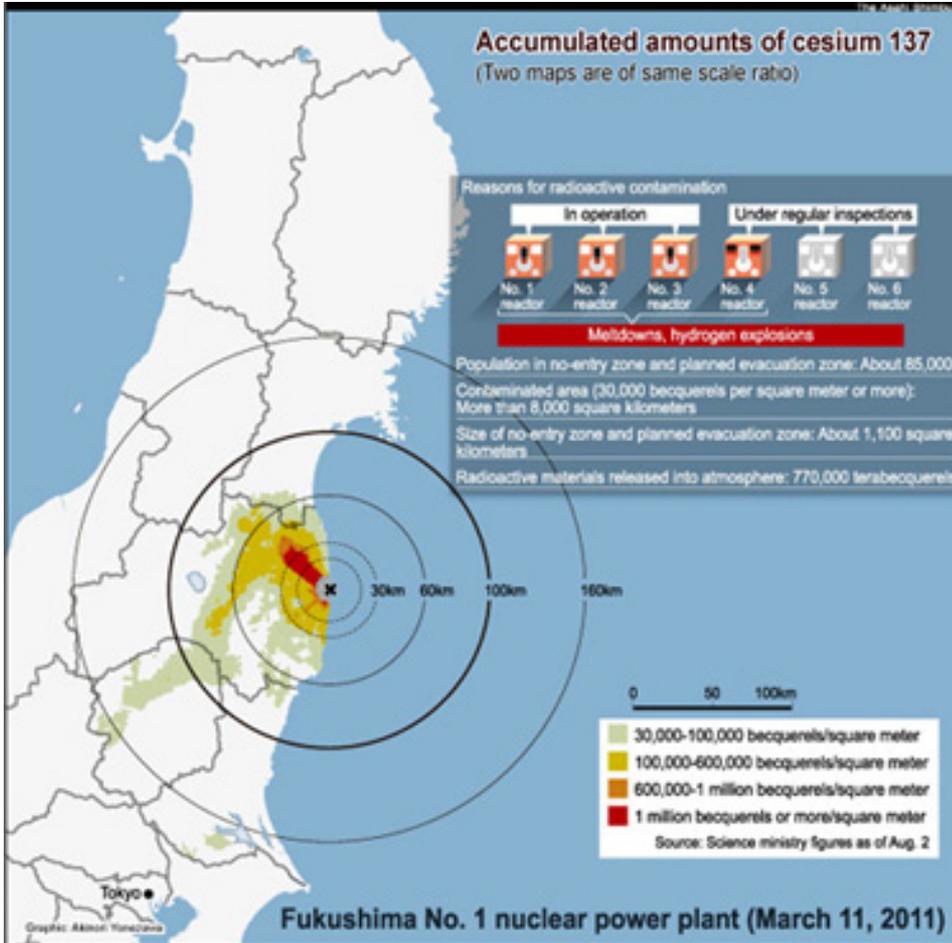
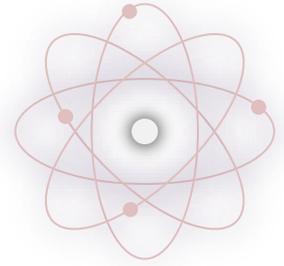
$\left. \begin{array}{l} \approx 1/7^e \\ \approx 170x \end{array} \right\}$

Surfaces TRES contaminées (> 555 kBq/m² -> 9 mSv/an)

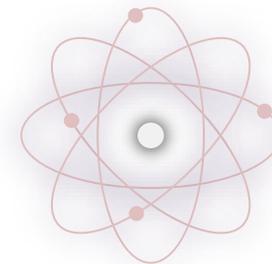
Fukushima ≈ 1000 km²
 Tchernobyl ≈ 10000 km²

$\left. \begin{array}{l} \approx 1/10^e \\ (40\% \text{ Japon}) \end{array} \right\}$

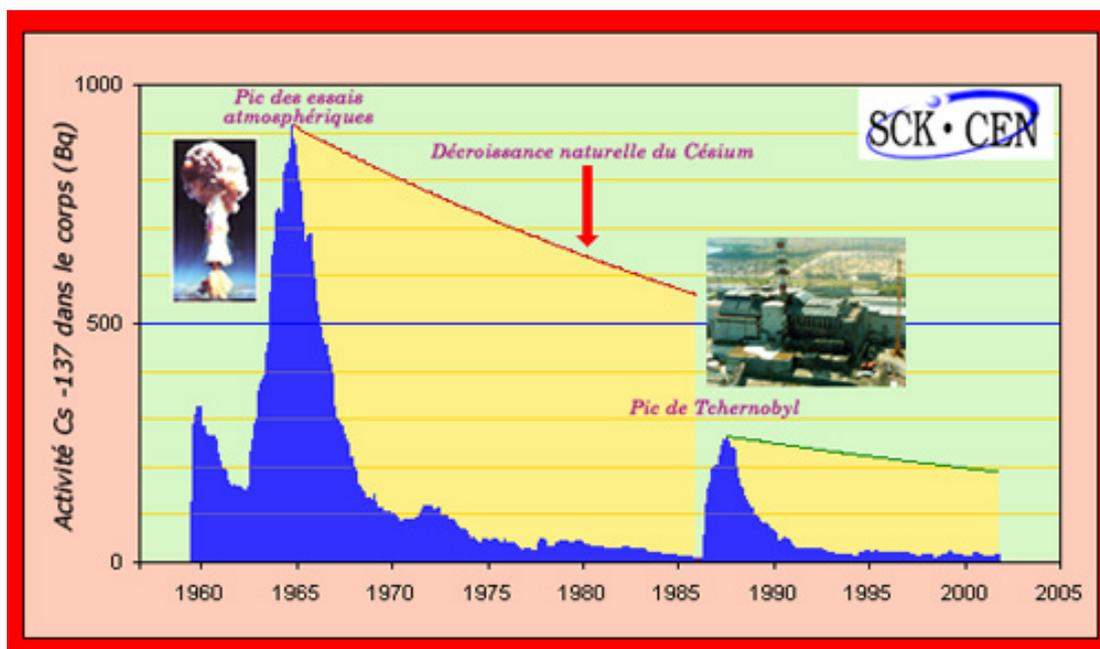
La radioactivité



La radioactivité



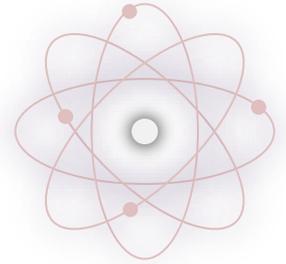
- Contamination en ^{137}Cs suite aux essais nucléaires



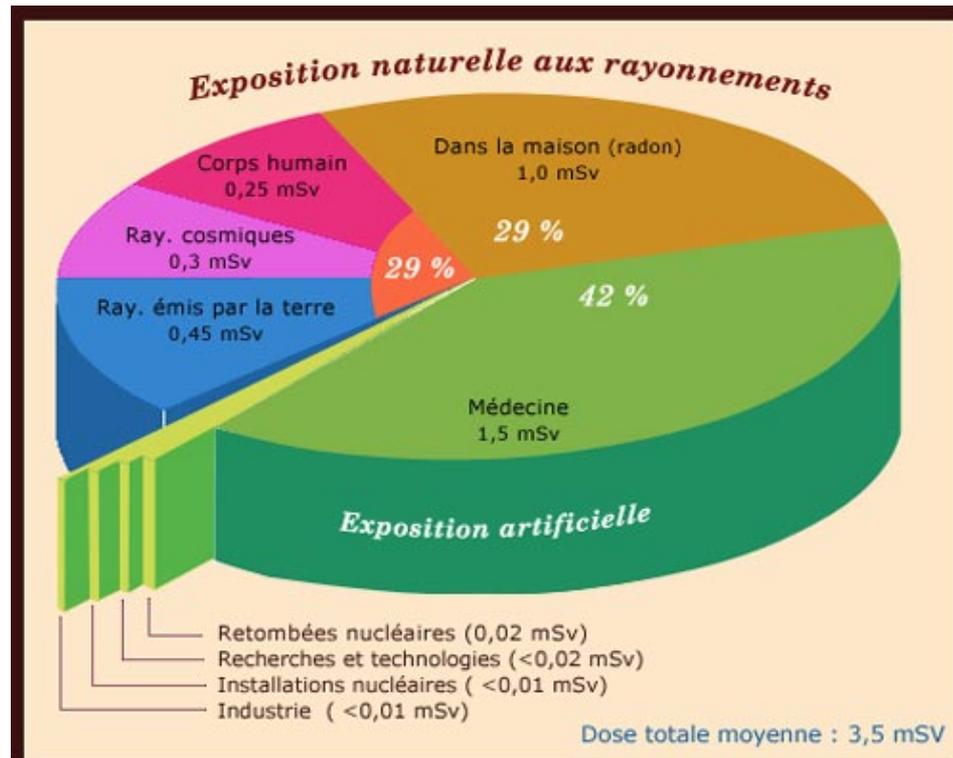
www.laradioactivite.com

1 être humain (adulte) : 8000 Bq (provient du ^{14}C et ^{40}K (0.01%))

La radioactivité



- Exposition **moyenne** aux rayonnements (dose / an) :



www.laradioactivite.com

- Exposition naturelle : 2 à 2.5 mSv / an

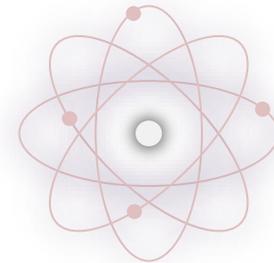
- Exposition artificielle : 1.5 mSv / an (radiographies, ...)

> 10 mSv / an sud de l'Inde

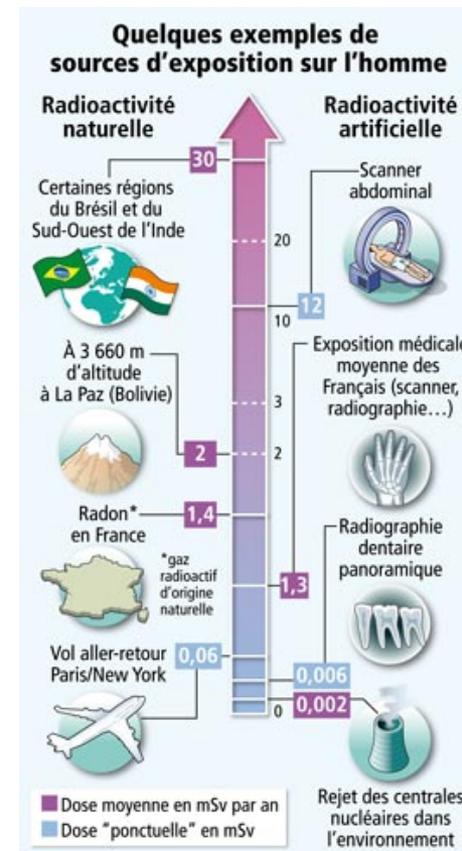
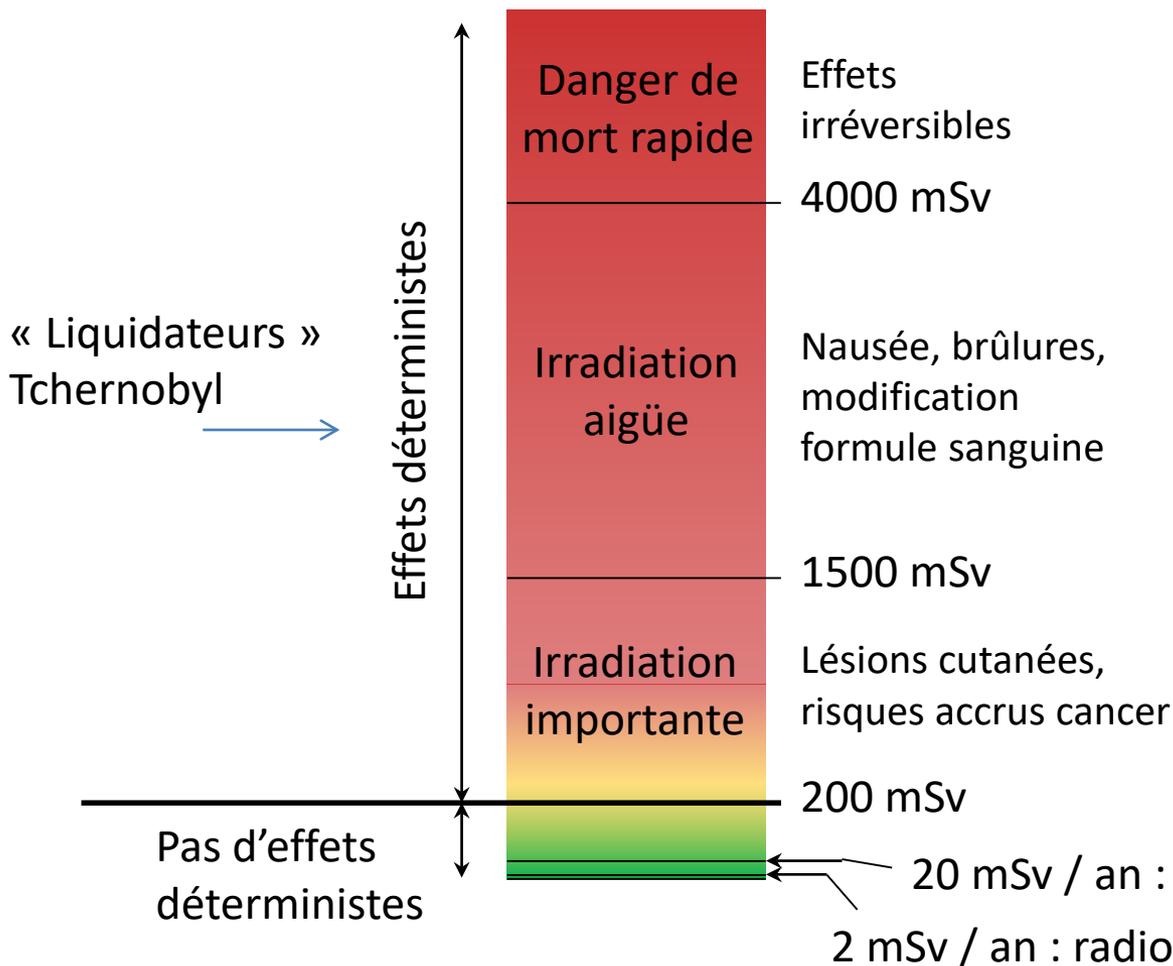
> 170 mSv / an

certaines régions - Brésil

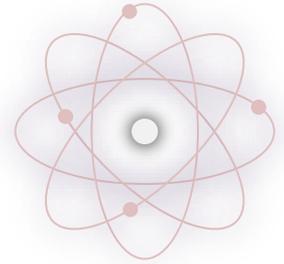
La radioactivité



- Exposition ponctuelle : risques



La radioactivité



- Exposition : le réseau TELERAD

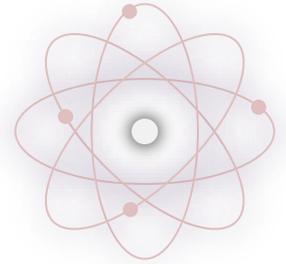
Exposition naturelle hors radon : $1 \text{ mSv} / \text{an} = 1000 \mu\text{Sv} / \text{an} = 0.1 \mu\text{Sv} / \text{h}$

telerad.fgov.org

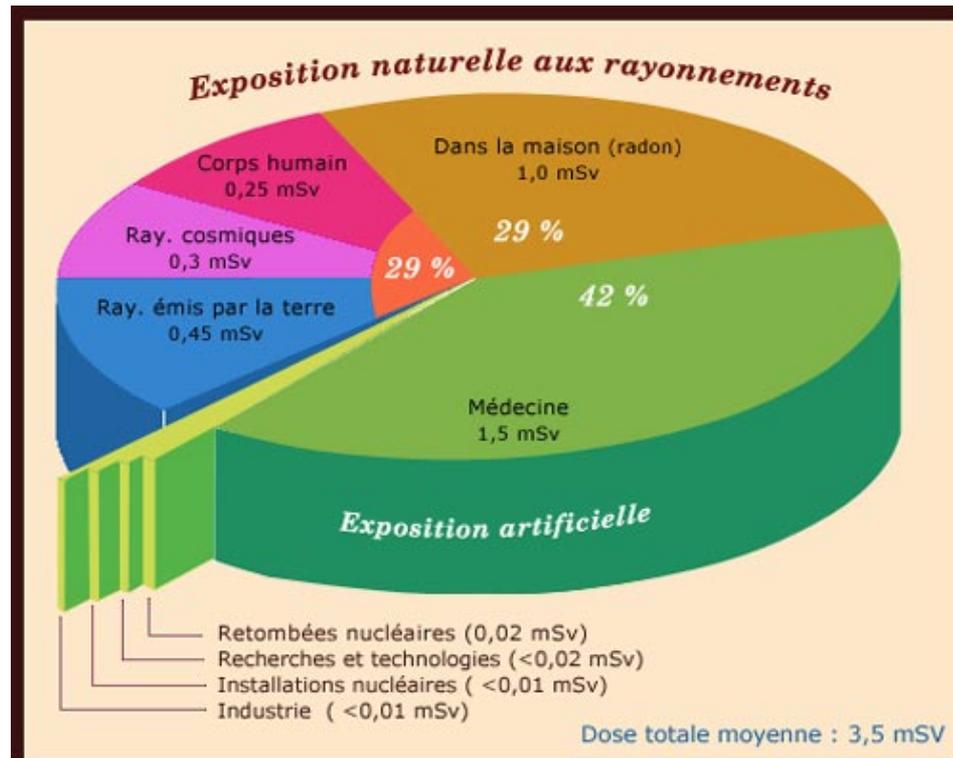
20/11/2016 :
0.119 $\mu\text{Sv} / \text{h}$



La radioactivité



- Exposition **moyenne** aux rayonnements (dose / an) :



www.laradioactivite.com

- Exposition naturelle : 2 à 2.5 mSv / an

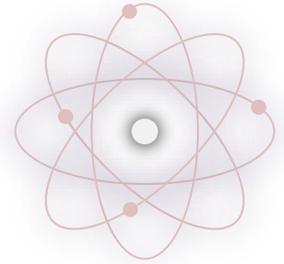
- Exposition artificielle : 1.5 mSv / an (radiographies, ...)

> 10 mSv / an sud de l'Inde

> 170 mSv / an

certaines régions - Brésil

La radioactivité



- Exposition : le réseau TELERAD

Exposition naturelle hors radon : $1 \text{ mSv} / \text{an} = 1000 \mu\text{Sv} / \text{an} = 0.1 \mu\text{Sv} / \text{h}$

Telerad
FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU INSTRUMENTS DE MESURE EMLACEMENT DES BALISES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ

PROVINCE
Liège

CP PLACE
aucun aucun

RAYON *
15KM

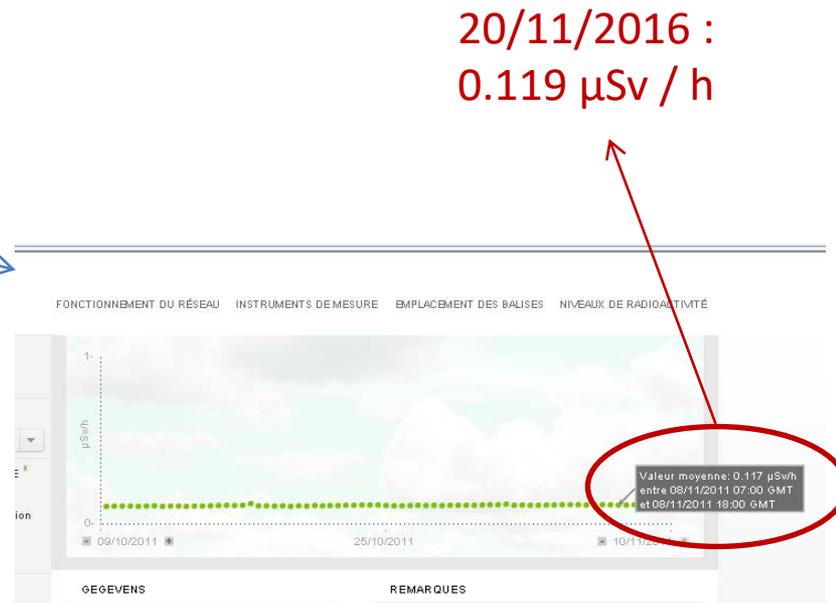
TYPE DE BALISE *
 Nationale
 Agglomération
 Ring
 Rivière

PERIODE *
De: AAAA
A:

BALISE (Double-clic)

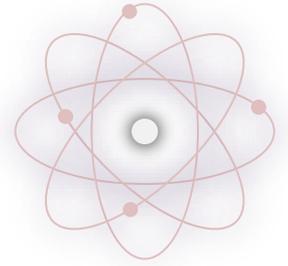
RESET

AFCN
agence fédérale de contrôle nucléaire



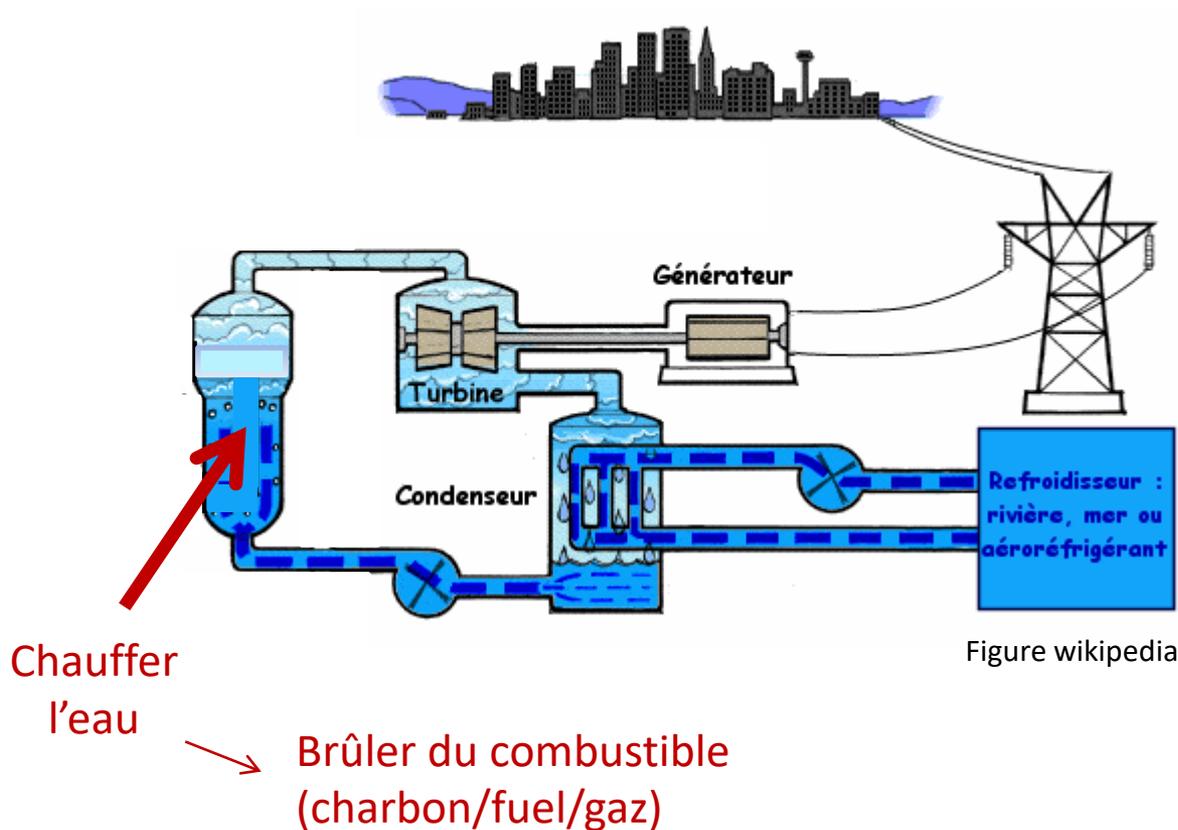
telerad.fgov.org

La production d'énergie nucléaire

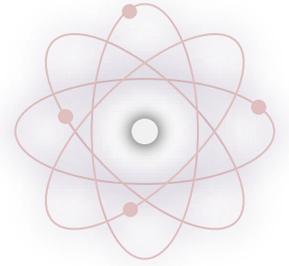


- Produire de l'électricité: les centrales « classiques »

« Une grosse machine à vapeur »



La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

« Une grosse machine à vapeur »

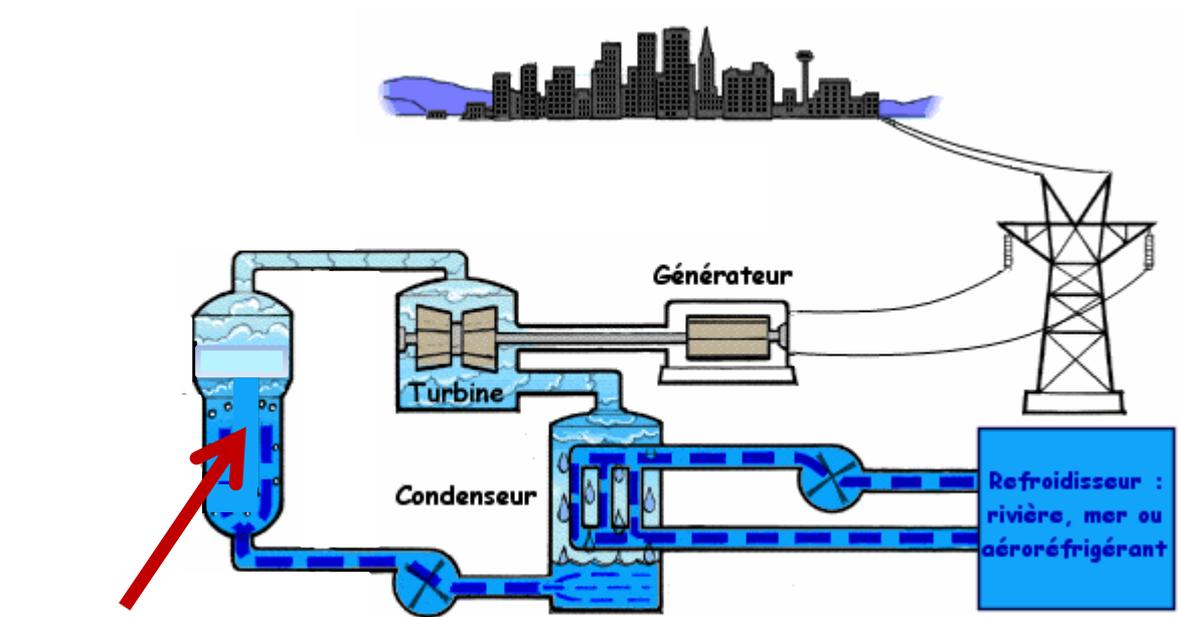


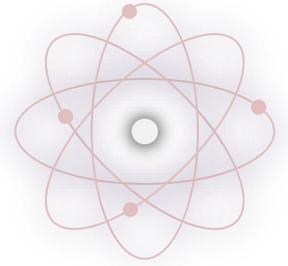
Figure wikipedia



Chauffer
l'eau

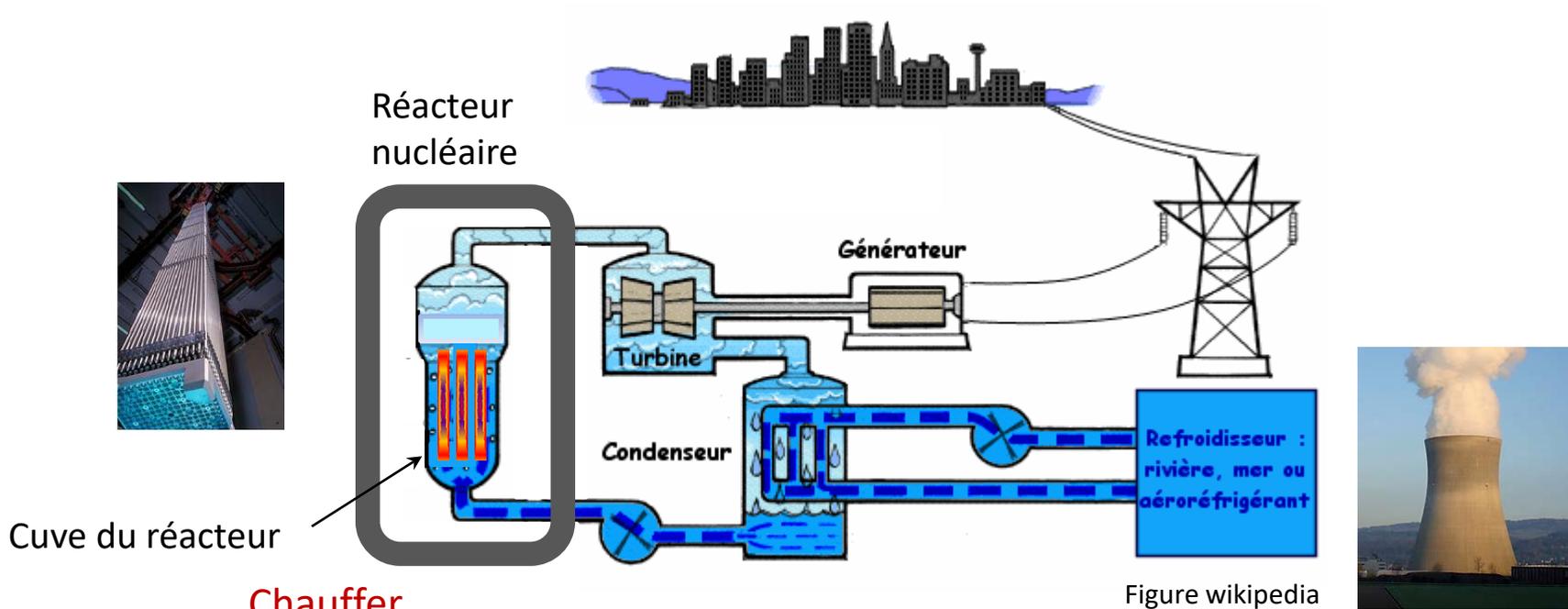
→ Mettre des barreaux d'uranium dans l'eau
et faire démarrer des réactions nucléaires

La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

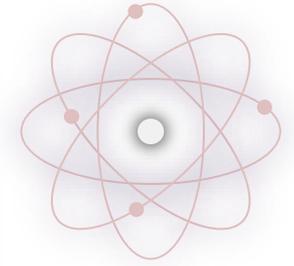
« Une grosse machine à vapeur »



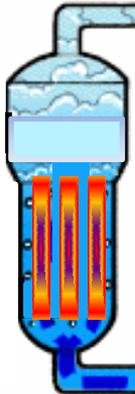
Chauffer l'eau

→ Mettre des barreaux d'uranium dans l'eau (cœur du réacteur) et faire démarrer des réactions nucléaires

La production d'énergie nucléaire



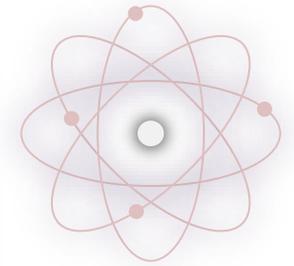
- Les barres d'uranium



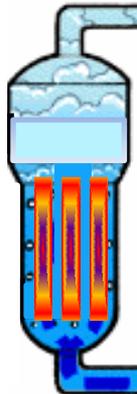
Atomes radioactifs

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{210}Pb (β , γ), ...
Radon	^{222}Rn (α), ...
Radium	^{226}Ra (α), ...
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

La production d'énergie nucléaire



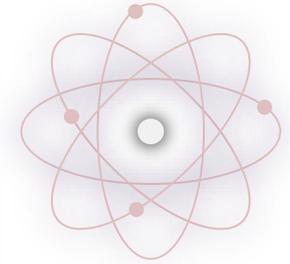
- Les barres d'uranium



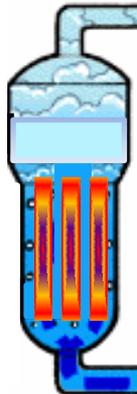
Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Plomb	^{206}Pb , ^{210}Pb (β , γ), ...
Radon	^{222}Rn (α), ...
Radium	^{226}Ra (α), ...
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

La production d'énergie nucléaire

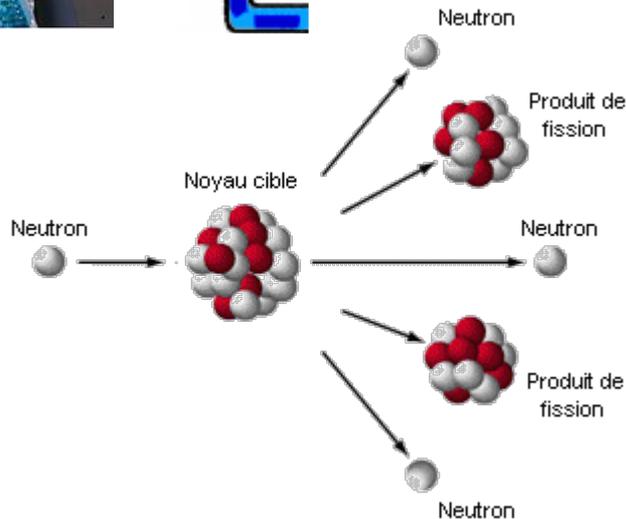


- Les barres d'uranium



Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

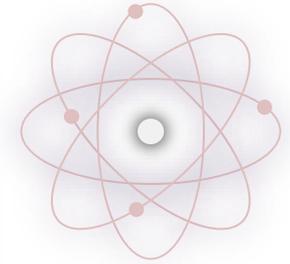


FISSION de l'uranium

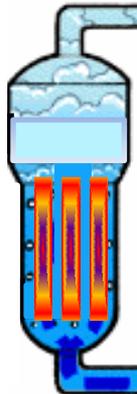


Chaque réaction de fission chauffe les barreaux d'uranium

La production d'énergie nucléaire

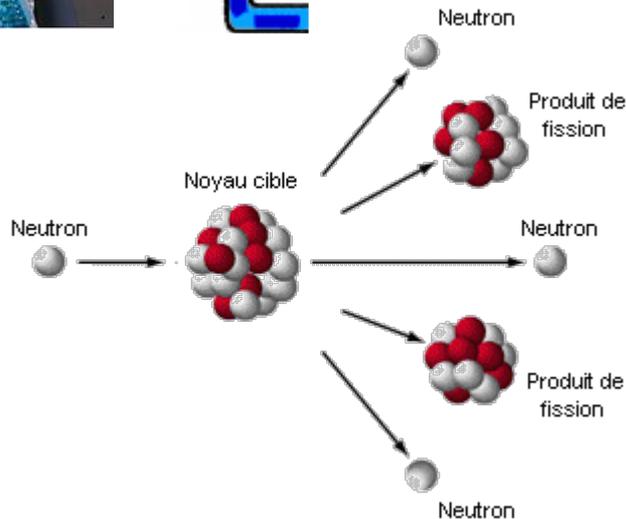


- Les barres d'uranium



Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

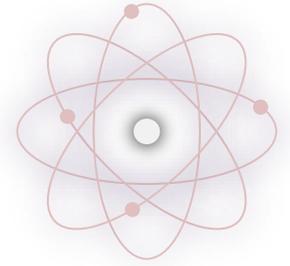


FISSION de l'uranium



1 g d' ^{235}U produit 1.7 millions de fois plus de chaleur qu'1 g de pétrole

La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

« Une grosse machine à vapeur »

1 centrale nucléaire
consomme

27 t. d'U / an

=

170 t. de fuel / h

260 t. de charbon / h

Chauffer
l'eau

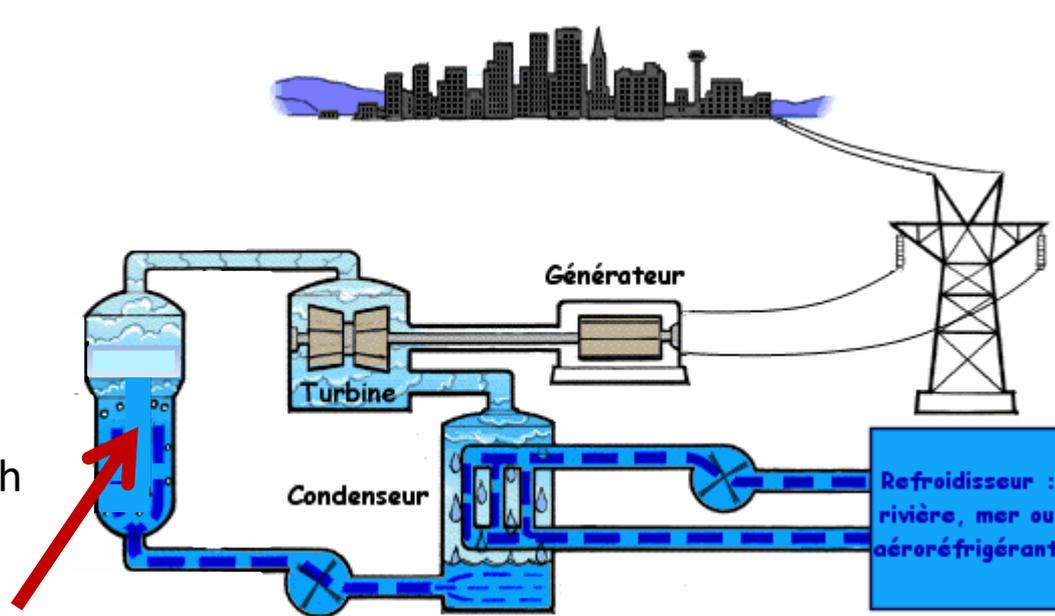
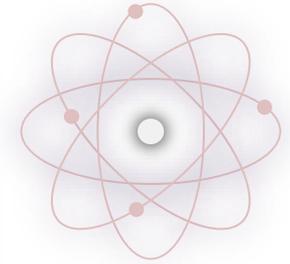


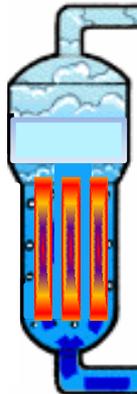
Figure wikipedia



La production d'énergie nucléaire



- Les barres d'uranium

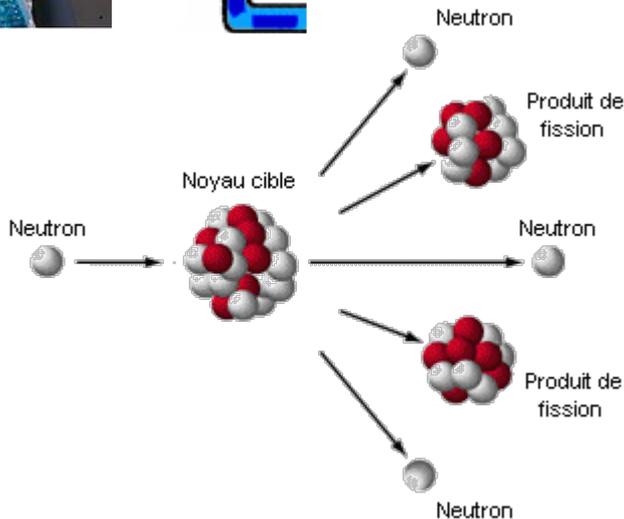
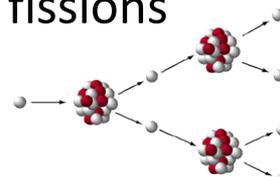


Atomes FISSILES

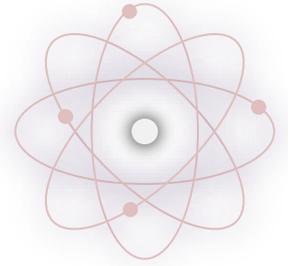
Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

Produits de la réaction

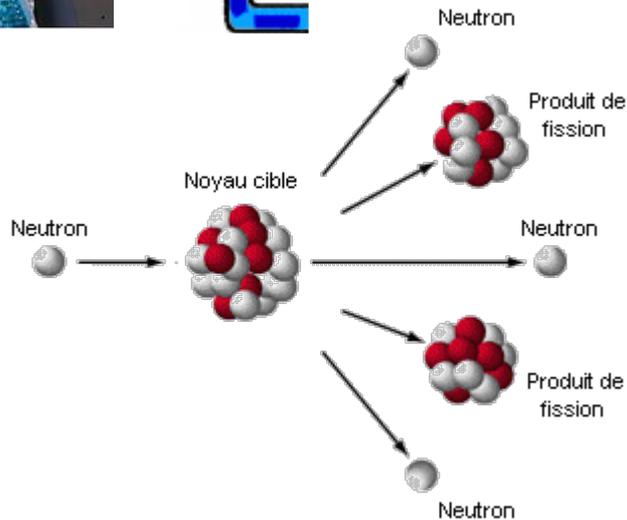
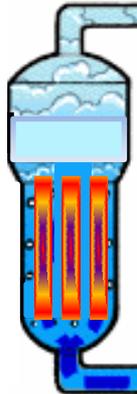
- Chaleur
- Produits de fission
(atomes radioactifs : ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ...)
- 2 ou 3 neutrons
-> peuvent initier de nouvelles fissions
-> réaction en chaîne



La production d'énergie nucléaire



- Les barres d'uranium



Réaction en chaîne

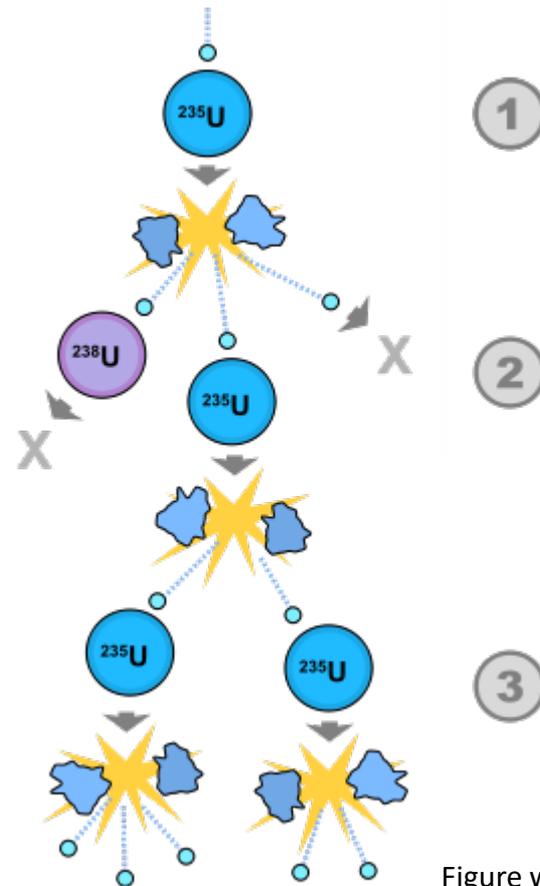
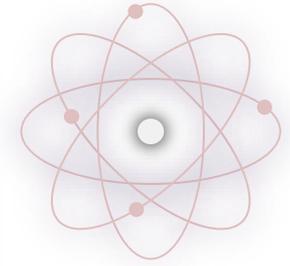
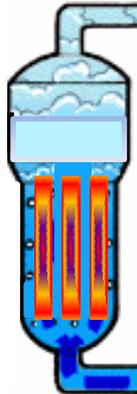


Figure wikipedia

La production d'énergie nucléaire

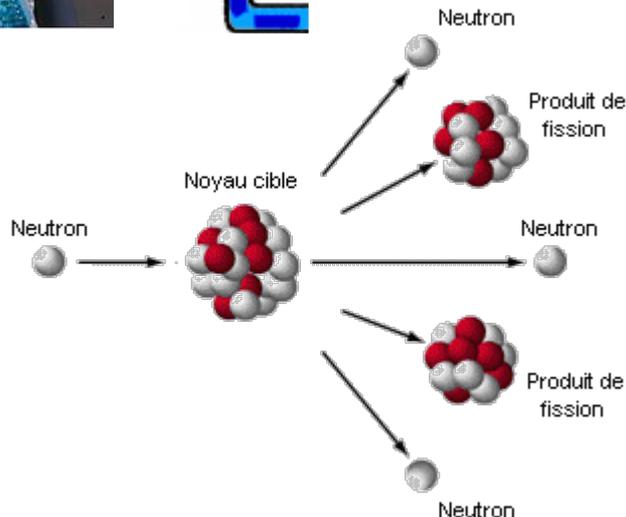


- Les barres d'uranium



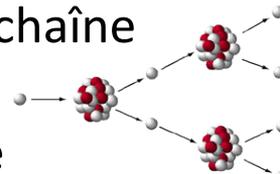
Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

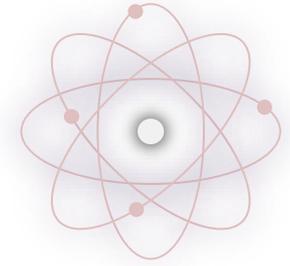


Attention

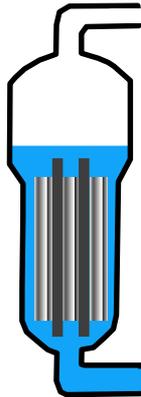
1. Seul les neutrons lents cassent l' ^{235}U
=> à ralentir (eau)
2. Seul l' ^{235}U est fissile
barreau U naturel : 0.7 % ^{235}U , 99.3 % ^{238}U
=> Il faut enrichir en ^{235}U (-> 3 à 4 %)
3. Il faut contrôler la réaction en chaîne
=> barres de contrôle
=> contrôle la chaleur produite



La production d'énergie nucléaire

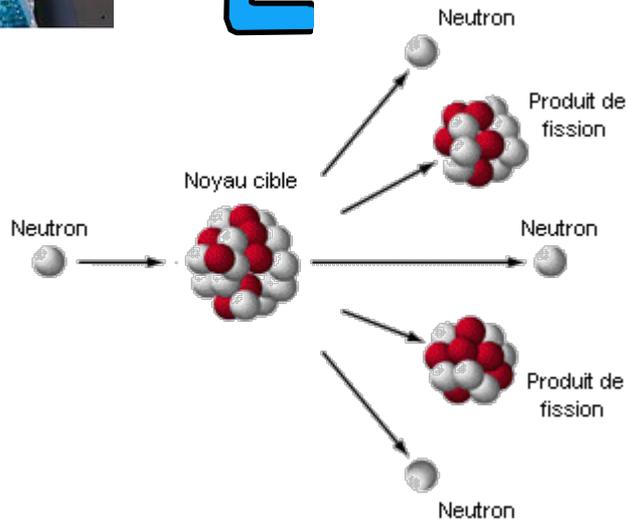


- Les barres d'uranium



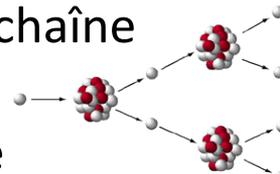
Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

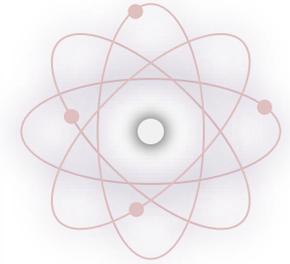


Attention

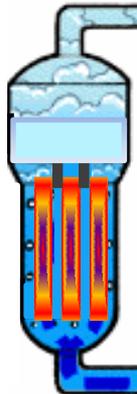
1. Seul les neutrons lents cassent l' ^{235}U
=> à ralentir (eau)
2. Seul l' ^{235}U est fissile
barreau U naturel : 0.7 % ^{235}U , 99.3 % ^{238}U
=> Il faut enrichir en ^{235}U (-> 3 à 4 %)
3. Il faut contrôler la réaction en chaîne
=> barres de contrôle
=> contrôle la chaleur produite



La production d'énergie nucléaire

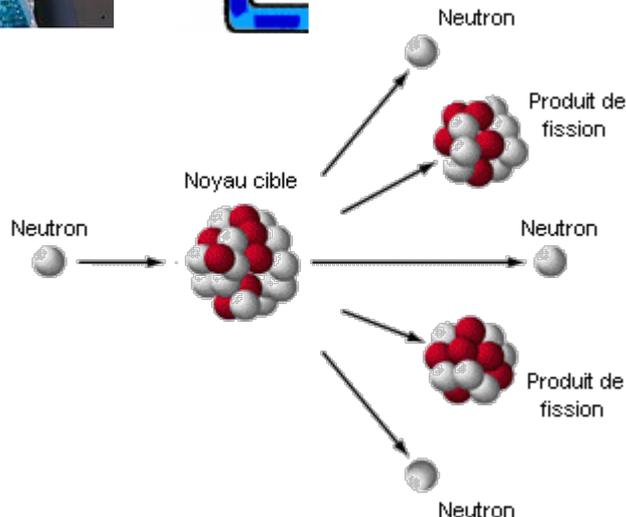


- Les barres d'uranium



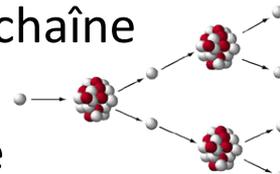
Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

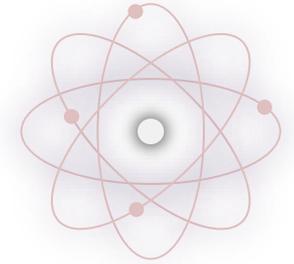


Attention

1. Seul les neutrons lents cassent l' ^{235}U
=> à ralentir (eau)
2. Seul l' ^{235}U est fissile
barreau U naturel : 0.7 % ^{235}U , 99.3 % ^{238}U
=> Il faut enrichir en ^{235}U (-> 3 à 4 %)
3. Il faut contrôler la réaction en chaîne
=> barres de contrôle
=> contrôle la chaleur produite

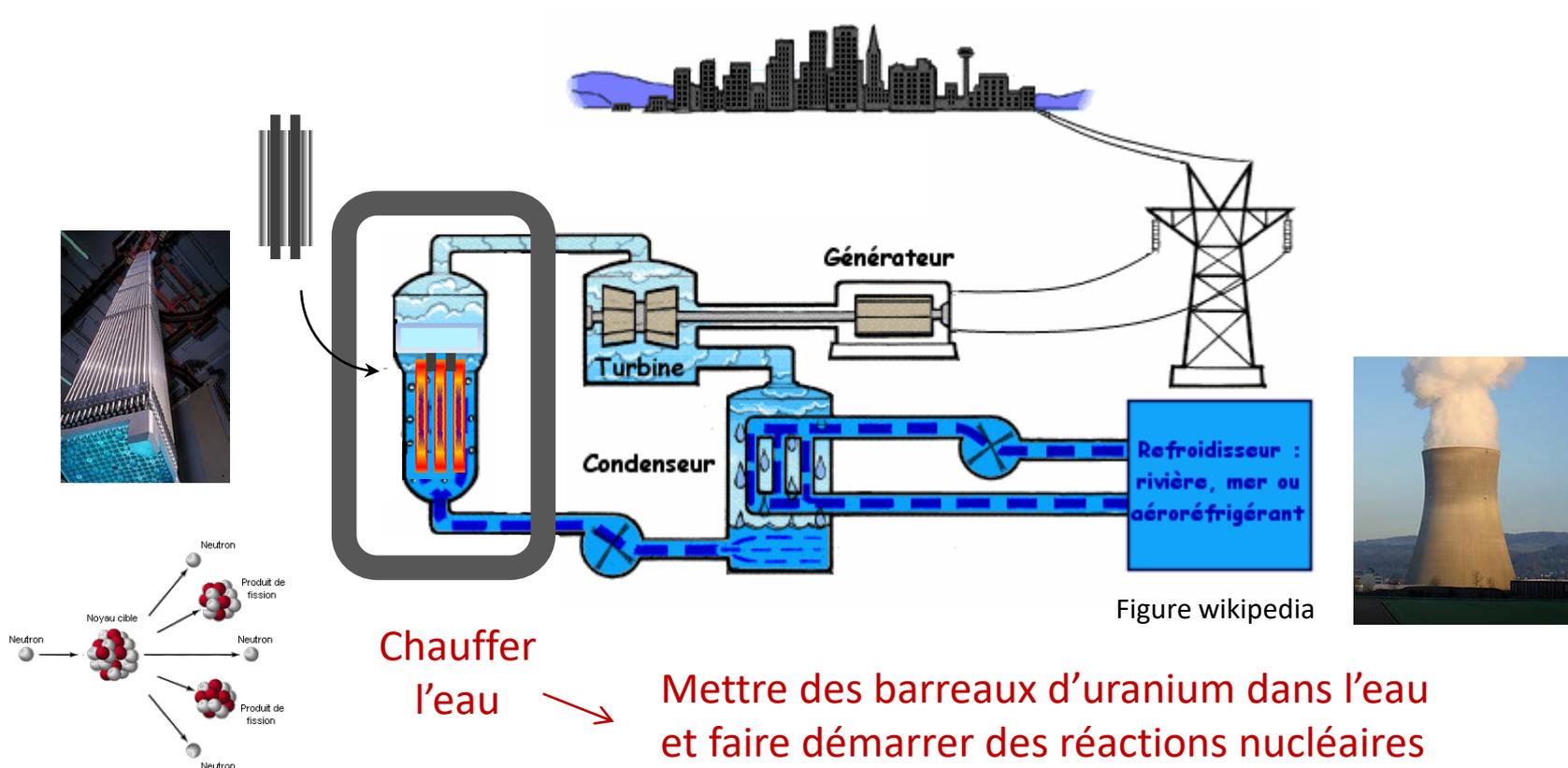


La production d'énergie nucléaire

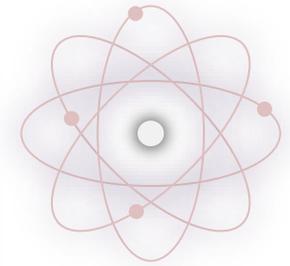


- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

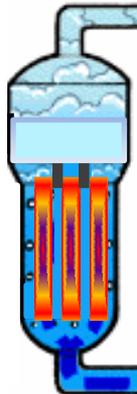
« Une grosse machine à vapeur »



La production d'énergie nucléaire

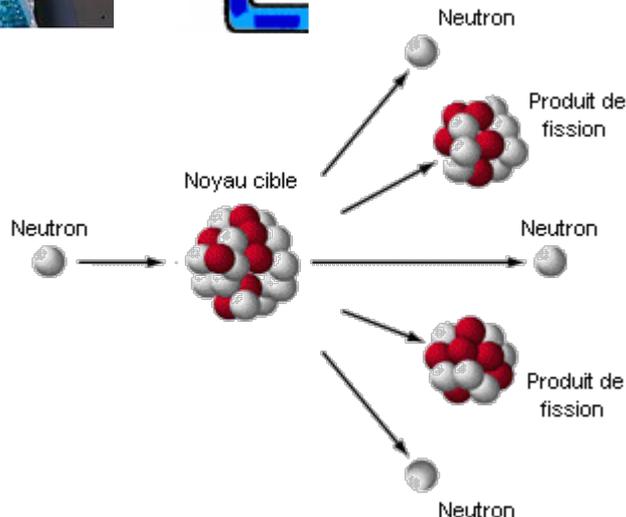


- Les barres d'uranium



Atomes FISSILES

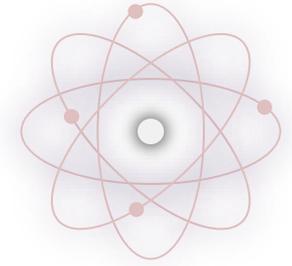
Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...



Quelques chiffres

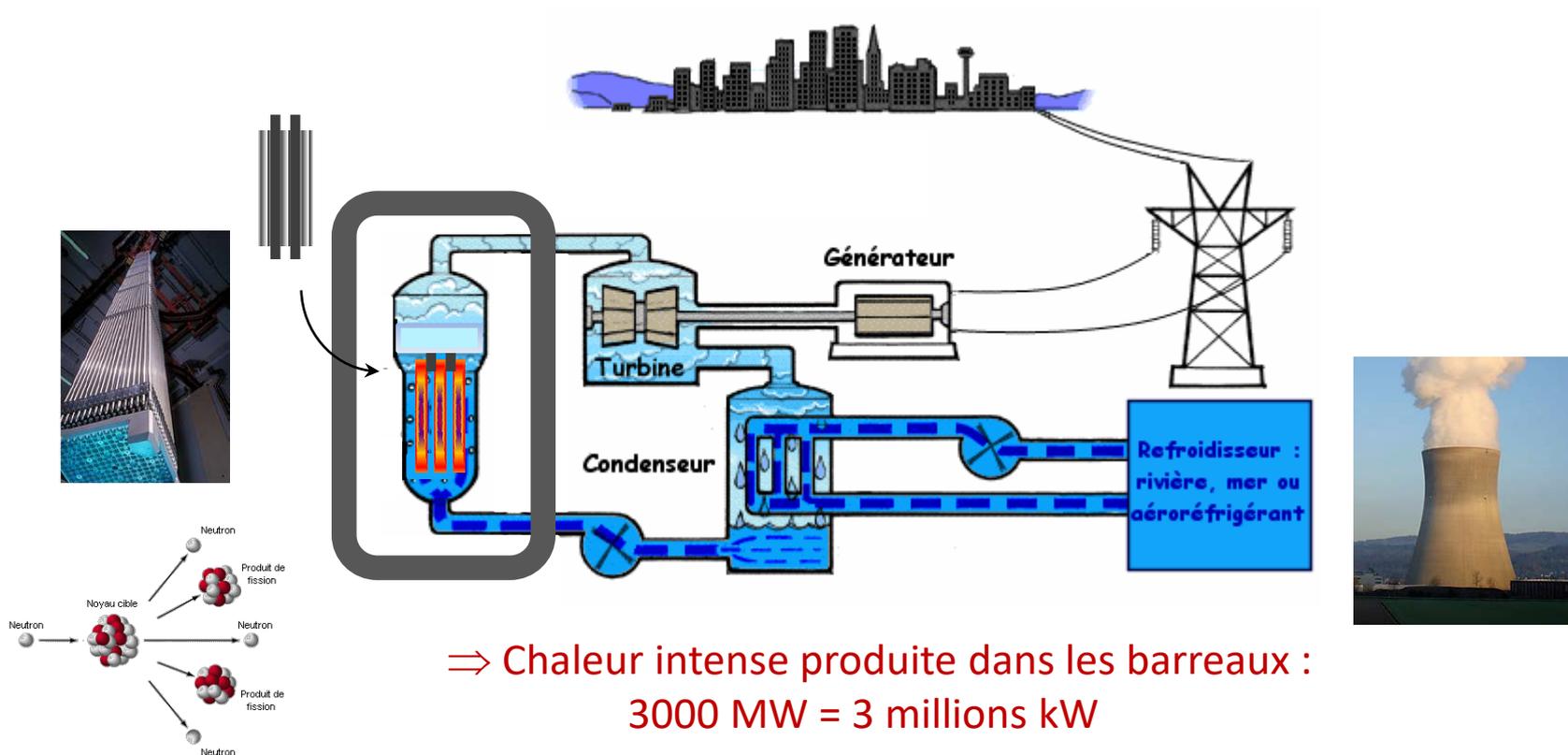
1. Une centaine de tonnes en barreau d'uranium
2. 3000 MW thermique (1000 MW électrique)
3. Accumulation de déchets radioactifs (^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ...) dans les barreaux
3. Après 18 mois, on change 1/3 barreaux

La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

« Une grosse machine à vapeur »

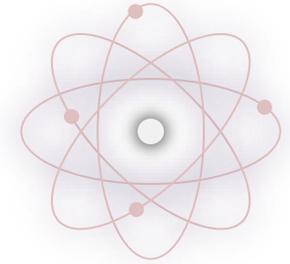


Réactions de fission

⇒ Chaleur intense produite dans les barreaux :
3000 MW = 3 millions kW

⇒ eau chauffe fortement (production électricité en aval)

La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

Comment arrêter ?

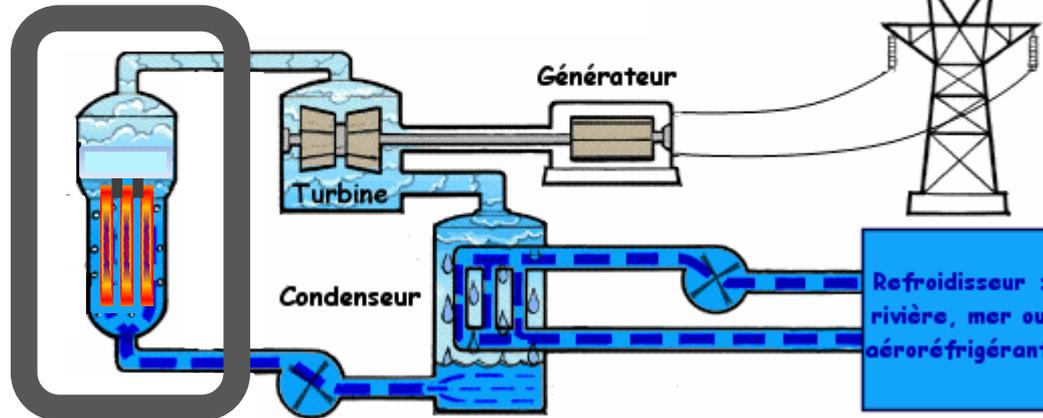
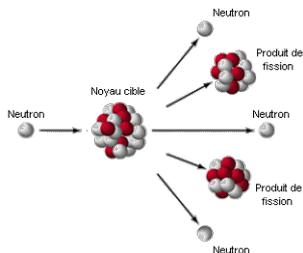


Figure wikipedia

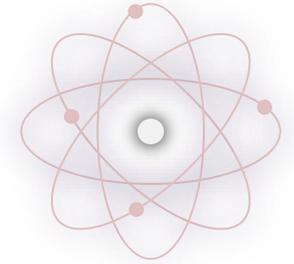


Réactions de fission

⇒ Chaleur intense produite dans les barreaux :
3000 MW = 3 millions kW

⇒ eau chauffe fortement (production électricité en aval)

La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

Comment arrêter ? Descendre les barres de contrôle

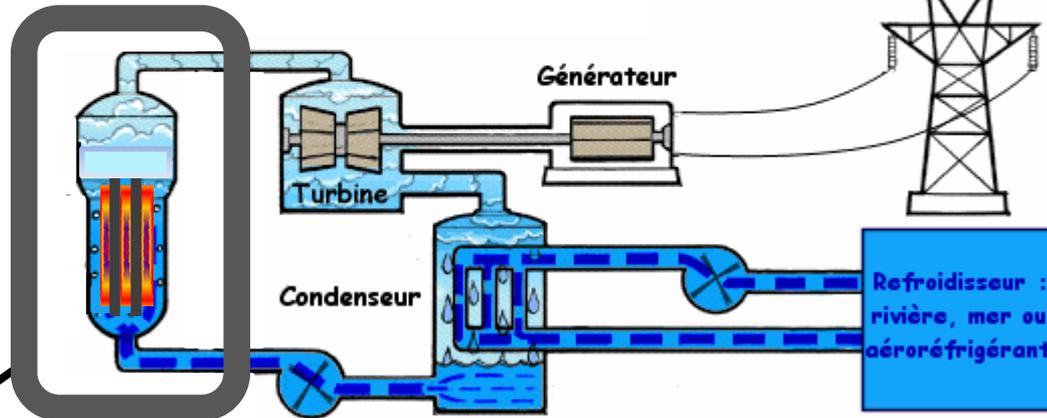
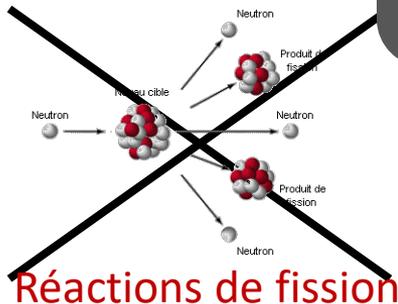
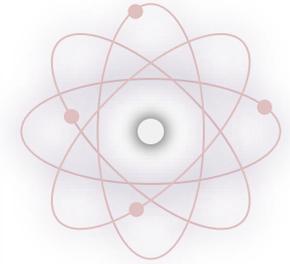


Figure wikipedia

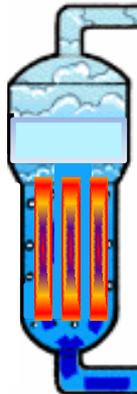


⇒ Plus de chaleur produite par les réactions de fission
MAIS chaleur résiduelle produite par la radioactivité des produits de fission => eau continue à chauffer

La production d'énergie nucléaire

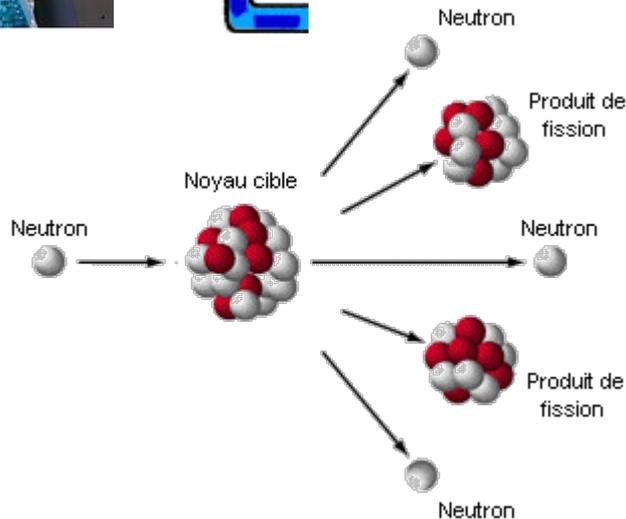


- Les barres d'uranium



Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	^{235}U (α), ^{238}U (α), ...
Plutonium	^{239}Pu (α), ^{241}Pu (β), ...

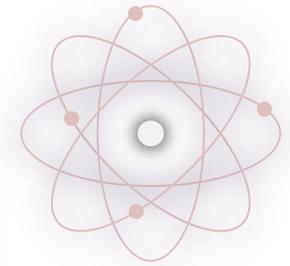


FISSION de l'uranium

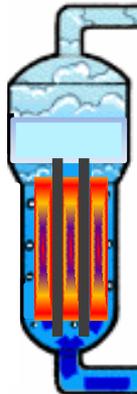


Chaque réaction de fission chauffe les barreaux d'uranium

La production d'énergie nucléaire

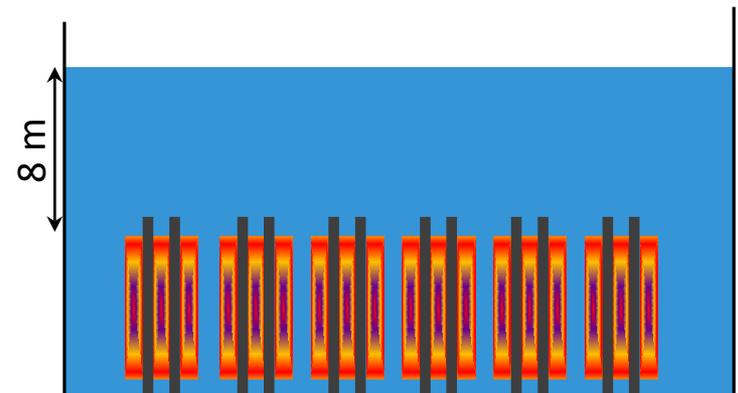


- La chaleur résiduelle

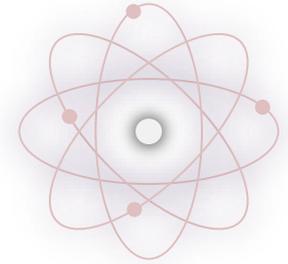


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

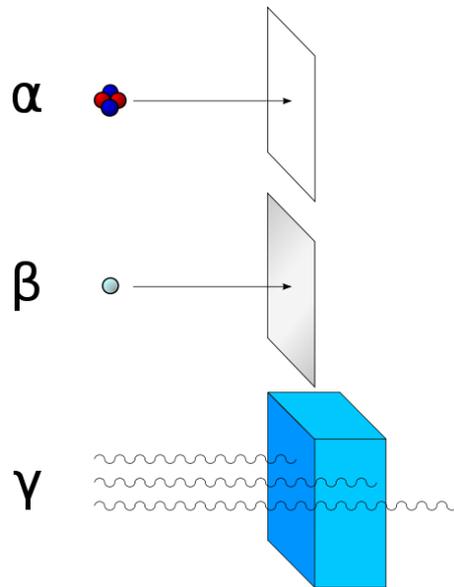
1. Attendre quelques jours pour « arrêt à froid »
2. Stocker les barreaux d'uranium (combustible usagé) en piscine (avec circulation d'eau)
... pendant plusieurs années
3. Retraiter ou stocker ainsi



La radioactivité



- Les rayonnements α , β , γ



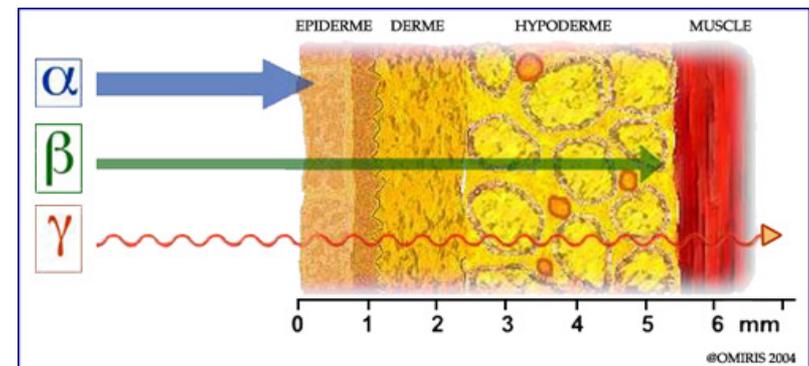
Une feuille de papier les arrête

Une plaque métallique les arrête

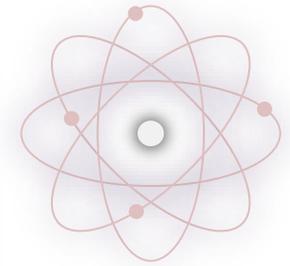
Un bloc de béton les atténue

Figure wikipedia

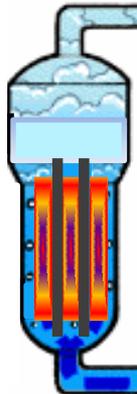
Rayonnements α : protection la plus facile, mais ce sont les plus dangereux pour la santé car ils ont un grand pouvoir de destruction des cellules (si irradiation interne)



La production d'énergie nucléaire

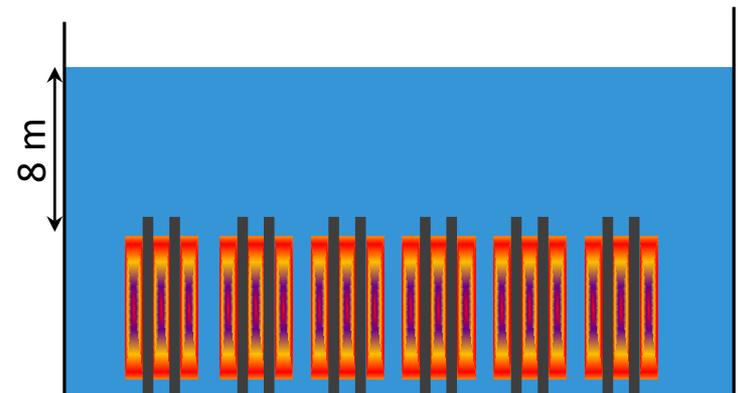


- La chaleur résiduelle

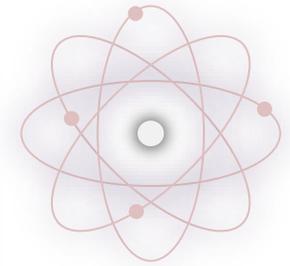


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

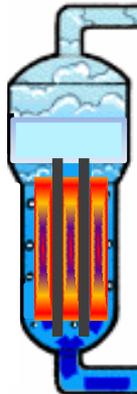
1. Attendre quelques jours pour « arrêt à froid »
2. Stocker les barreaux d'uranium (combustible usagé) en piscine (avec circulation d'eau)
... pendant plusieurs années
3. Retraiter ou stocker ainsi



La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle

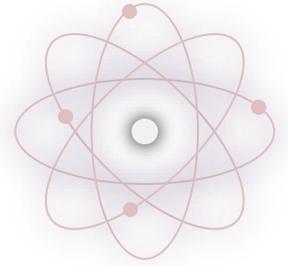


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

1. Attendre quelques jours pour « arrêt à froid »
2. Stocker les barreaux d'uranium (combustible usagé) en piscine (avec circulation d'eau)
... pendant plusieurs années
3. Retraiter ou stocker ainsi



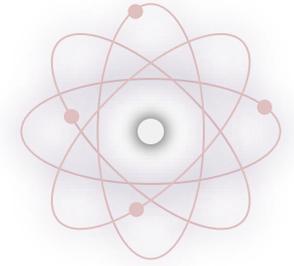
La production d'énergie nucléaire



- Les piscines de stockage



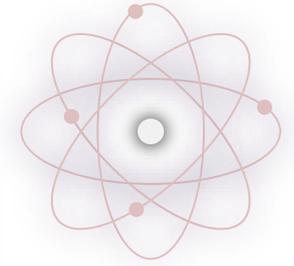
La production d'énergie nucléaire



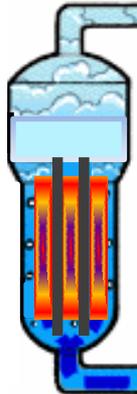
- Les piscines de stockage



La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle



Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

Si la circulation d'eau est interrompue dans une piscine

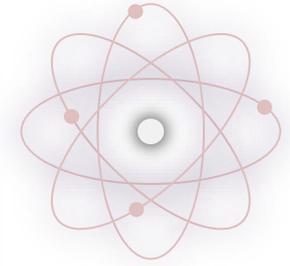
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

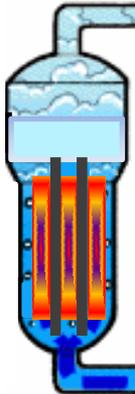
1 MW vaporise 1,6 tonne d'eau en 1 heure



La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle



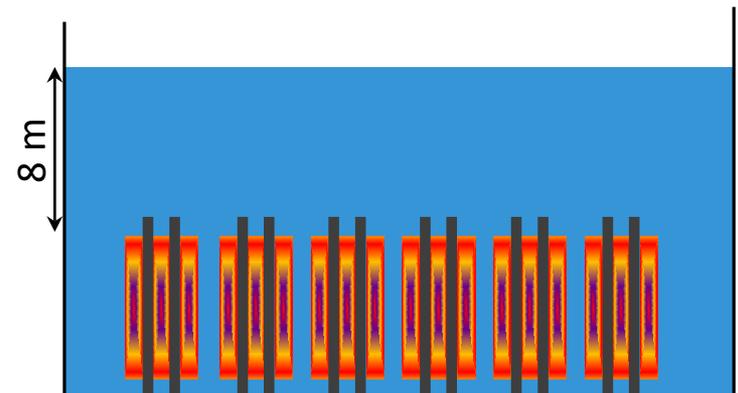
Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

Si la circulation d'eau est interrompue dans une piscine

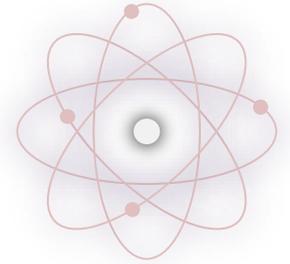
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

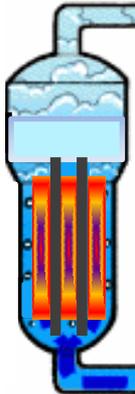
1 MW vaporise 1,6 tonne d'eau en 1 heure



La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle



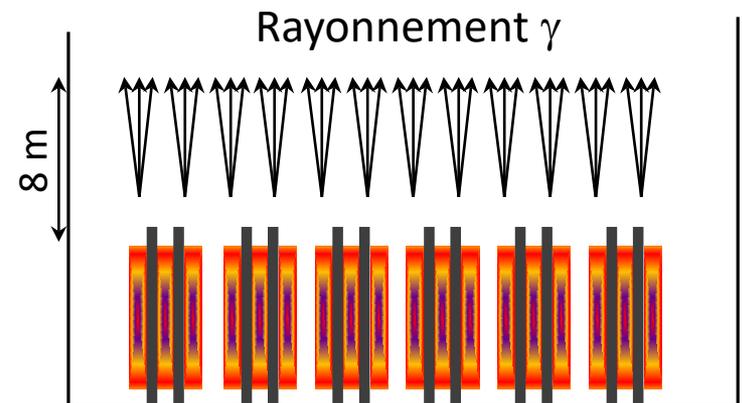
Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

Si la circulation d'eau est interrompue dans une piscine

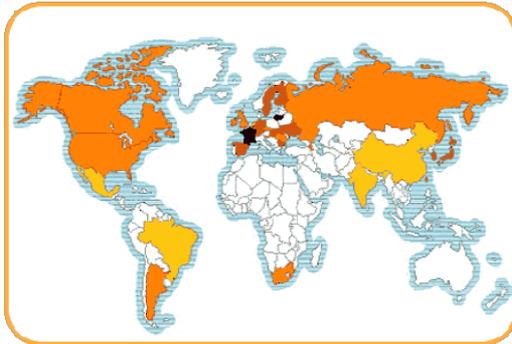
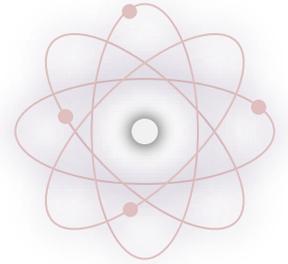
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

1 MW vaporise 1,6 tonne d'eau en 1 heure

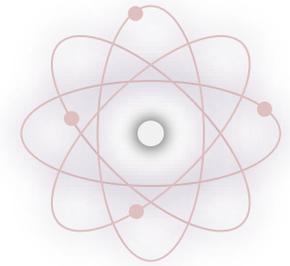


La production d'énergie nucléaire

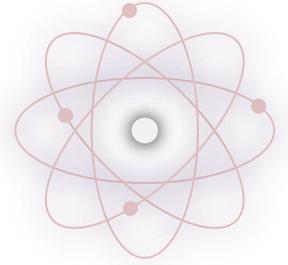


- \approx 440 réacteurs de par le monde, la $\frac{1}{2}$ aux USA (104), France (58), Japon (54)
- 32 pays équipés, 6 produisent les $\frac{3}{4}$ de l'énergie nucléaire (USA, France, Japon, Allemagne, Russie, Corée du Sud)
- Electricité nucléaire \approx 14 % de l'électricité produite dans le monde

La production d'énergie nucléaire



Pays	Nombre de réacteurs	Part de l'électricité nucléaire dans la production électrique (2009)
France	58	78 %
Belgique	7	52 %
Ukraine	15	48 %
Suède	10	35 %
Corée du Sud	21	35 %
Japon	54	29 %
Allemagne	17	26 %
Etats-Unis	104	20 %
Chine	14	2 %
Monde	440	14 %



Merci pour votre attention

