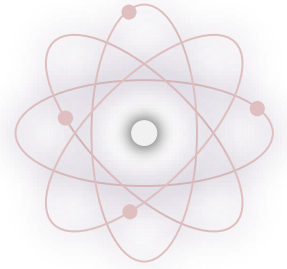


# L'énergie nucléaire: Physique & radioprotection

Thierry Bastin



# Plan de l'exposé



1. La radioactivité

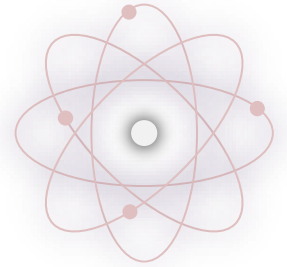


2. La production d'énergie nucléaire :

principes physiques de base



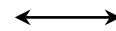
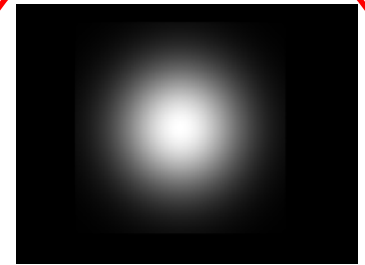
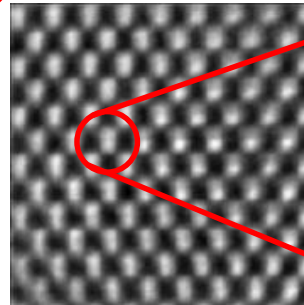
# La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

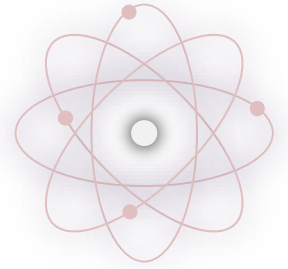


www.webelements.com



0,1 nm =  
0,0001  $\mu\text{m}$  =  
0,0000001 mm

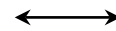
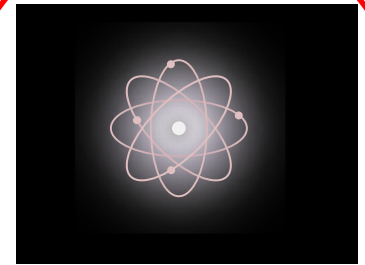
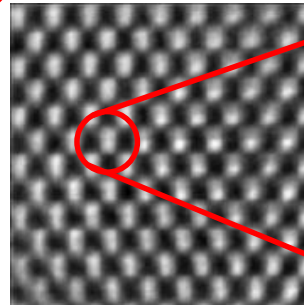
# La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

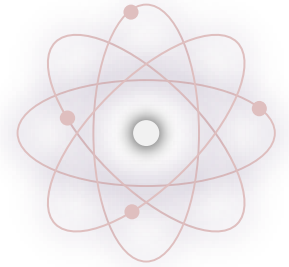


www.webelements.com



0,1 nm =  
0,0001  $\mu\text{m}$  =  
0,0000001 mm

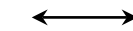
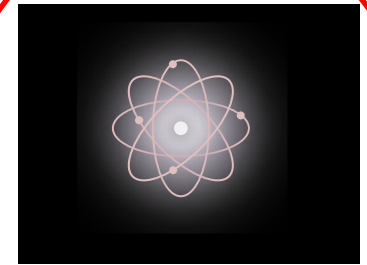
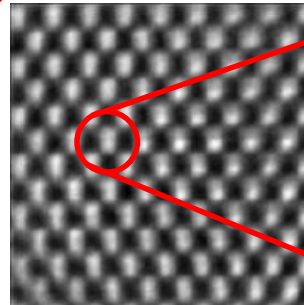
# La radioactivité



- La matière est constituée d'atomes

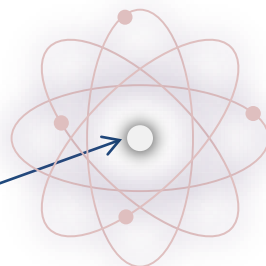


www.webelements.com



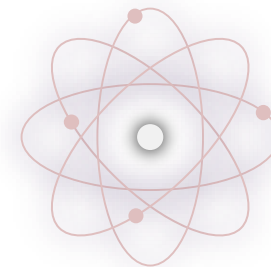
0,1 nm =  
0,0001  $\mu\text{m}$  =  
0,0000001 mm

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



Electrons  
(chargés -)

# La radioactivité



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

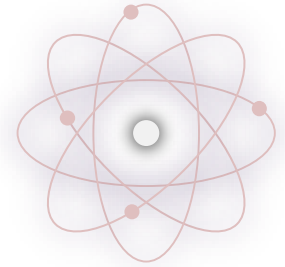
Ils ont tous un nom et un symbole :

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 :

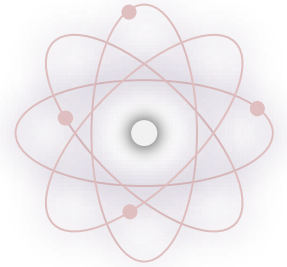
TABLEAU PERIODIQUE DES ELEMENTS



<http://www.periodni.com>

	1S IIA																		1S VIIA										
	1 IA																		1S VIIIA										
1	1																		2										
	2 IIA																		3S IIA 14 IVA 15 VA 16 VIA 17 VIIA										
2	3																		5										
	4																		6										
3	5																		7										
	6																		8										
4	7																		9										
	8																		10										
5	9																		11										
	10																		12										
6	11																		13										
	12																		14										
7	13																		15										
	14																		16										
8	15																		17										
	16																		18										
9	17																		19										
	18																		20										
10	19																		21										
	20																		22										
11	21																		23										
	22																		24										
12	23																		25										
	24																		26										
13	25																		27										
	26																		28										
14	27																		29										
	28																		30										
15	29																		31										
	30																		32										
16	31																		33										
	32																		34										
17	33																		35										
	34																		36										
18	35																		37										
	36																		38										
19	37																		39										
	38																		40										
20	39																		41										
	40																		42										
21	41																		43										
	42																		44										
22	43																		45										
	44																		46										
23	45																		47										
	46																		48										
24	47																		49										
	48																		50										
25	49																		51										
	50																		52										
26	51																		53										
	52																		54										
27	53																		55										
	54																		56										
28	55																		57-71										
	56																		72										
29	57-71																		73										
	72																		74										
30	73																		75										
	74																		76										
31	75																		77										
	76																		78										
32	77																		79										
	78																		80										
33	79																		81										
	80																		82										
34	81																		83										
	82																		84										
35	83																		85										
	84																		86										
36	85																		87										
	86																		88										
37	87																		89-103										
	88																		104										
38	89-103																		105										
	104																		106										
39	105																		107										
	106																		108										
40	107																		109										
	108																		110										
41	109																		111										
	110																		112										
42	111																		113										
	112																		114										
43	113																		115										
	114																		116										
44	115																		117										
	116																		118										
45	117																		119										
	118																		120										
46	119																		121										
	120																		122										
47	121																		123										
	122																		124										
48	123																		125										
	124																		126										
49	125																		127										
	126																		128										
50	127																		129										
	128																		130										
51	129																		131										
	130																		132										
52	131																		133										
	132																		134										
53	133																		135										
	134																		136										
54	135																		137										
	136																		138										
55	137																		139										
	138																		140										
56	139																		141										
	140																		142										
57	141																		143										
	142																		144										
58	143																		145										
	144																		146										
59	145																		147										
	146																		148										
60	147																		149										
	148																		150										
61	149																		151										
	150																		152										
62	151																		153										
	152																		154										
63	153																		155										
	15																												

# La radioactivité

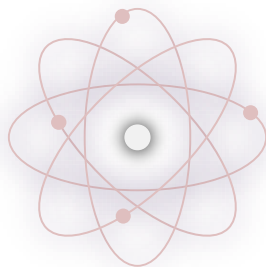


- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

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

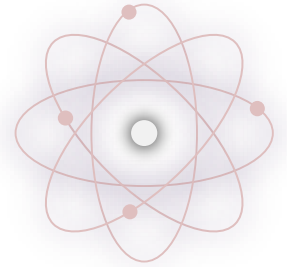
Nom	Symbole
Plomb	Pb
Radon	Rn
Radium	Ra
Uranium	U
Plutonium	Pu



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 ...

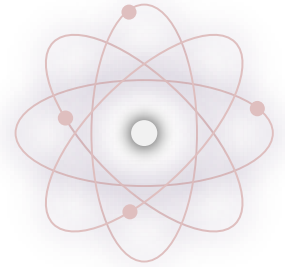
Plusieurs types d'atomes

d'hydrogène :  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$

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

-> isotopes  
(noyaux différents)

# La radioactivité



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

Ils ont tous un nom et un symbole :

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

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

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

Plusieurs types d'atomes

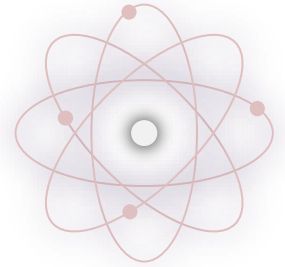
d'hydrogène :  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$

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

-> isotopes

(noyaux différents)

# La radioactivité

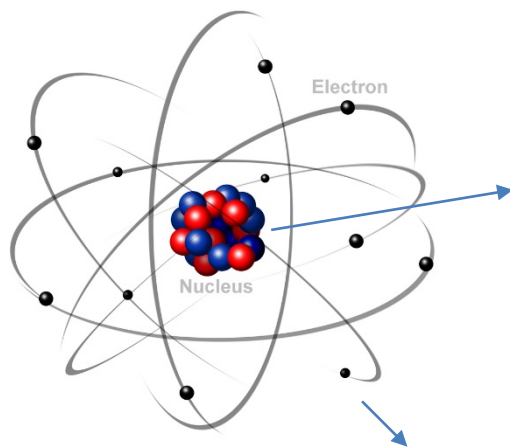


- Tous les atomes ne sont pas les mêmes ...

Ils ont tous un nom et un symbole :

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

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



Noyau:

- Protons (+)
- Neutrons

Electron (-)

# Protons = # électrons = nombre Z

Protons & neutrons = nucléons

# nucléons = nombre de masse A

Z -> type d'atome X

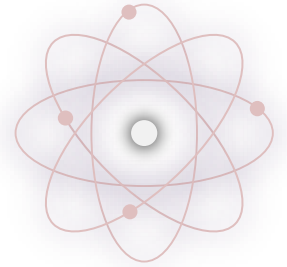
A -> type d'isotope



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

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

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

Plusieurs types d'atomes

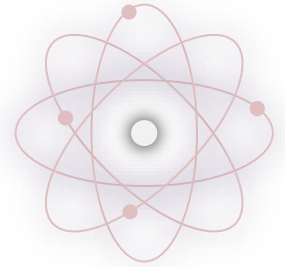
d'hydrogène :  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$

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

-> isotopes

(noyaux différents)

# La radioactivité



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

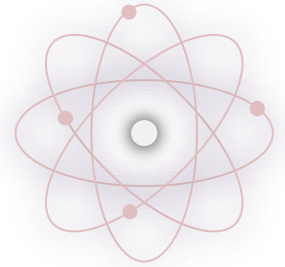
Ils ont tous un nom et un symbole :

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

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

- 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 :

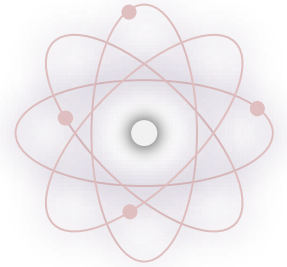
Nom	Symbole
Hydrogène	$^1\text{H}$ , $^2\text{H}$ , $^3\text{H}$
Carbone	$^{12}\text{C}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ , ...
Potassium	$^{39}\text{K}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{41}\text{K}$ , ...
Iode	$^{127}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , ...
Césium	$^{133}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , ...

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

- 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 :

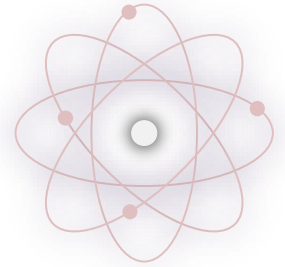
Nom	Symbole
Hydrogène	$^1\text{H}$ , $^2\text{H}$ , $^3\text{H}$
Carbone	$^{12}\text{C}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ , ...
Potassium	$^{39}\text{K}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{41}\text{K}$ , ...
Iode	$^{127}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , ...
Césium	$^{133}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , ...

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

- 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	$^1\text{H}$ , $^2\text{H}$ , $^3\text{H}$
Carbone	$^{12}\text{C}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ , ...
Potassium	$^{39}\text{K}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{41}\text{K}$ , ...
Iode	$^{127}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , ...
Césium	$^{133}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , ...

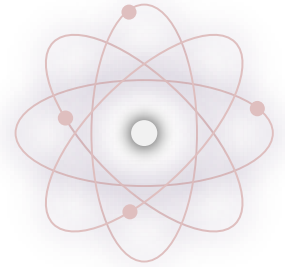
Nom	Symbole
Plomb	$^{206}\text{Pb}$ , $^{208}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Pb}$ , ...
Radon	$^{220}\text{Rn}$ , $^{222}\text{Rn}$ , ...
Radium	$^{224}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , ...
Uranium	$^{234}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ , ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ,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

- 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	$^1\text{H}$ , $^2\text{H}$ , $^3\text{H}$
Carbone	$^{12}\text{C}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ , ...
Potassium	$^{39}\text{K}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{41}\text{K}$ , ...
Iode	$^{127}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , ...
Césium	$^{133}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , ...

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

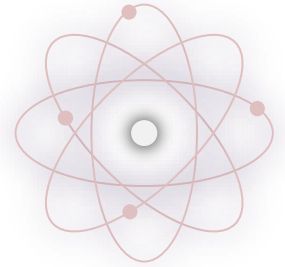
- 3 types de rayonnement émis par les atomes **RADIOACTIFS**

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

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

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

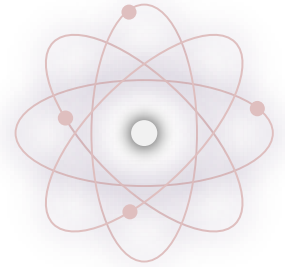
- 3 types de rayonnement émis par les atomes **RADIOACTIFS**

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

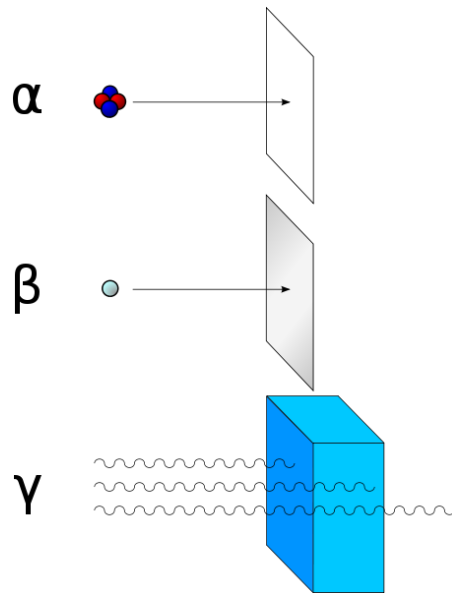
Rayonnement issu du noyau des atomes, **quand** ils se transforment

On parle de désintégration radioactive du noyau

# La radioactivité



- Les rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$



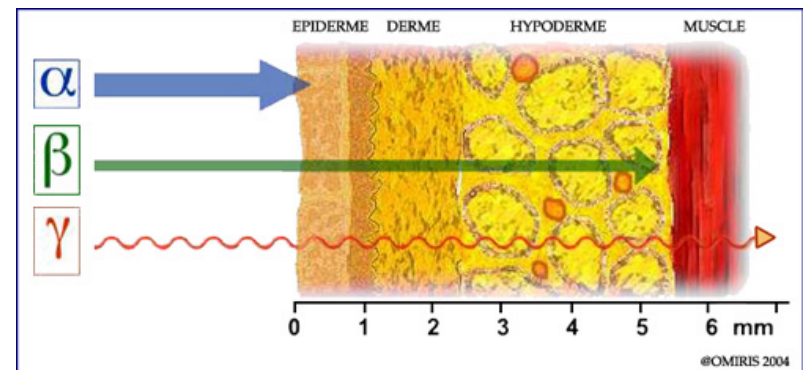
Une feuille de papier les arrête

Une plaque métallique les arrête

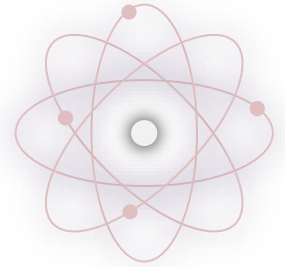
Un bloc de béton les atténue

Figure wikipedia

Rayonnements  $\alpha$  : 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 ...

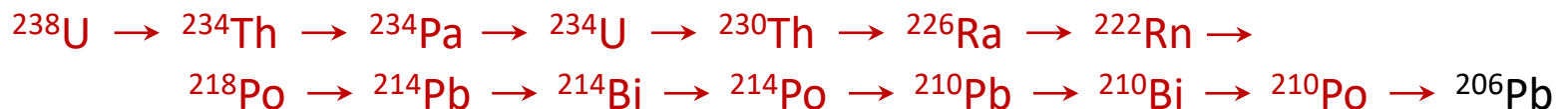
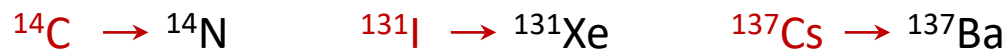
Ils ont tous un nom et un symbole :

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

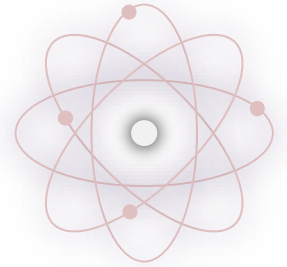
Nom	Symbole
Plomb	$^{206}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Pb}$ ( $\beta$ , $\gamma$ ), ...
Radon	$^{222}\text{Rn}$ ( $\alpha$ ), ...
Radium	$^{226}\text{Ra}$ ( $\alpha$ ), ...
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$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

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

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



# La radioactivité



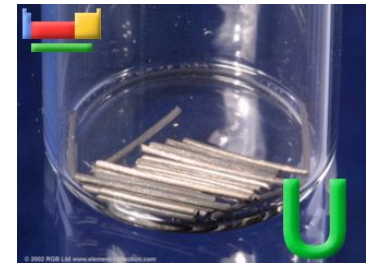
- L'activité des atomes RADIOACTIFS

Tout échantillon de matière peut contenir des atomes radioactifs

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

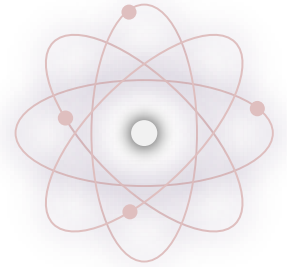
## Substances radioactives

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



[www.webelements.com](http://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)

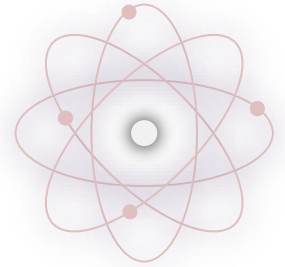
=

Nombre de désintégrations par seconde

## Exemples :

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

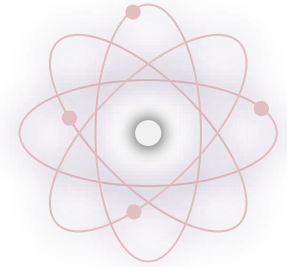
**Ce temps  $T$  = demi-vie de l'atome radioactif**

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

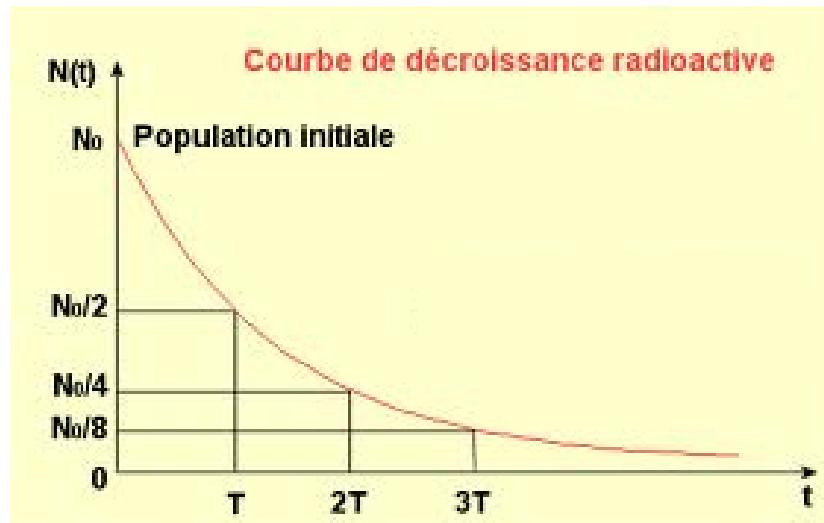
Nom	Symbole (demi-vie $T$ )
Radon	$^{220}\text{Rn}$ (56 s), $^{222}\text{Rn}$ (3.8 j), ...
Radium	$^{226}\text{Ra}$ (1600 a), $^{228}\text{Ra}$ (5.8 a), ...
Uranium	$^{238}\text{U}$ (4.5 milliards a), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ (24110 a), ...



# La radioactivité

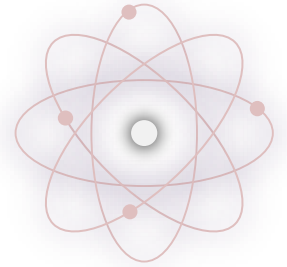


- L'activité des atomes RADIOACTIFS



Nom	Symbole (demi-vie T)	Nom	Symbole (demi-vie T)
Carbone	$^{12}\text{C}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ (5720 a), ...	Radon	$^{220}\text{Rn}$ (56 s), $^{222}\text{Rn}$ (3.8 j), ...
Potassium	$^{39}\text{K}$ , $^{40}\text{K}$ (1.3 milliards a), ...	Radium	$^{226}\text{Ra}$ (1600 a), $^{228}\text{Ra}$ (5.8 a), ...
Iode	$^{127}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ (8 j), ...	Uranium	$^{238}\text{U}$ (4.5 milliards a), ...
Césium	$^{133}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ (30 a), ...	Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ (24110 a), ...

# La radioactivité



- Radioactivité naturelle et artificielle

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

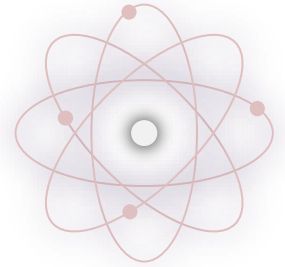
## Radioactivité naturelle

- Sol : typiquement 1 million de Bq/m<sup>3</sup> (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U, <sup>222</sup>Rn)
- Mer : 12000 Bq/m<sup>3</sup>
- Nourriture : 100 à 200 Bq/kg
- Air : 1 à 100 Bq /m<sup>3</sup> (<sup>222</sup>Rn), 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  $> 400 \text{ Bq/m}^3$ )

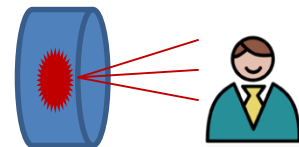
- **Irradiation, exposition** =

Exposition aux rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  issus des éléments radioactifs

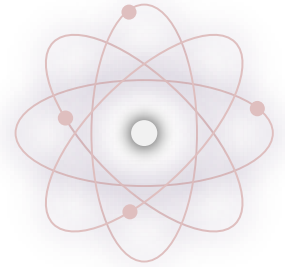
Ex : • Exposition naturelle, médicale, dans des endroits contaminés

- Exposition par contamination (externe ou interne)

On peut être irradié SANS être contaminé :



# La radioactivité



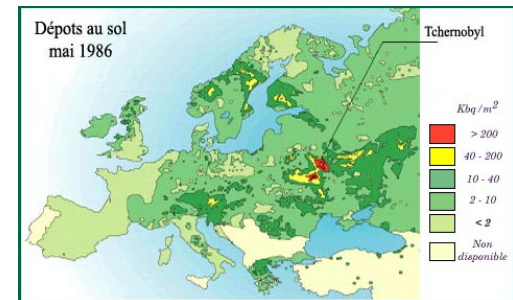
- Contamination  $\neq$  Irradiation, exposition

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

Mesure :

- Contamination des sols: en Bq/m<sup>2</sup>, ou en Bq/kg
- Contamination de l'air: en Bq/m<sup>3</sup>

## Contamination <sup>137</sup>Cs - Tchernobyl



www.laradioactivite.com

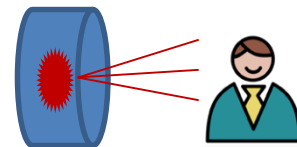
- **Irradiation, exposition** =

Exposition aux rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  issus des éléments radioactifs

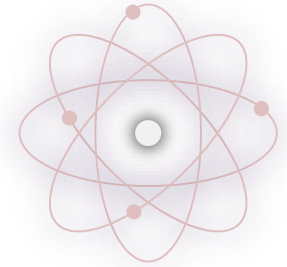
Mesure :

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

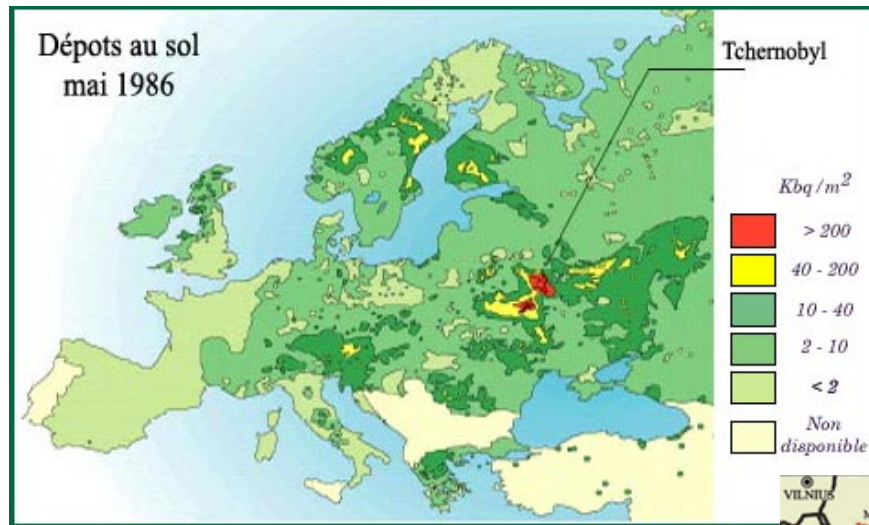
en Sievert – Sv (= unité de **dose**)



# La radioactivité



- Contamination en  $^{137}\text{Cs}$  suite à Tchernobyl



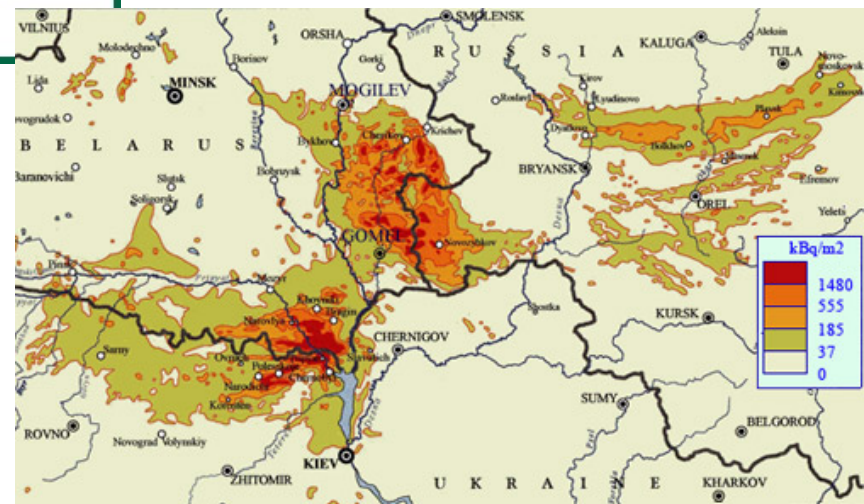
[www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

> 37  $\text{kBq/m}^2$  : territoires dits contaminés

> 555  $\text{kBq/m}^2$  : évacuation forcée des personnes

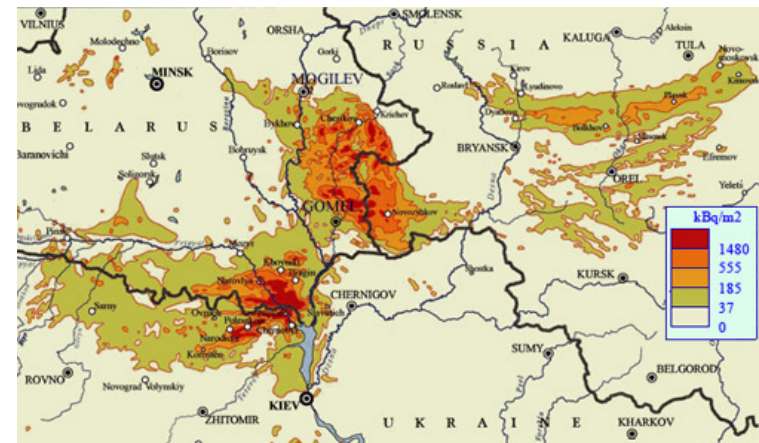
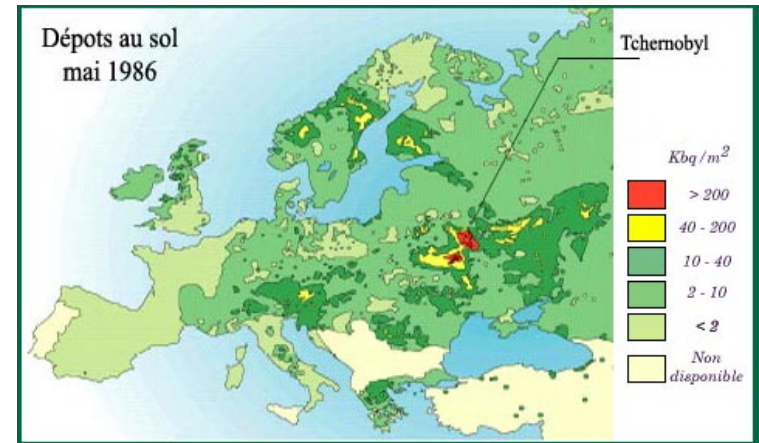
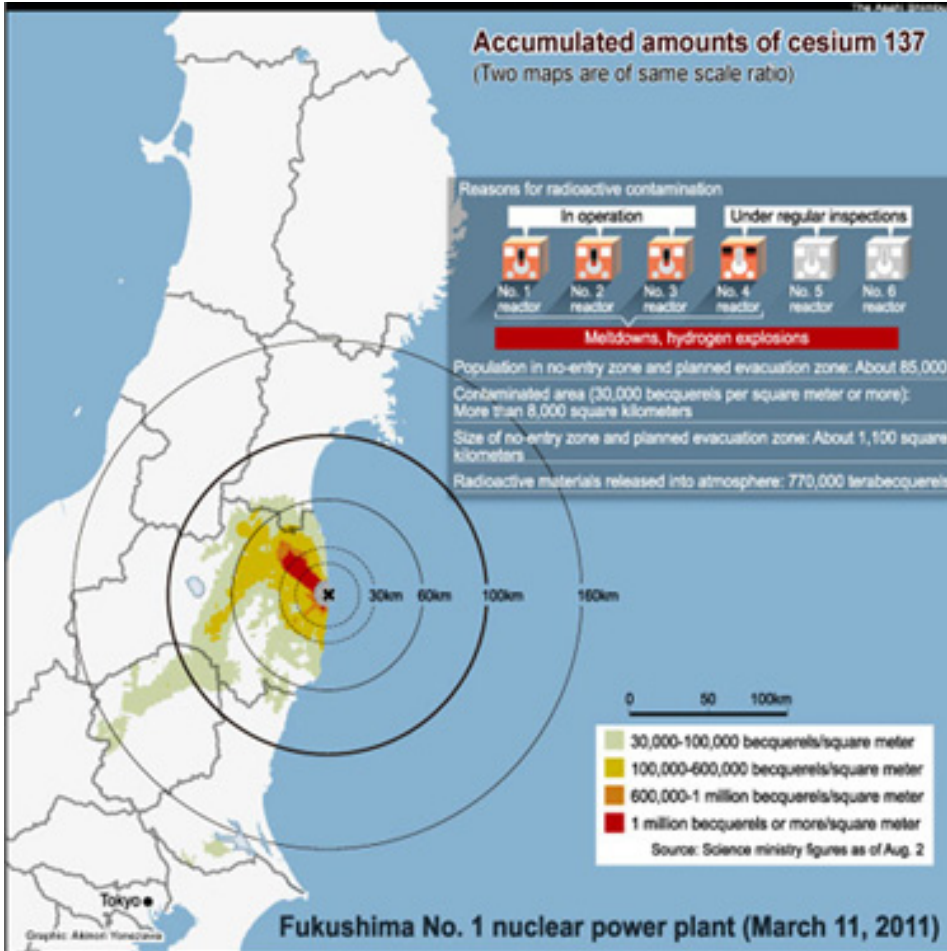
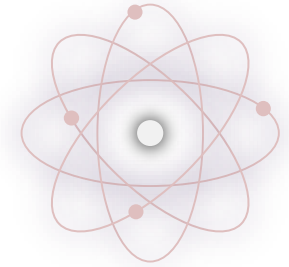
Au total:

85 millions  $\text{GBq}$  dispersés  
en  $^{137}\text{Cs}$



[www.laradioactivite.com](http://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:  $^{131}\text{I}$  (8 j) est le pb

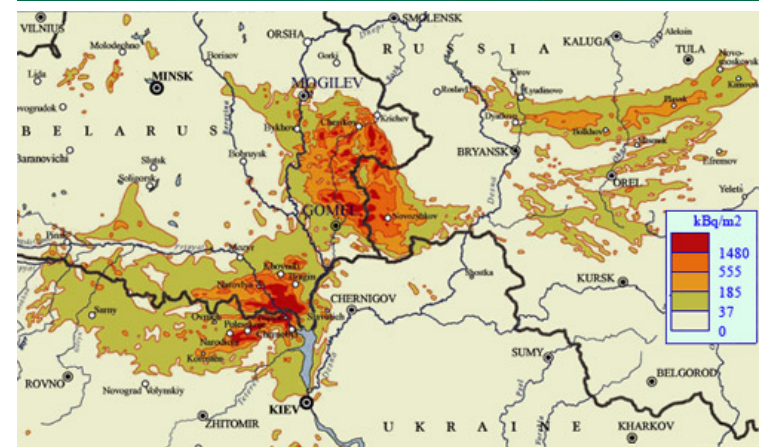
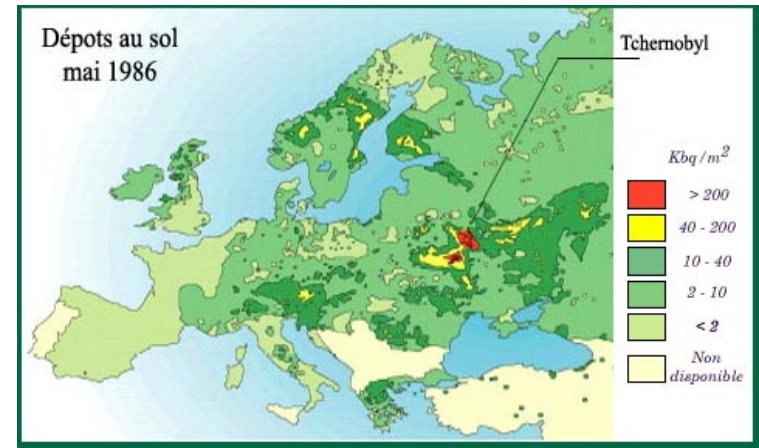
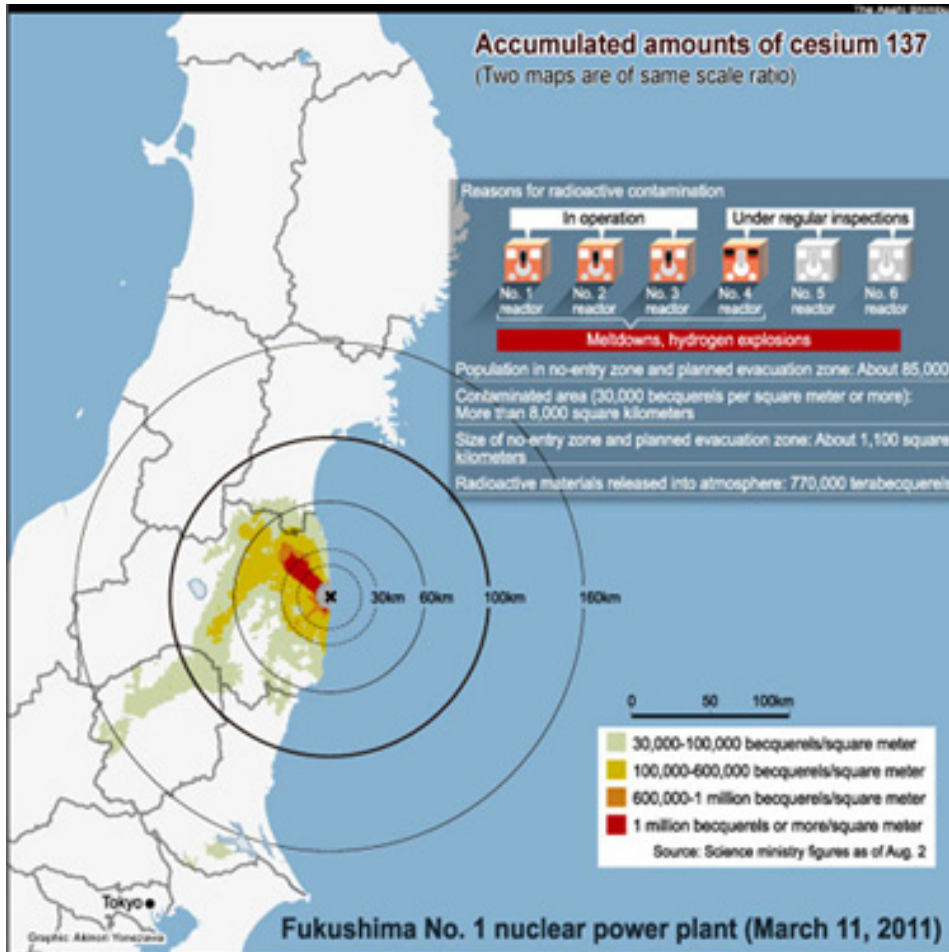
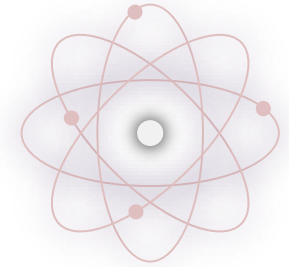
Puis:  $^{137}\text{Cs}$  (30 a) est le pb

INES

F. : 7

T. : 7

# La radioactivité



## Contamination globale <sup>137</sup>Cs:

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

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

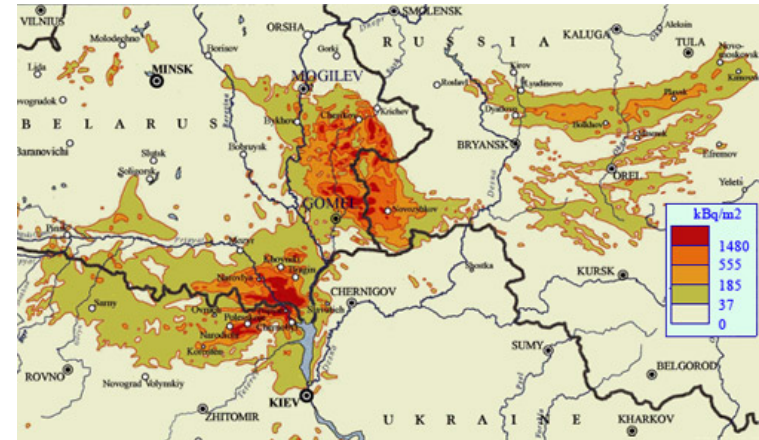
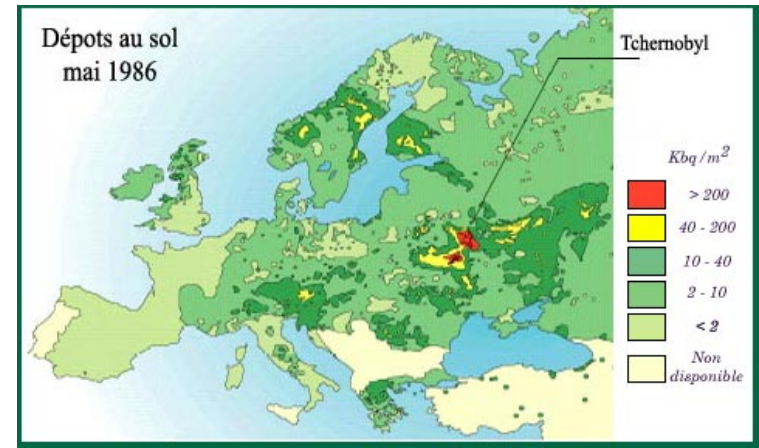
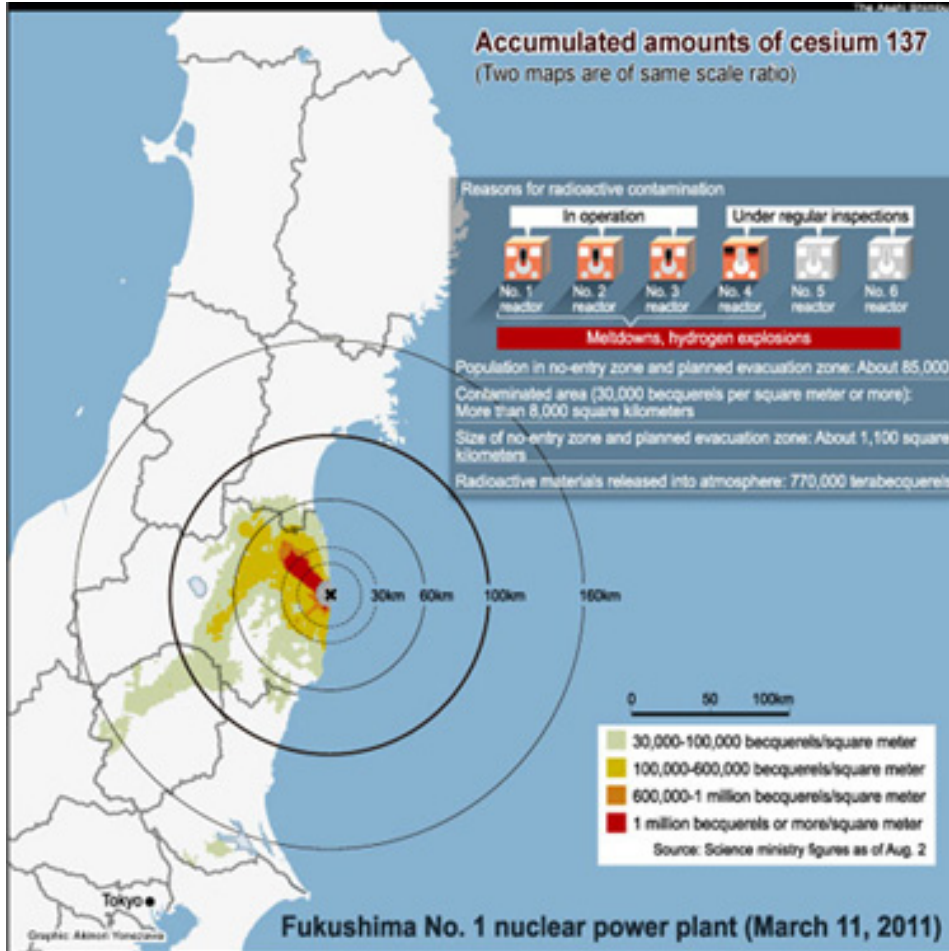
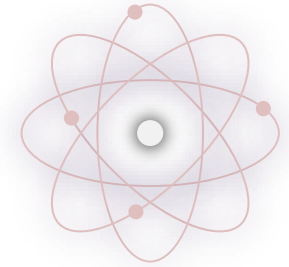
Surfaces contaminées (> 37 kBq/m<sup>2</sup> -> 0.5 mSv/an)

Fukushima ≈ 8000 km<sup>2</sup>  
 Tchernobyl ≈ 145000 km<sup>2</sup>

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

**INES**  
 F. : 7  
 T. : 7

# La radioactivité



## Contamination globale <sup>137</sup>Cs:

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

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

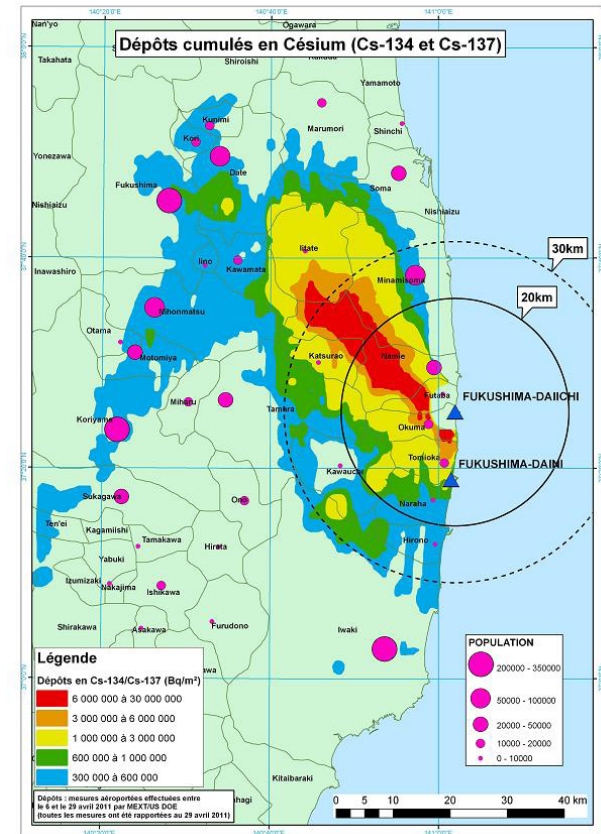
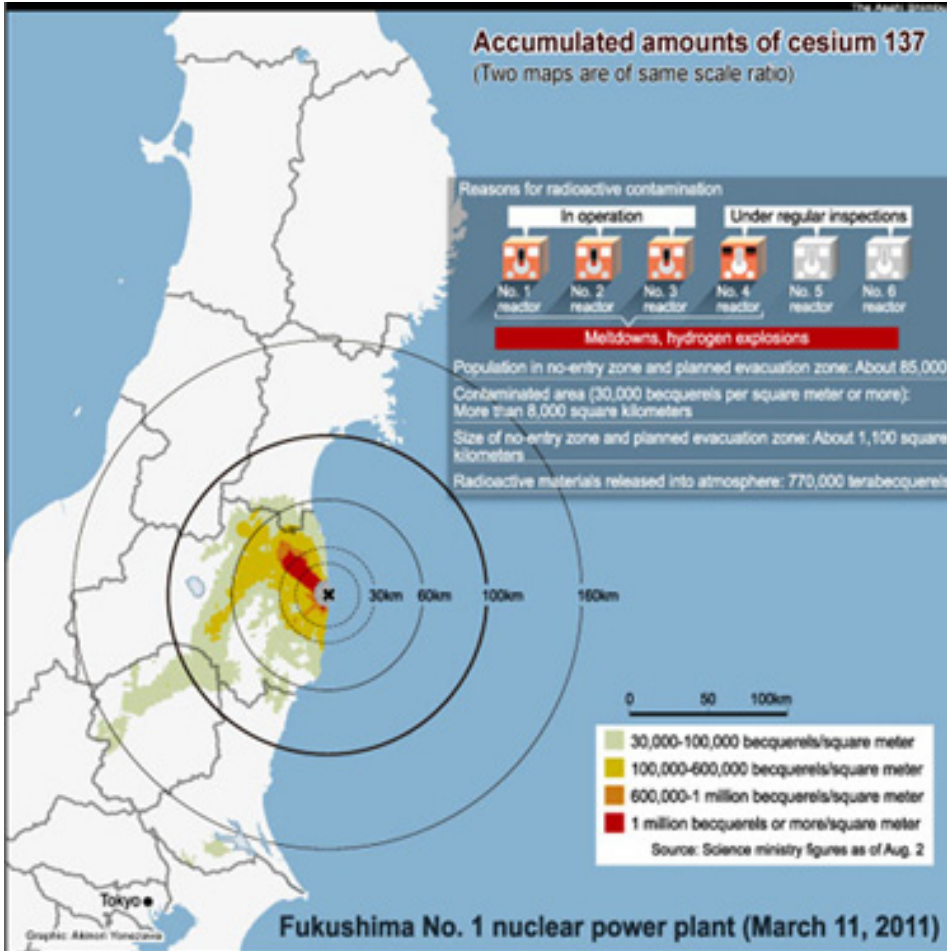
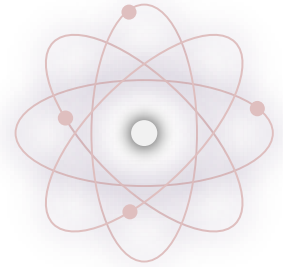
## Surfaces TRES contaminées (> 555 kBq/m² -> 9 mSv/an)

Fukushima ≈ 1000 km²  
 Tchernobyl ≈ 10000 km²

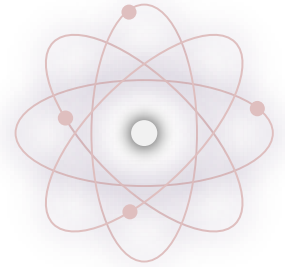
$\left. \begin{array}{l} \approx 1/10^e \\ (40\% \text{ Japon}) \end{array} \right\}$



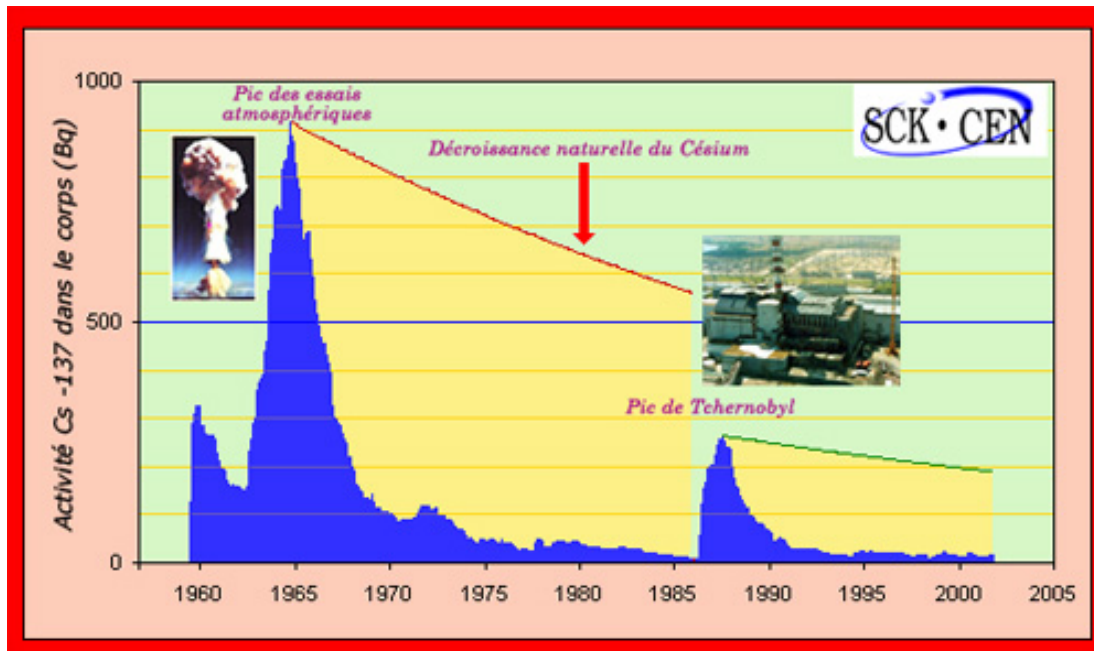
# La radioactivité



# La radioactivité



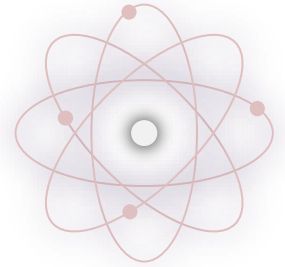
- Contamination en  $^{137}\text{Cs}$  suite aux essais nucléaires



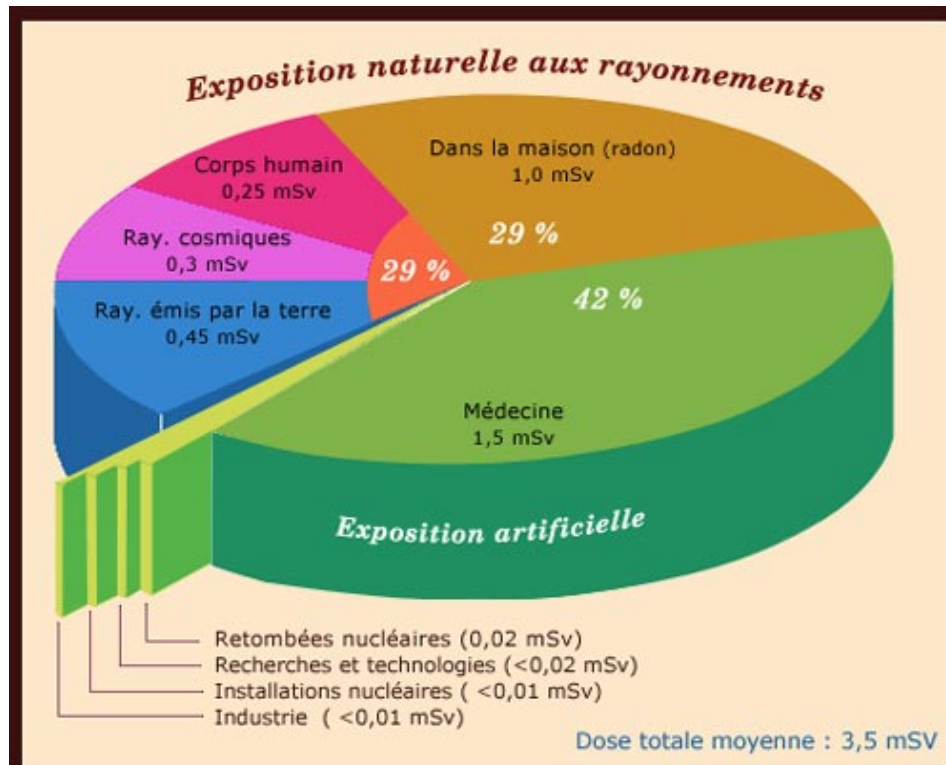
[www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

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

# La radioactivité



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



[www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

- Exposition naturelle : 2 à 2.5 mSv / an

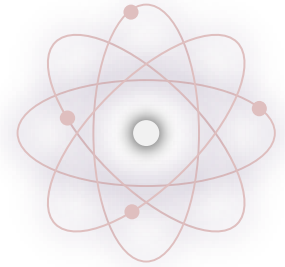
- Exposition artificielle : 1.5 mSv / an (radiographies, ...)

> 10 mSv / an sud de l'Inde

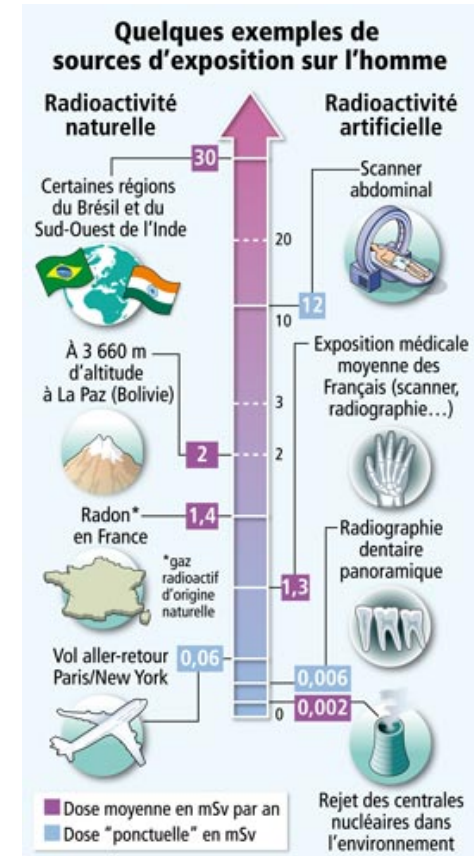
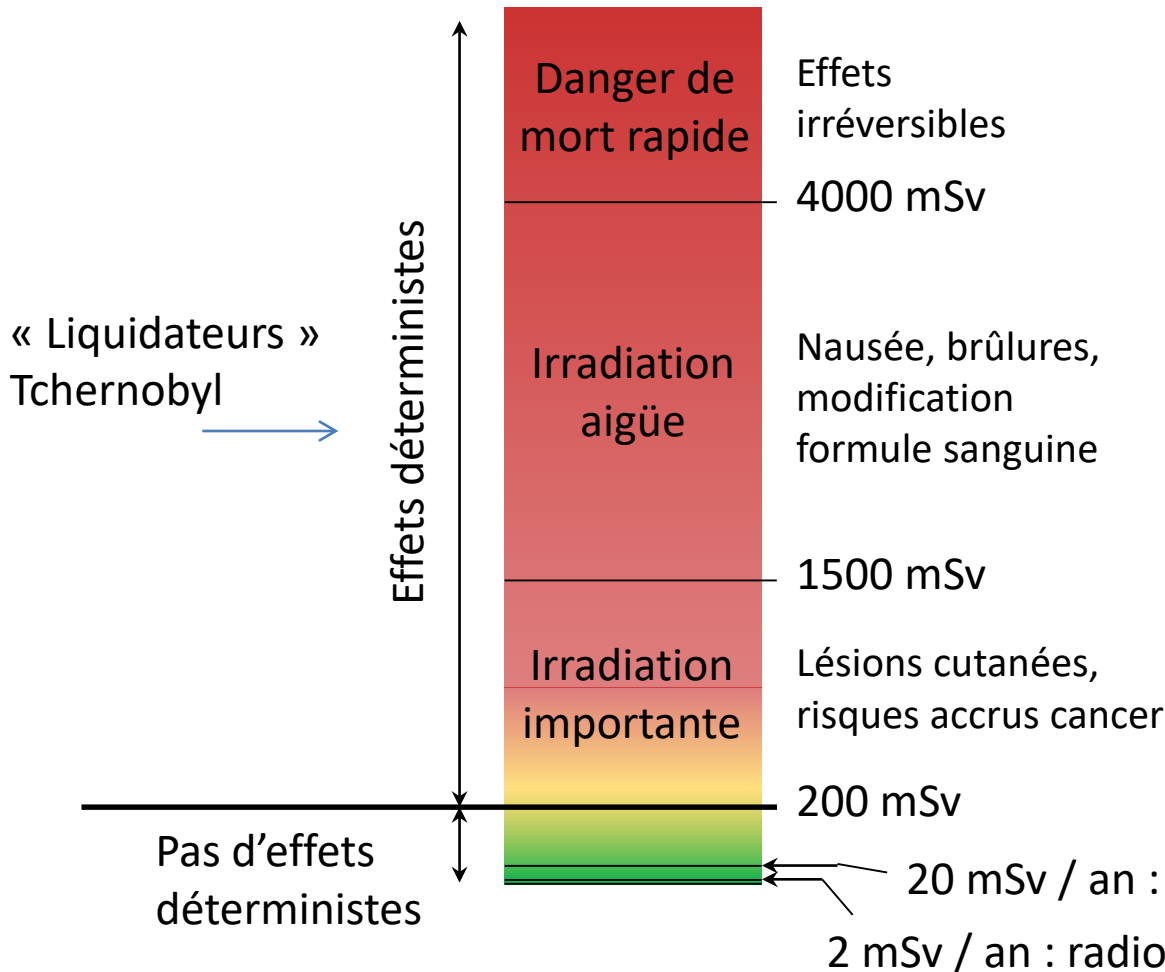
> 170 mSv / an

certaines régions - Brésil

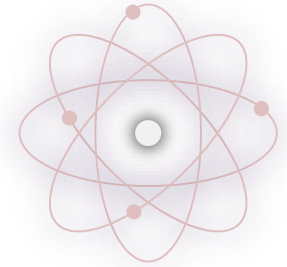
# La radioactivité



- 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**  
FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU INSTRUMENTS DE MESURE EMBLACEMENT DES BALISES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ

PROVINCE  
Liège

CP PLACE  
aucun aucun

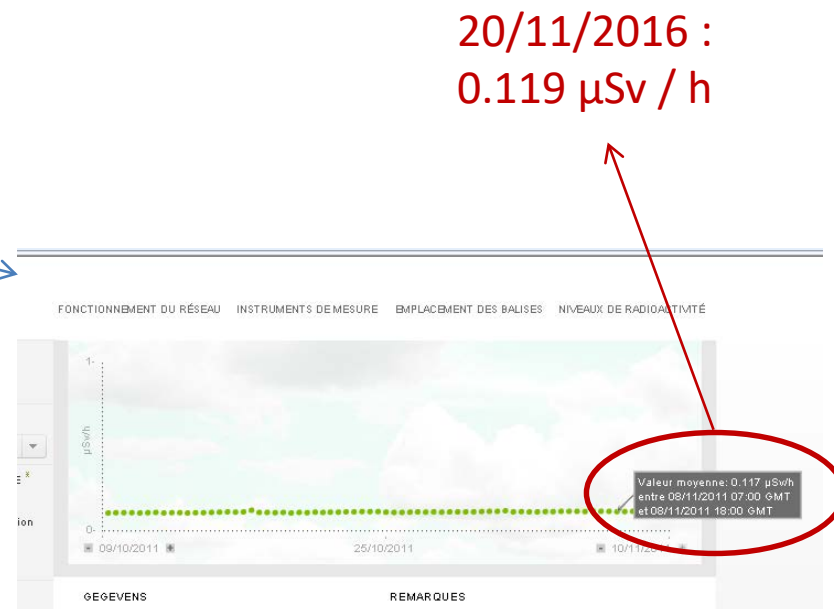
RAYON \* TYPE DE BALISE \*  
15KM  Nationale  
 Agglomération  
 Ring  
 Rivière

PERIODE \*  
De: AAAA  
A:

BALISE (Double-clic)

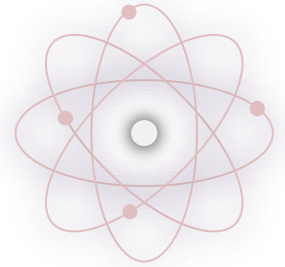
RESET

**AFCN**  
agence fédérale de contrôle nucléaire

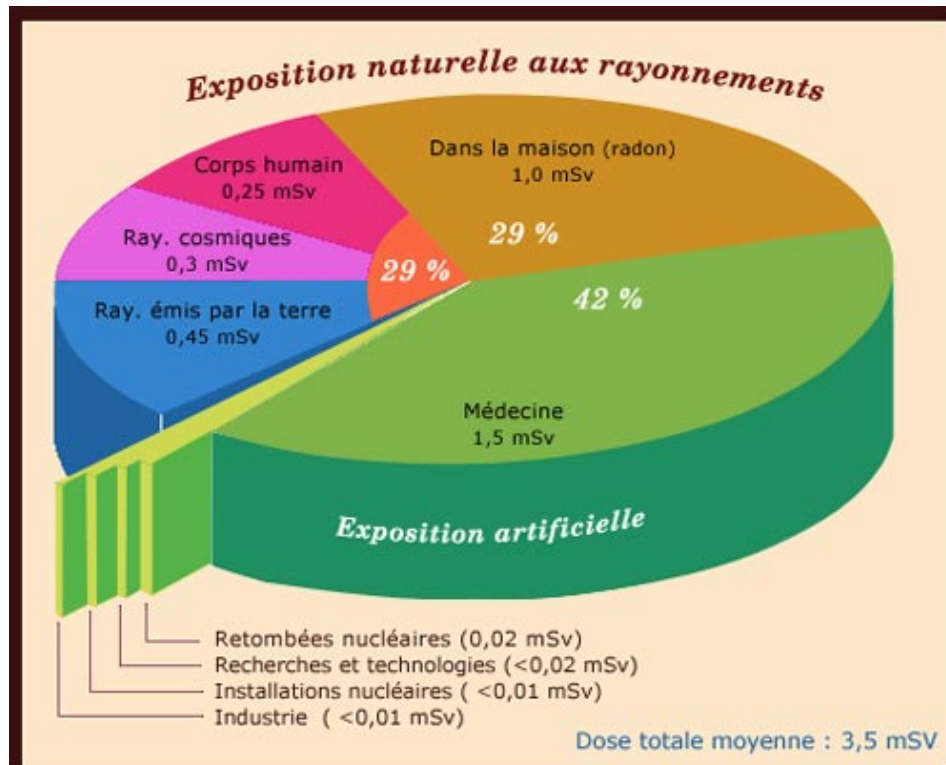


telerad.fgov.org

# La radioactivité



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



[www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

- Exposition naturelle : 2 à 2.5 mSv / an

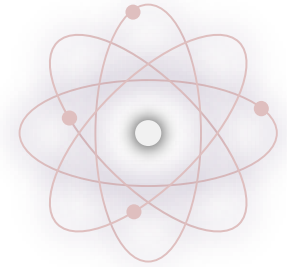
- Exposition artificielle : 1.5 mSv / an (radiographies, ...)

> 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

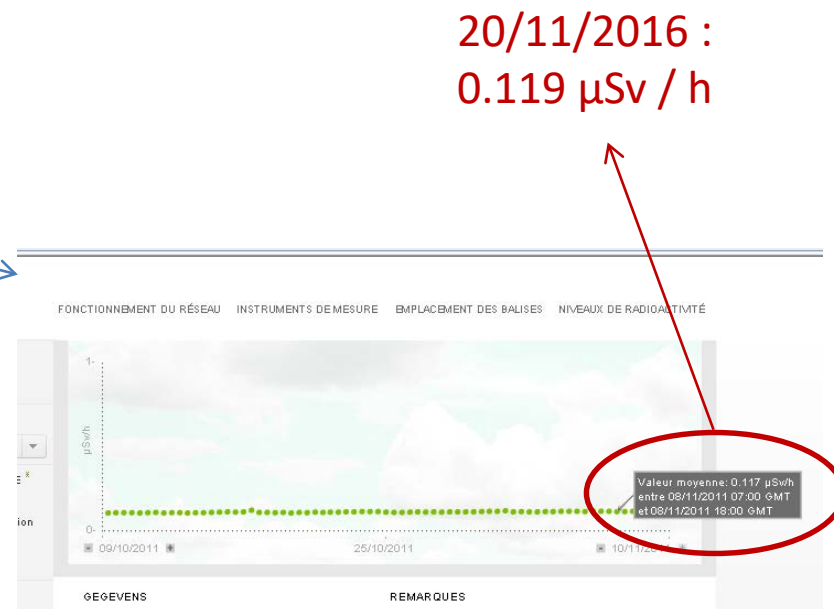
RAYON \* TYPE DE BALISE \*  
15KM  Nationale  
 Agglomération  
 Ring  
 Rivière

PERIODE \*  
De: AAAA  
A:

BALISE (Double-clic)

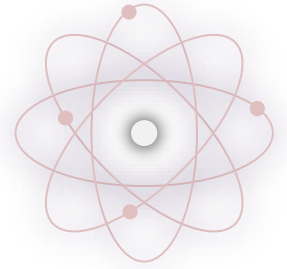
RESET

**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 »

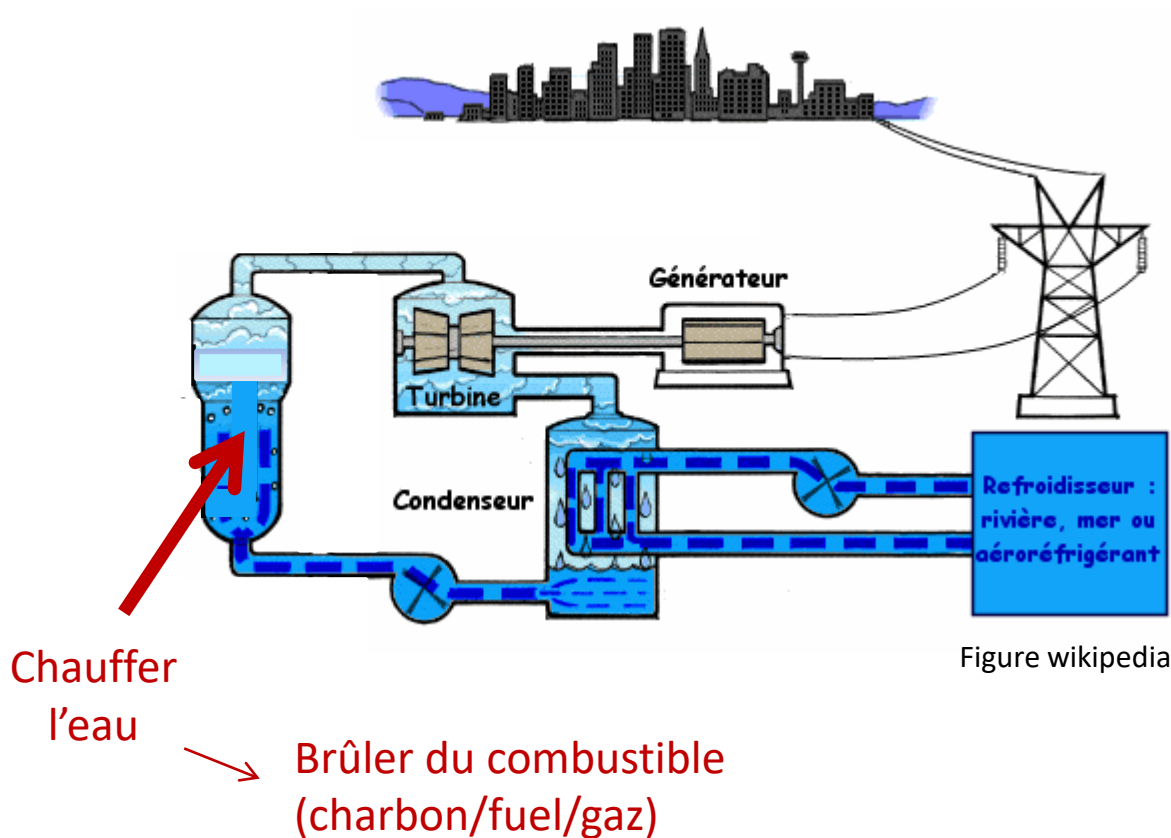
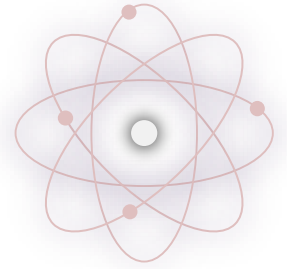


Figure wikipedia





# La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

« Une grosse machine à vapeur »

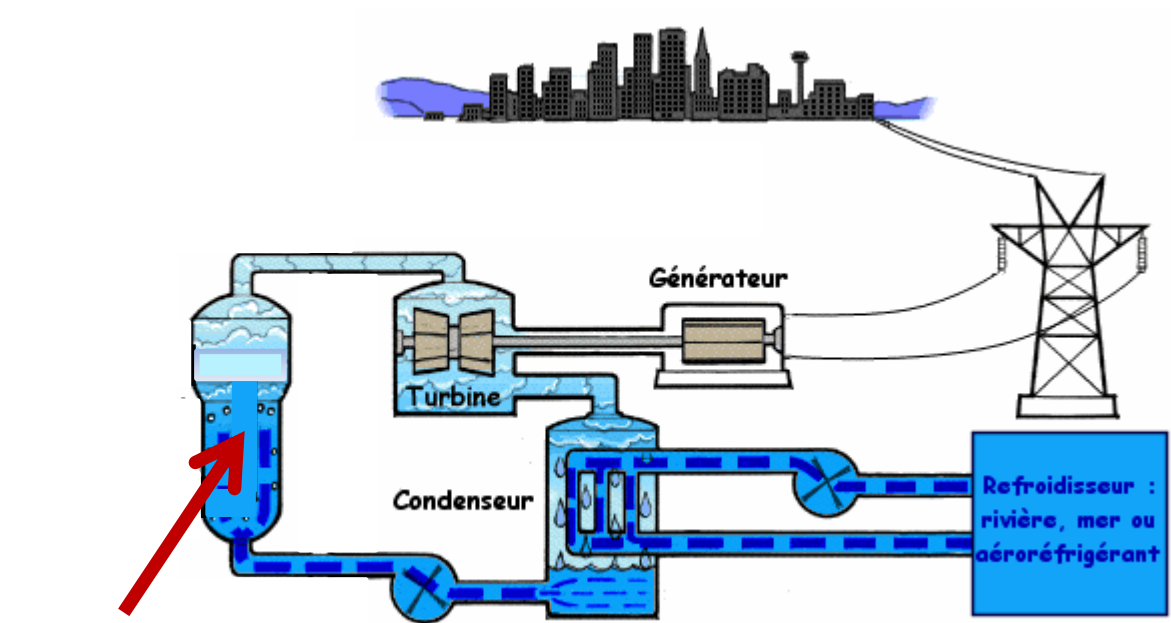


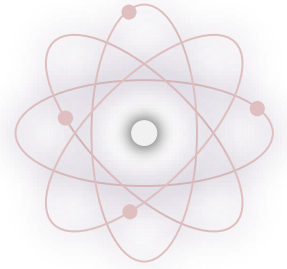
Figure wikipedia



Chauffer  
l'eau

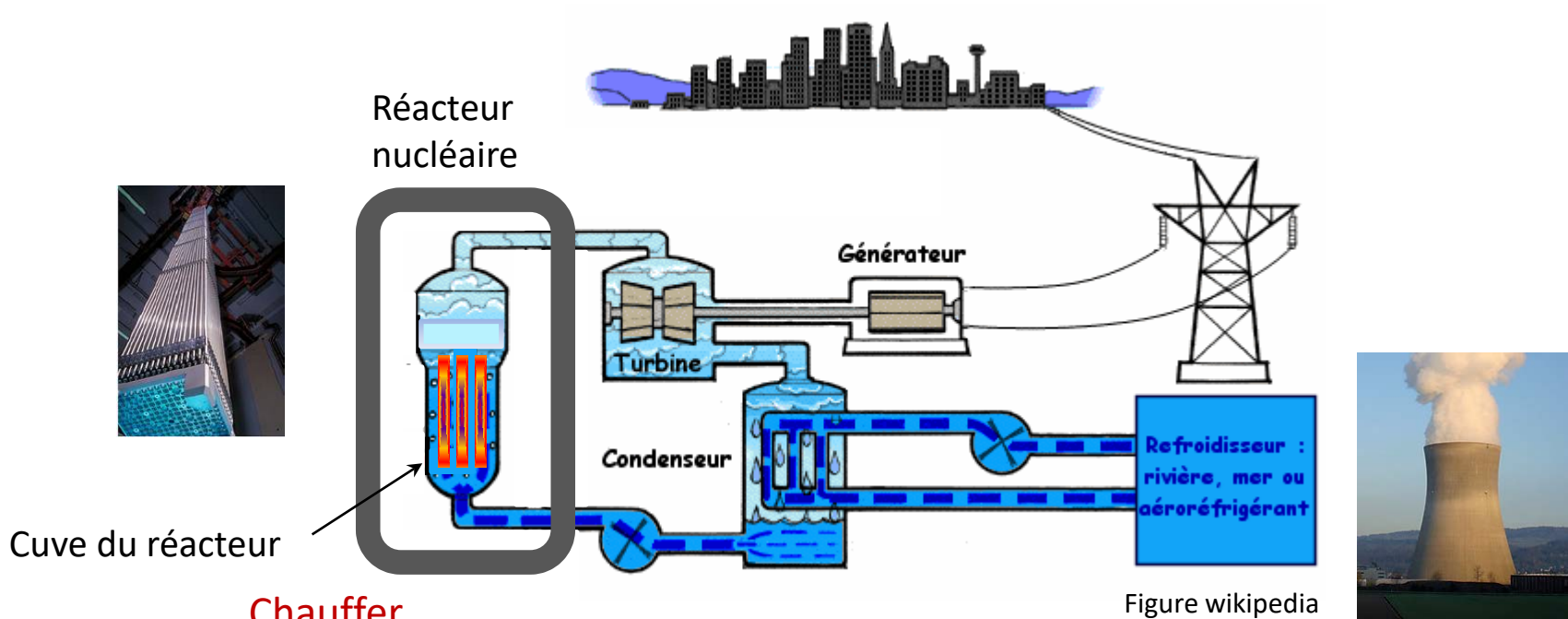
→ Mettre des barreaux d'uranium dans l'eau  
et faire démarrer des réactions nucléaires

# La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

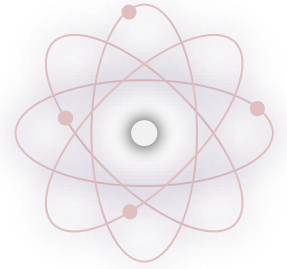
« Une grosse machine à vapeur »



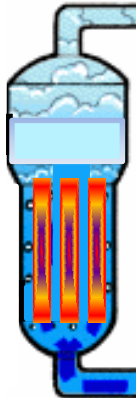
Chauffer l'eau

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

# La production d'énergie nucléaire



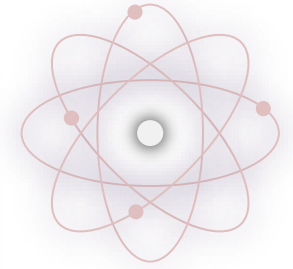
- Les barres d'uranium



## Atomes radioactifs

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

# La production d'énergie nucléaire



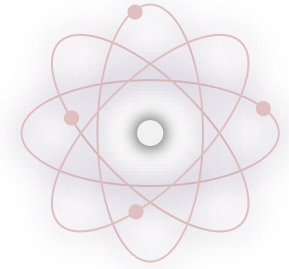
- Les barres d'uranium



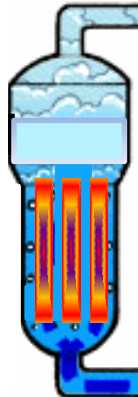
## Atomes FISSILES

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

# La production d'énergie nucléaire

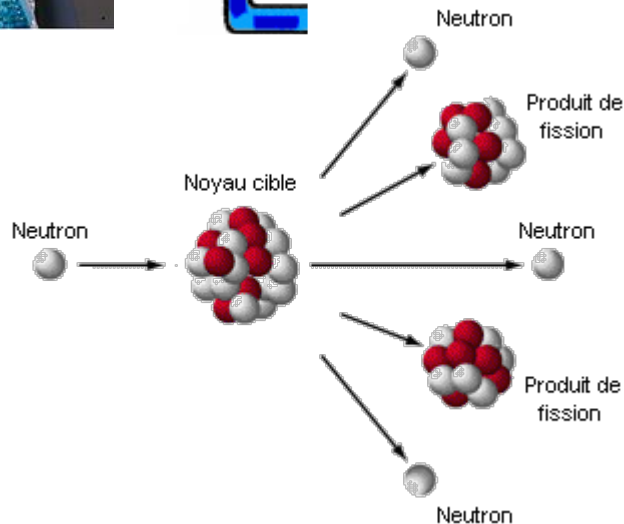


- Les barres d'uranium



## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

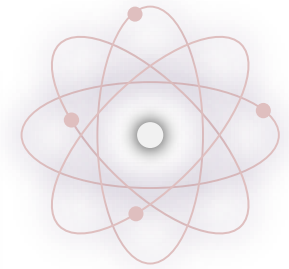


## FISSION de l'uranium

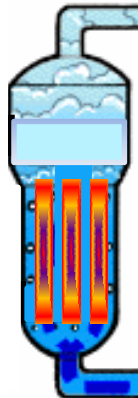


Chaque réaction de fission chauffe les barreaux d'uranium

# La production d'énergie nucléaire

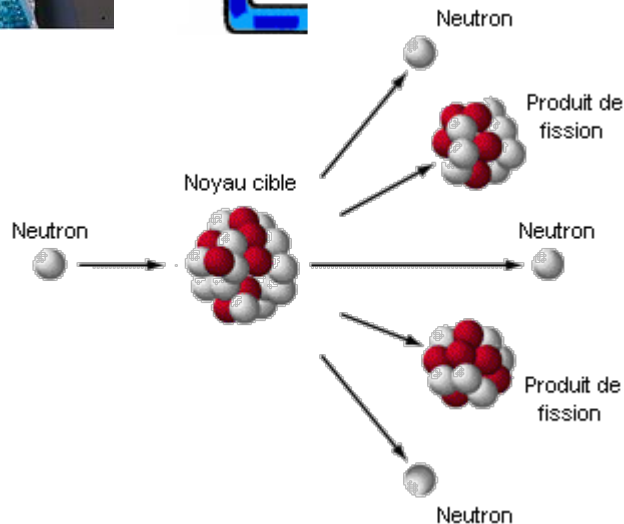


- Les barres d'uranium



## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

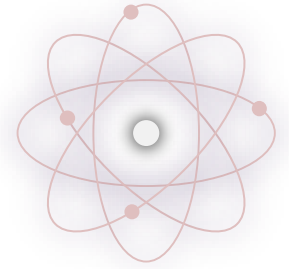


## FISSION de l'uranium



1 g d'  $^{235}\text{U}$  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

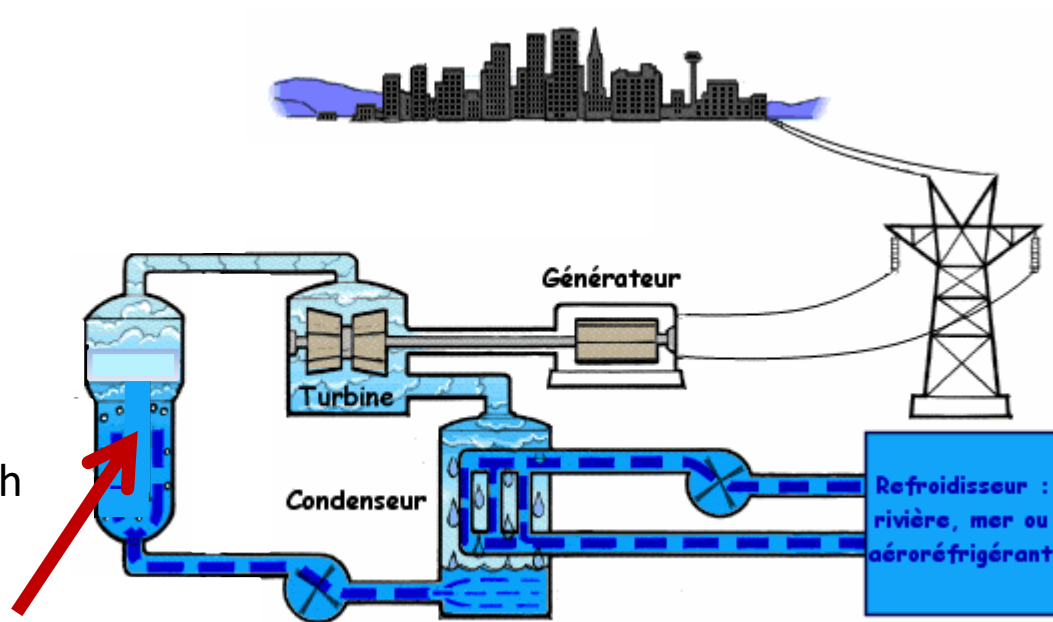
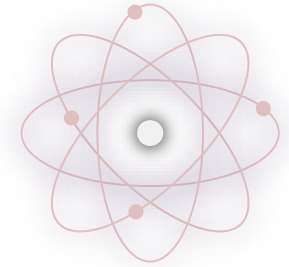


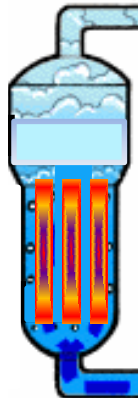
Figure wikipedia



# La production d'énergie nucléaire



- Les barres d'uranium

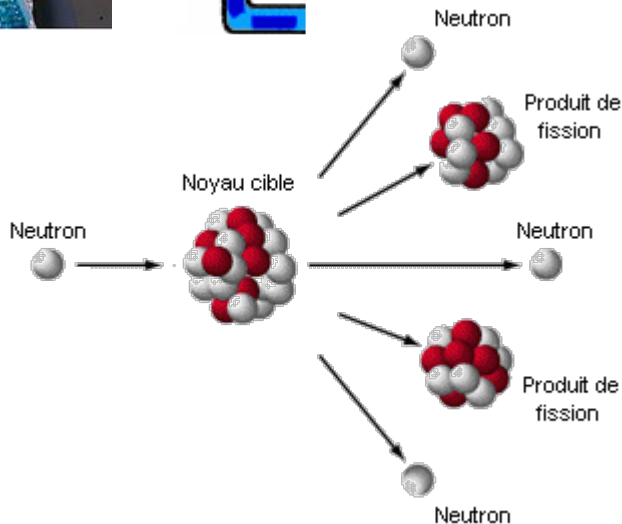
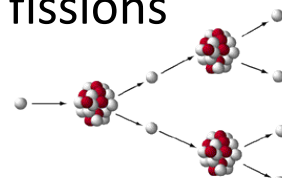


## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

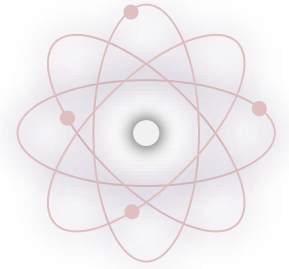
## Produits de la réaction

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

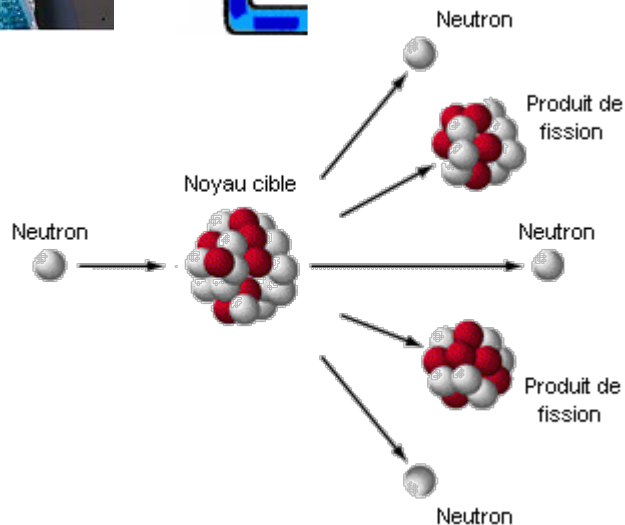
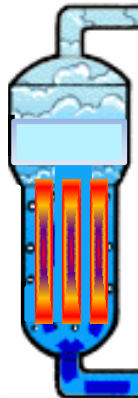




# La production d'énergie nucléaire



- Les barres d'uranium



## Réaction en chaîne

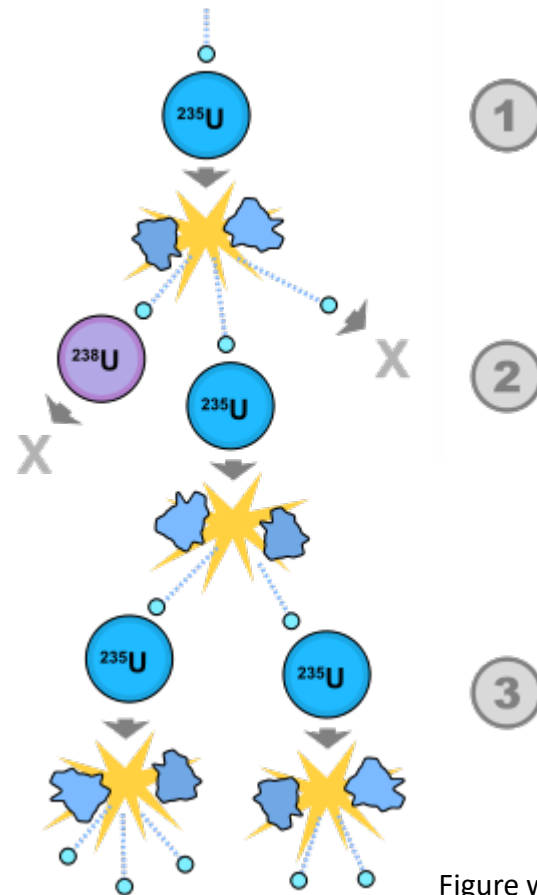
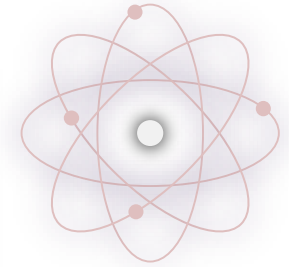
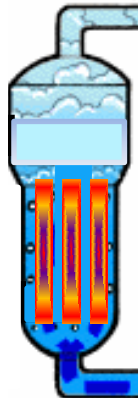


Figure wikipedia

# La production d'énergie nucléaire

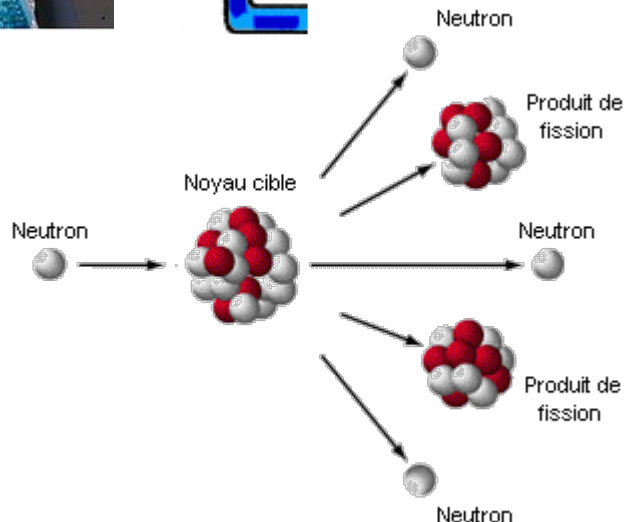


- Les barres d'uranium



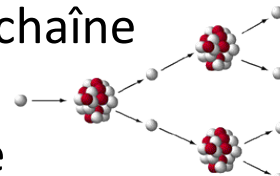
## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

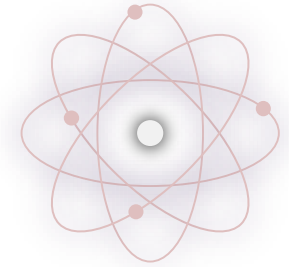


## Attention

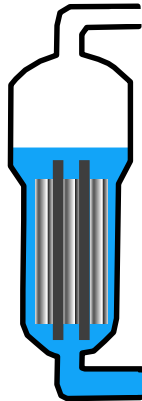
1. Seul les neutrons lents cassent l' $^{235}\text{U}$   
=> à ralentir (eau)
2. Seul l' $^{235}\text{U}$  est fissile  
barreau U naturel : 0.7 %  $^{235}\text{U}$ , 99.3 %  $^{238}\text{U}$   
=> Il faut enrichir en  $^{235}\text{U}$  (-> 3 à 4 %)
3. Il faut contrôler la réaction en chaîne  
=> barres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



# La production d'énergie nucléaire

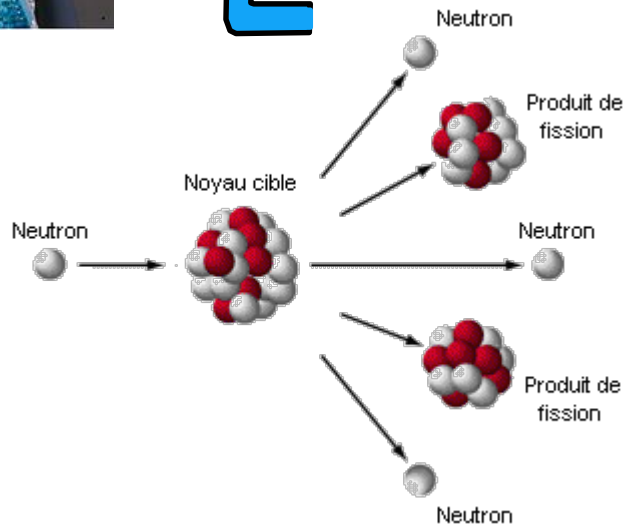


- Les barres d'uranium



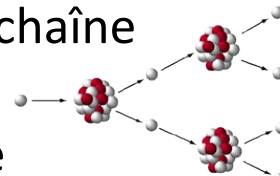
## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

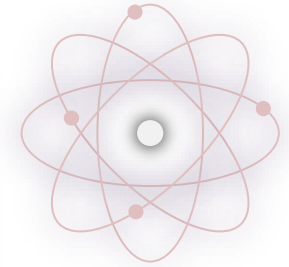


## Attention

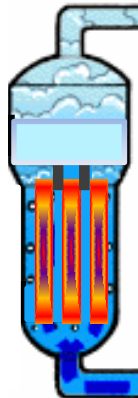
1. Seul les neutrons lents cassent l' $^{235}\text{U}$   
=> à ralentir (eau)
2. Seul l' $^{235}\text{U}$  est fissile  
barreau U naturel : 0.7 %  $^{235}\text{U}$ , 99.3 %  $^{238}\text{U}$   
=> Il faut enrichir en  $^{235}\text{U}$  (-> 3 à 4 %)
3. Il faut contrôler la réaction en chaîne  
=> barres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



# La production d'énergie nucléaire

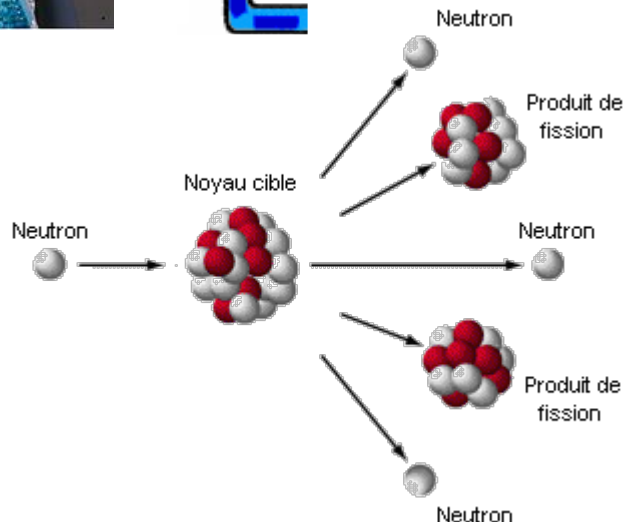


- Les barres d'uranium



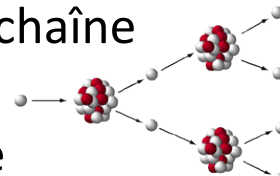
## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

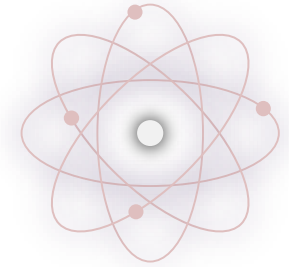


## Attention

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

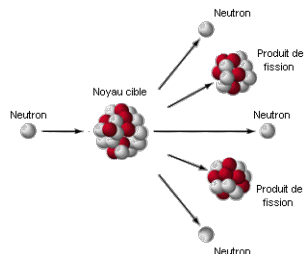
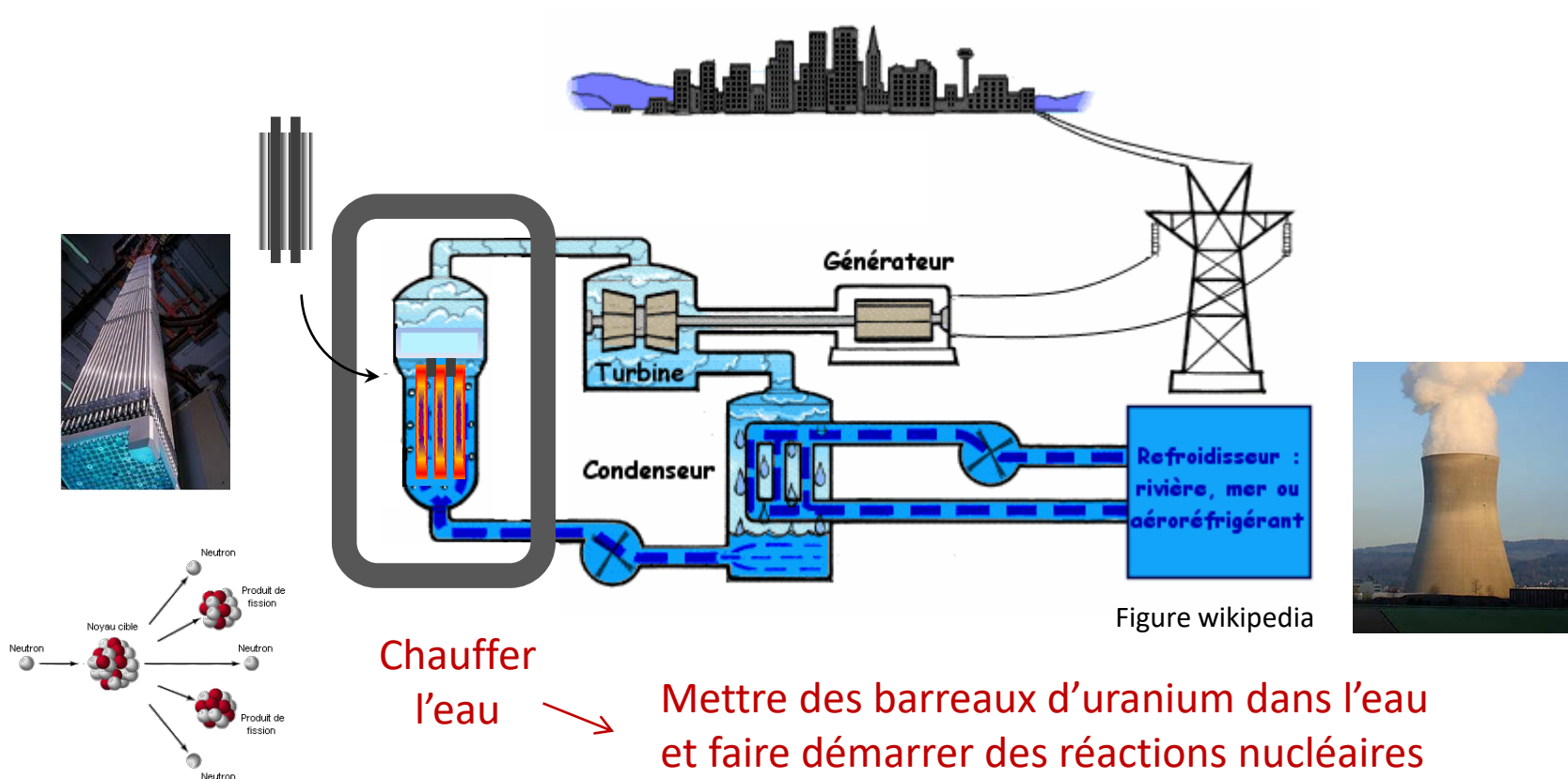


# La production d'énergie nucléaire

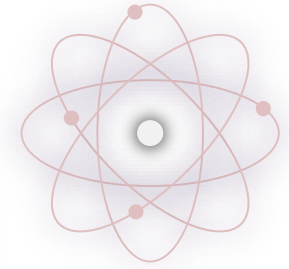


- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

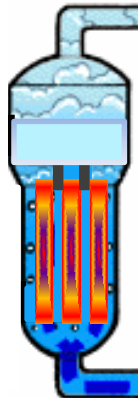
« Une grosse machine à vapeur »



# La production d'énergie nucléaire

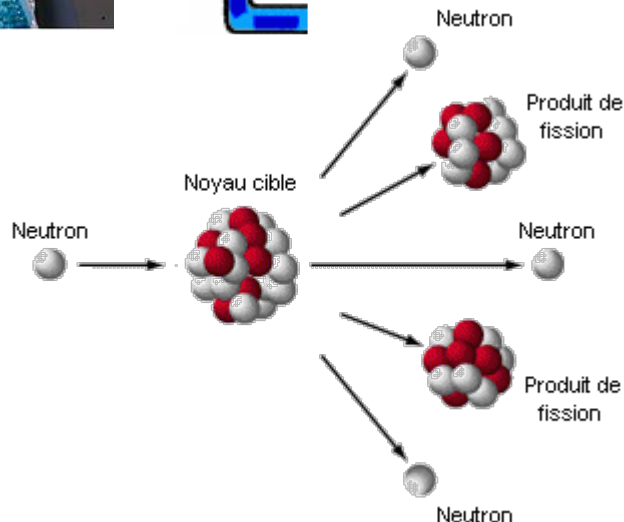


- Les barres d'uranium



## Atomes FISSILES

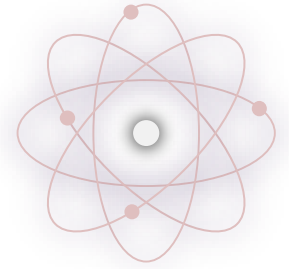
Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...



## Quelques chiffres

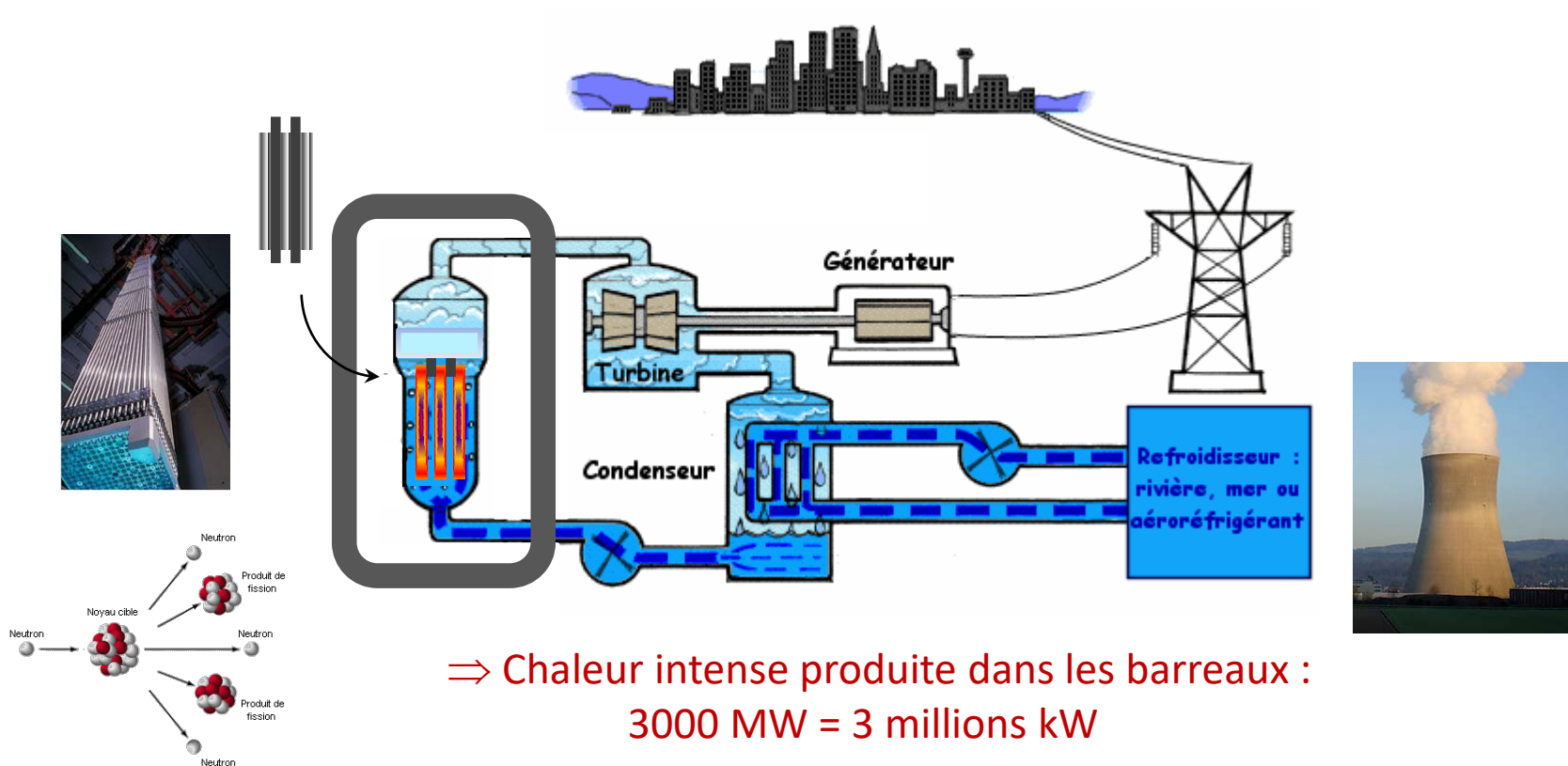
1. Une centaine de tonnes en barreau d'uranium
2. 3000 MW thermique (1000 MW électrique)
3. Accumulation de déchets radioactifs ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , ...) dans les barreaux
3. Après 18 mois, on change 1/3 barreaux

# La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

« Une grosse machine à vapeur »

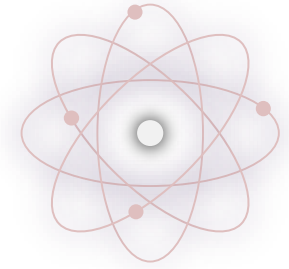


Réactions de fission

⇒ 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 ?

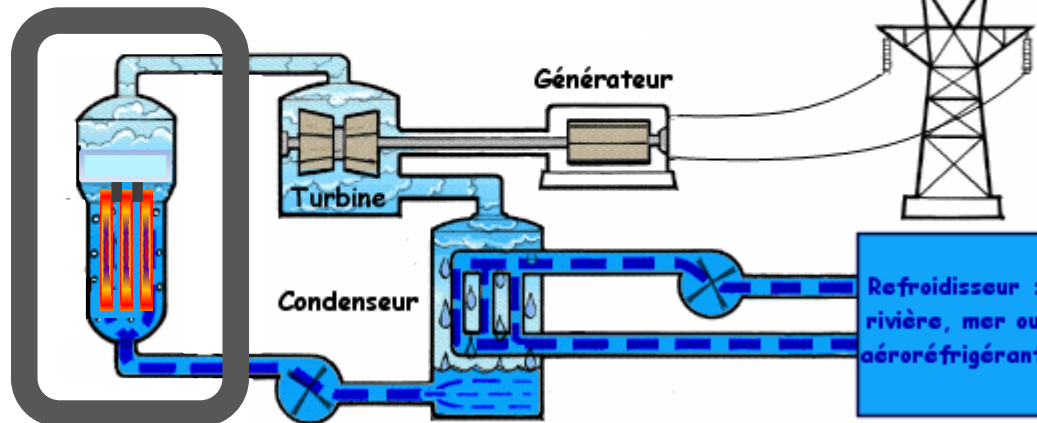
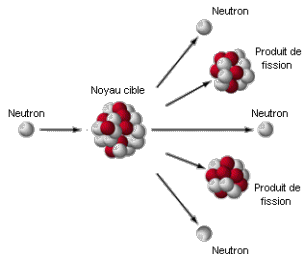


Figure wikipedia



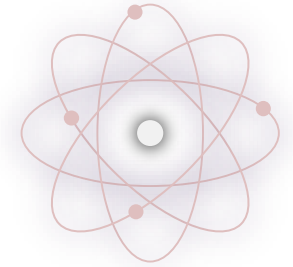
⇒ Chaleur intense produite dans les barreaux :  
3000 MW = 3 millions kW

Réactions de fission

⇒ 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

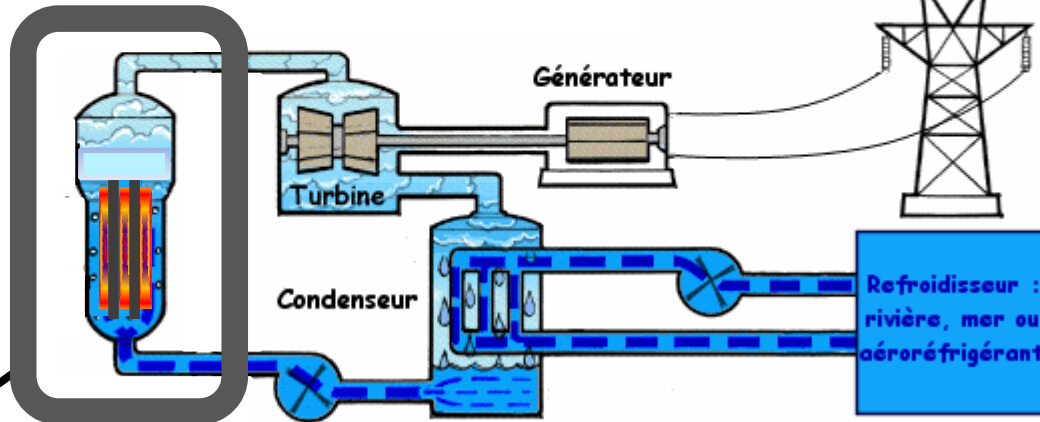
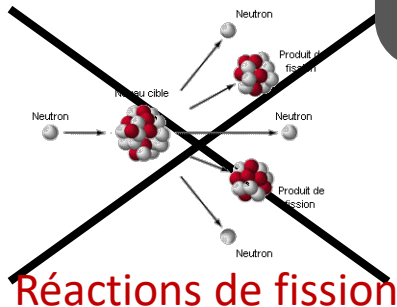
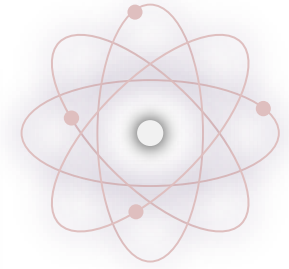


Figure wikipedia

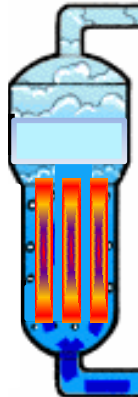


⇒ Plus de chaleur produite par les réactions de fission  
MAIS chaleur résiduelle produite par la radioactivité des produits de fission => eau continue à chauffer

# La production d'énergie nucléaire

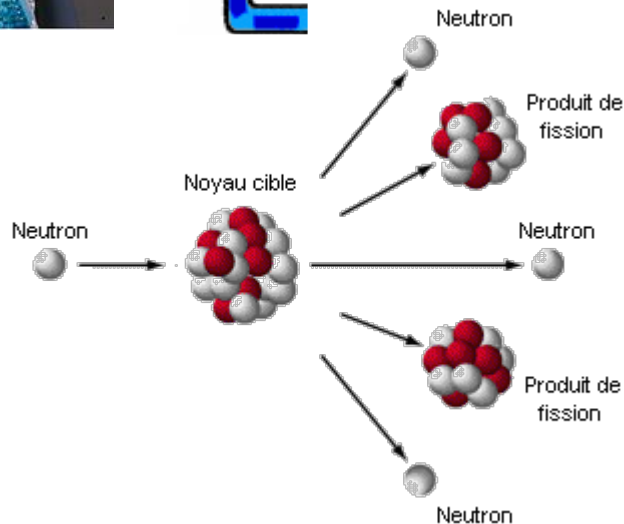


- Les barres d'uranium



## Atomes FISSILES

Nom	Symbole
Uranium	$^{235}\text{U}$ ( $\alpha$ ), $^{238}\text{U}$ ( $\alpha$ ), ...
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$ ( $\alpha$ ), $^{241}\text{Pu}$ ( $\beta$ ), ...

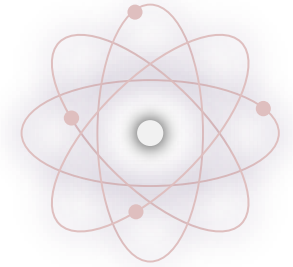


## FISSION de l'uranium



Chaque réaction de fission chauffe les barreaux d'uranium

# La production d'énergie nucléaire



- Produire de l'électricité: les centrales nucléaires

Comment arrêter ? Descendre les barres de contrôle

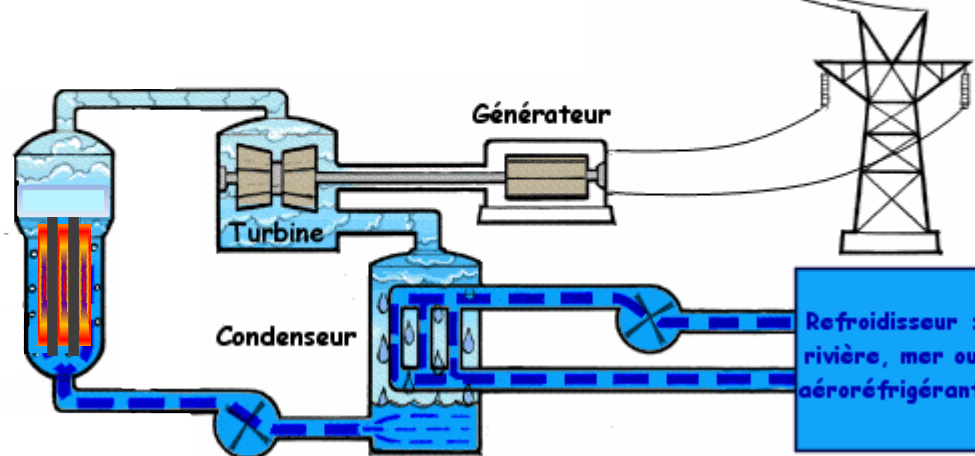
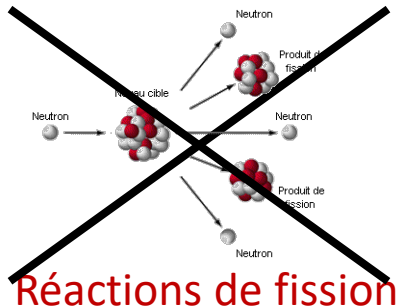
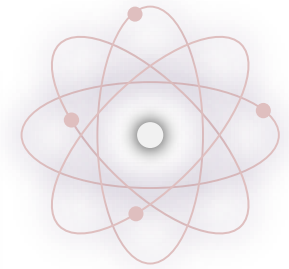


Figure wikipedia

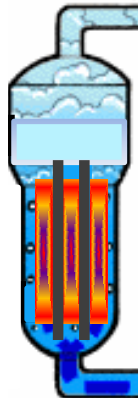


⇒ Plus de chaleur produite par les réactions de fission  
MAIS chaleur résiduelle produite par la radioactivité des produits de fission => eau continue à chauffer

# La production d'énergie nucléaire

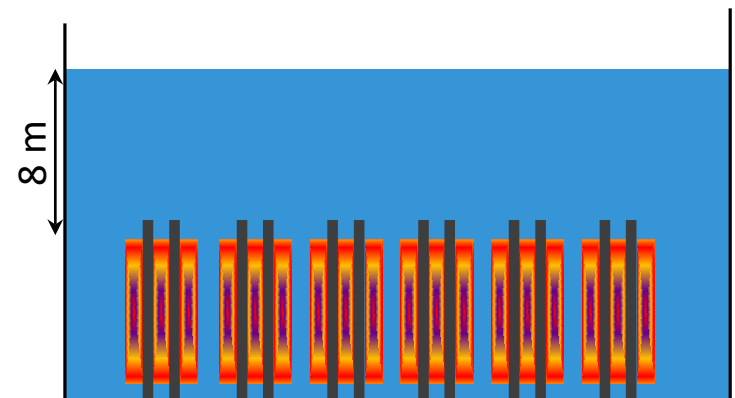


- La chaleur résiduelle

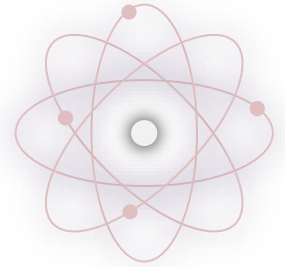


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

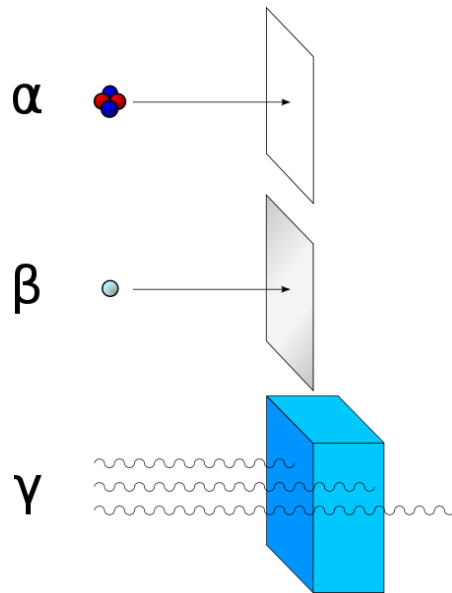
1. Attendre quelques jours pour « arrêt à froid »
2. Stocker les barreaux d'uranium (combustible usagé) en piscine (avec circulation d'eau)  
... pendant plusieurs années
3. Retraiter ou stocker ainsi



# La radioactivité



- Les rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$



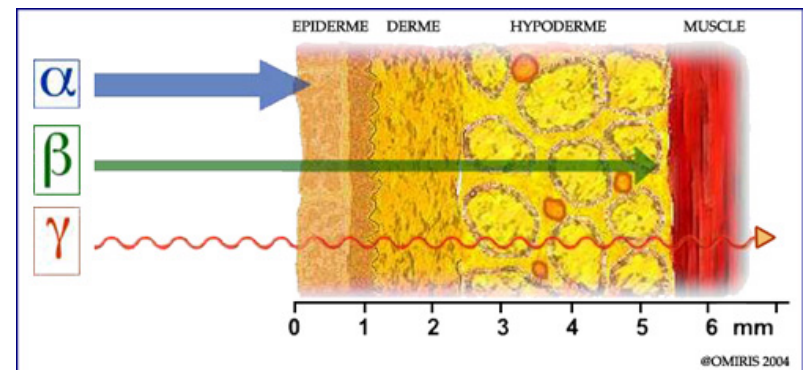
Une feuille de papier les arrête

Une plaque métallique les arrête

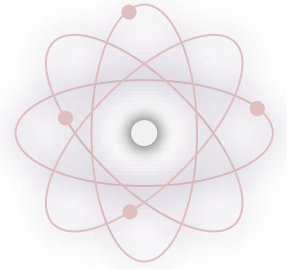
Un bloc de béton les atténue

Figure wikipedia

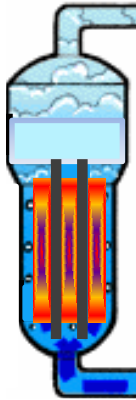
Rayonnements  $\alpha$  : protection la plus facile, mais ce sont les plus dangereux pour la santé car ils ont un grand pouvoir de destruction des cellules (si irradiation interne)



# La production d'énergie nucléaire

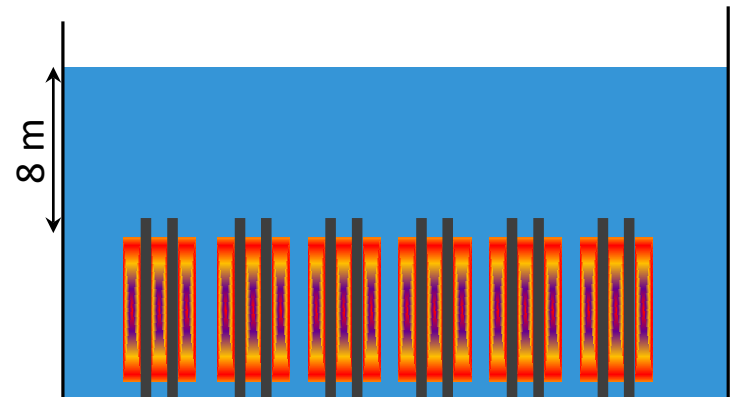


- La chaleur résiduelle

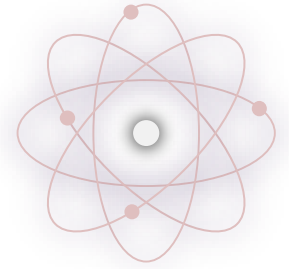


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

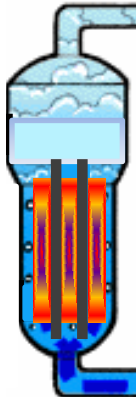
1. Attendre quelques jours pour « arrêt à froid »
2. Stocker les barreaux d'uranium (combustible usagé) en piscine (avec circulation d'eau)  
... pendant plusieurs années
3. Retraiter ou stocker ainsi



# La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle

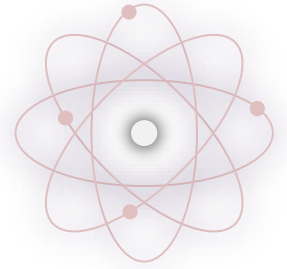


Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

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

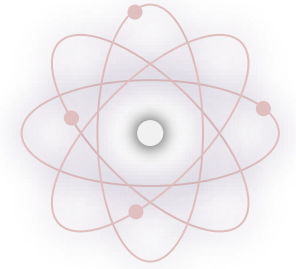


- Les piscines de stockage





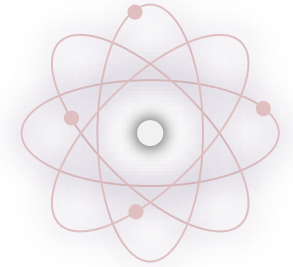
# La production d'énergie nucléaire



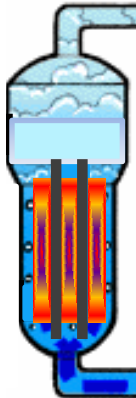
- Les piscines de stockage



# 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

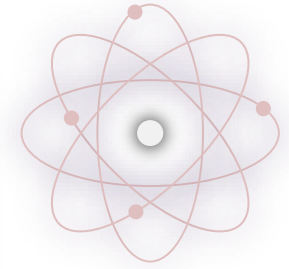
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

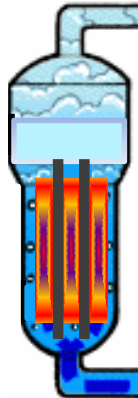
1 MW vaporise 1,6 tonne d'eau en 1 heure



# La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle



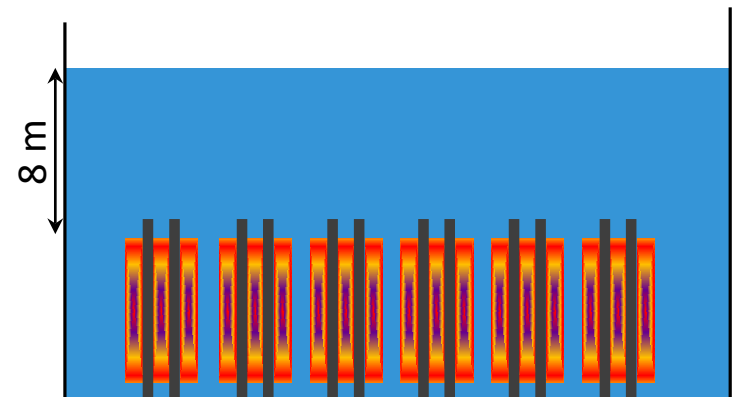
Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

Si la circulation d'eau est interrompue dans une piscine

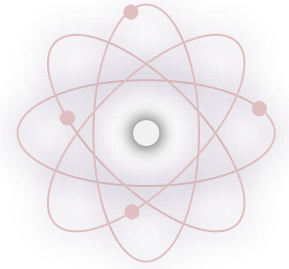
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

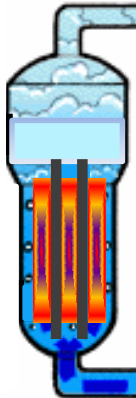
1 MW vaporise 1,6 tonne d'eau en 1 heure



# La production d'énergie nucléaire



- La chaleur résiduelle



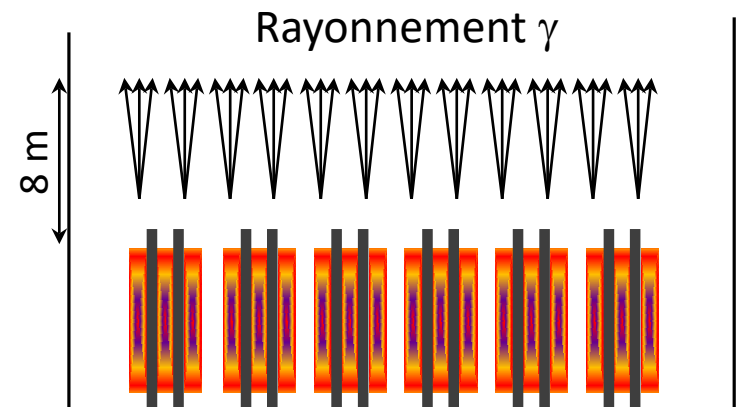
Durée	Puissance thermique résiduelle (3000 MWth)
1 minute	150 MW
1 heure	50 MW
1 jour	20 MW
1 semaine	10 MW
1 mois	5 MW
1 an	0.5 MW = 500 kW
10 ans	50 kW

Si la circulation d'eau est interrompue dans une piscine

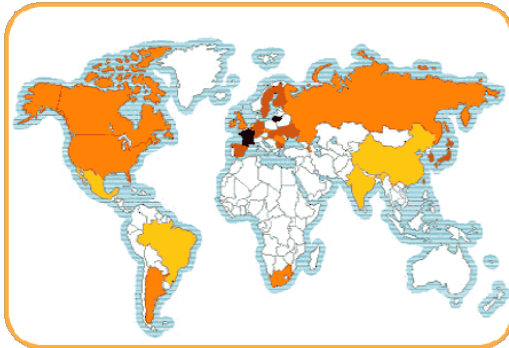
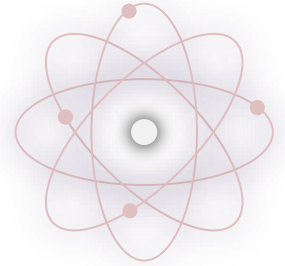
5 MW porte à ébullition une piscine en

... quelques heures

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

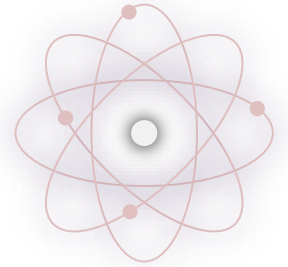


# La production d'énergie nucléaire

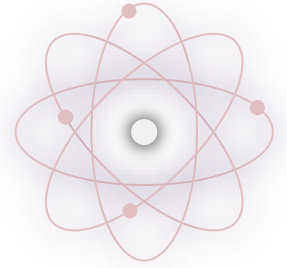


- $\approx$  440 réacteurs de par le monde, la  $\frac{1}{2}$  aux USA (104), France (58), Japon (54)
- 32 pays équipés, 6 produisent les  $\frac{3}{4}$  de l'énergie nucléaire (USA, France, Japon, Allemagne, Russie, Corée du Sud)
- Electricité nucléaire  $\approx$  14 % de l'électricité produite dans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



Merci pour votre attention

