La Voiture Nucléaire

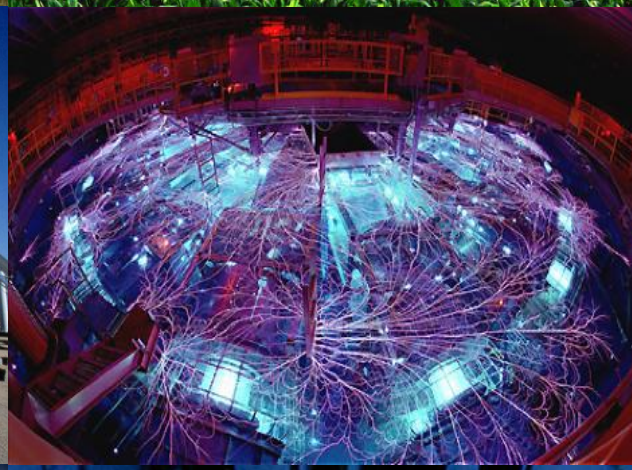
John Laurie

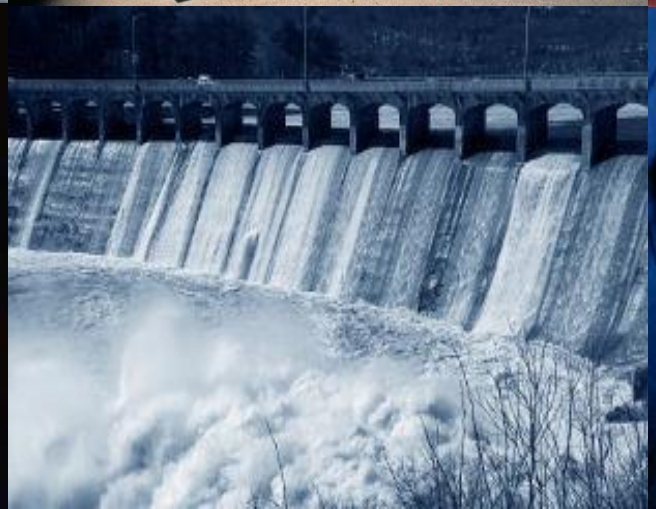
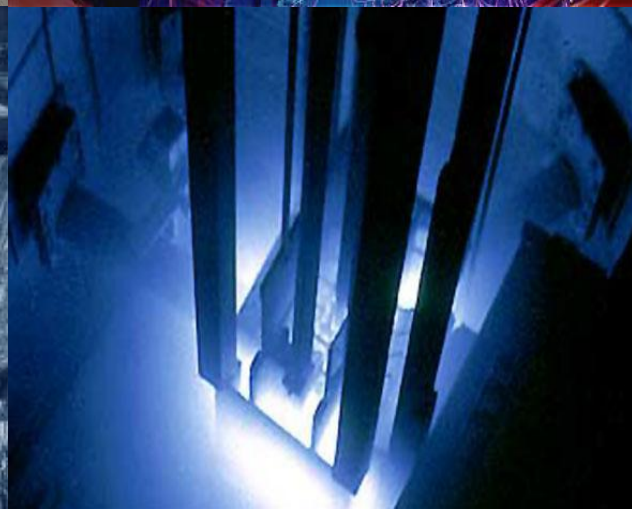
http://energieduthorium.fr

Samedi 13 septembre 2014

Car !

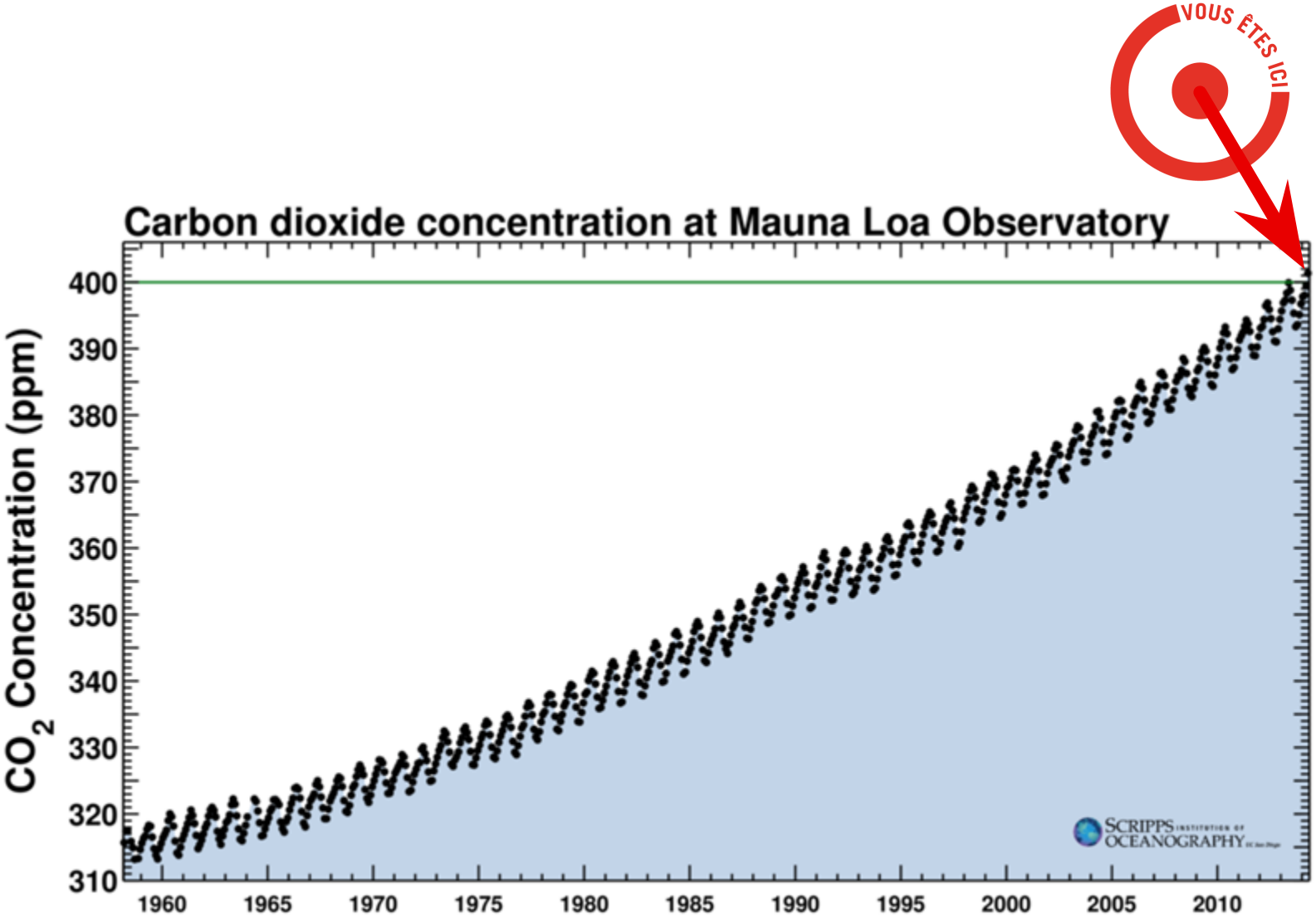
CO_2



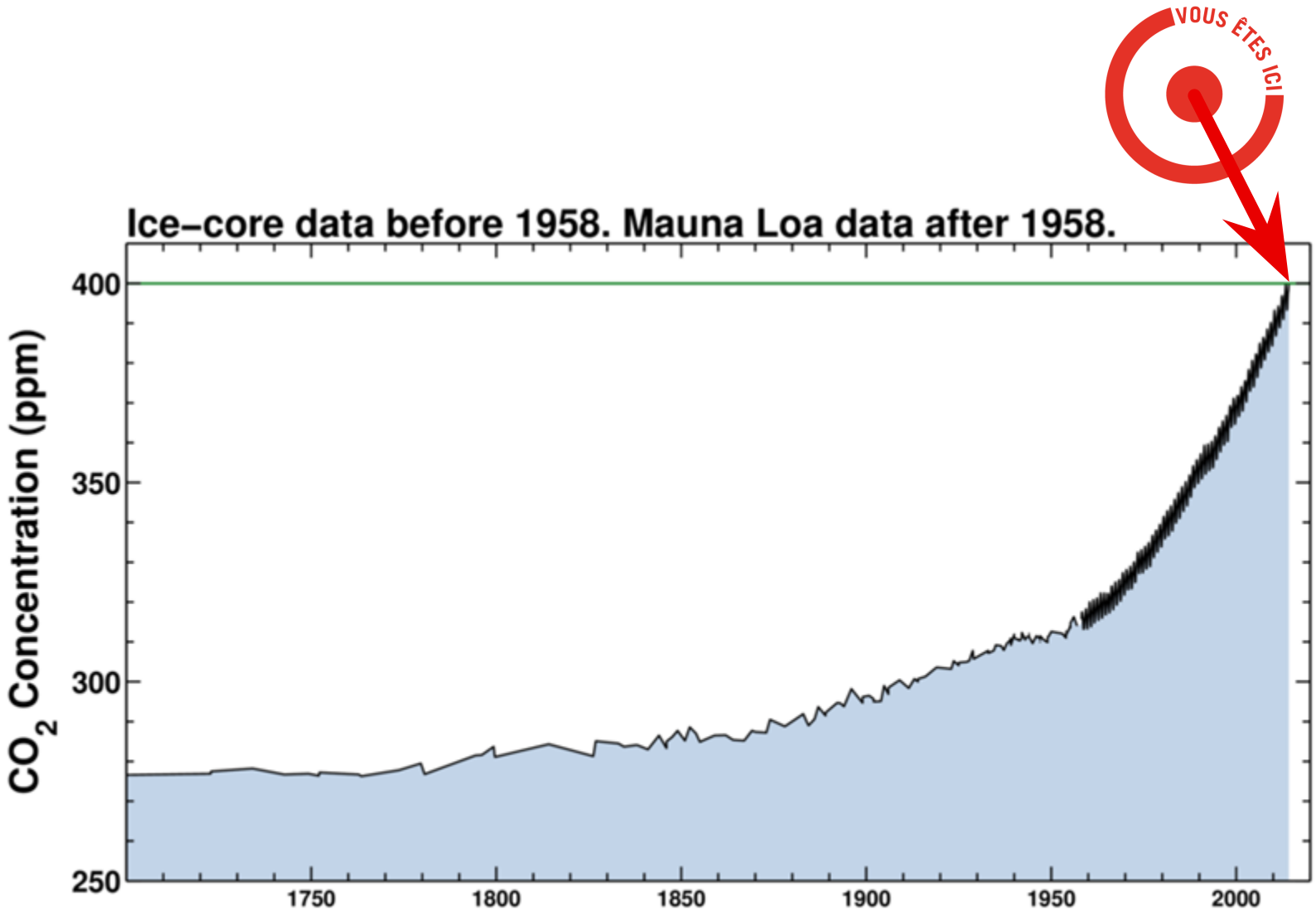



FIABLE
BON MARCHÉ
SÛRE
DURABLE
PROPRE

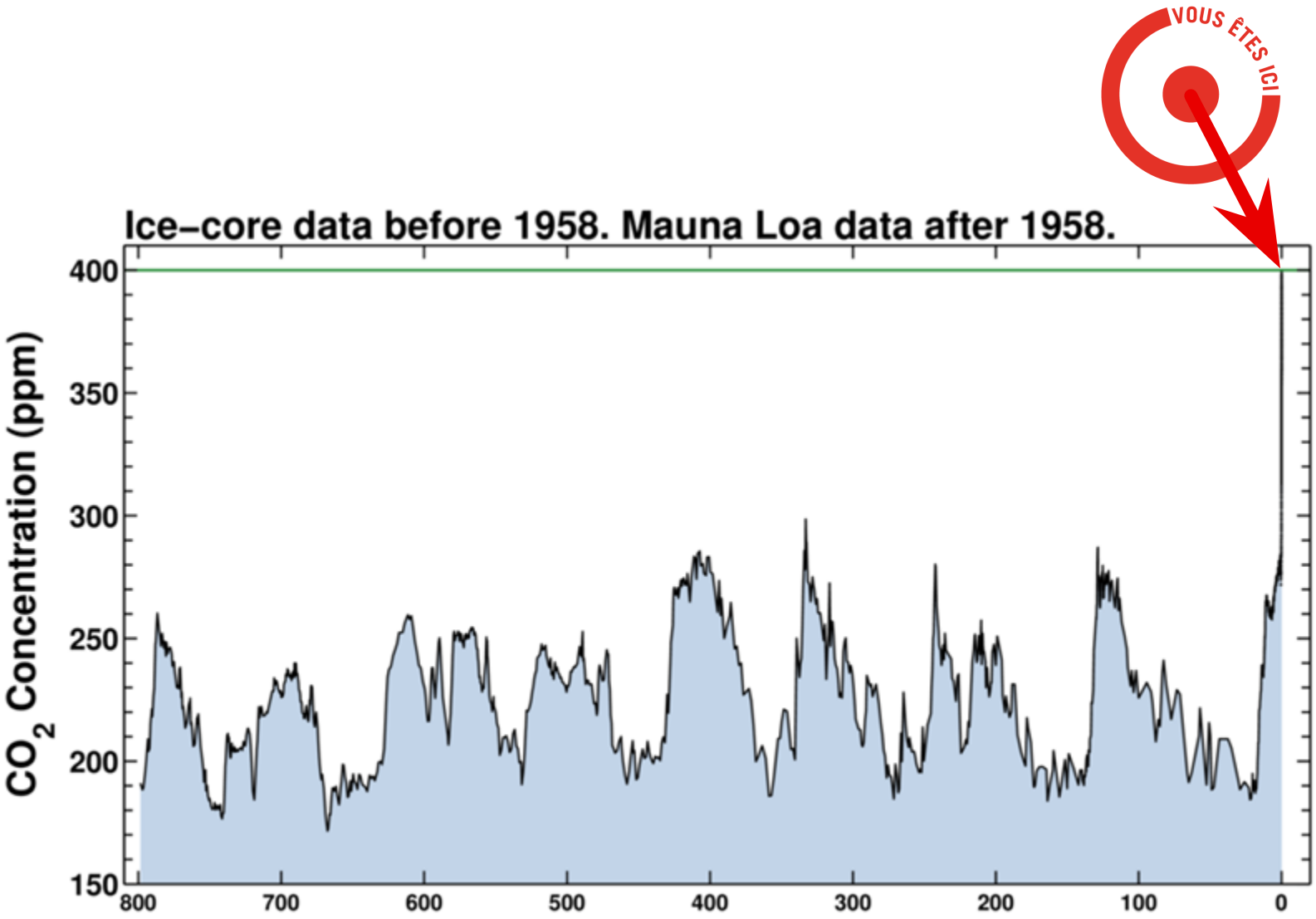
FIABLE ☺
BON MARCHÉ ☺
SÛRE ☹
DURABLE ☹
PROPRE ☹



Source : Keeling Curve



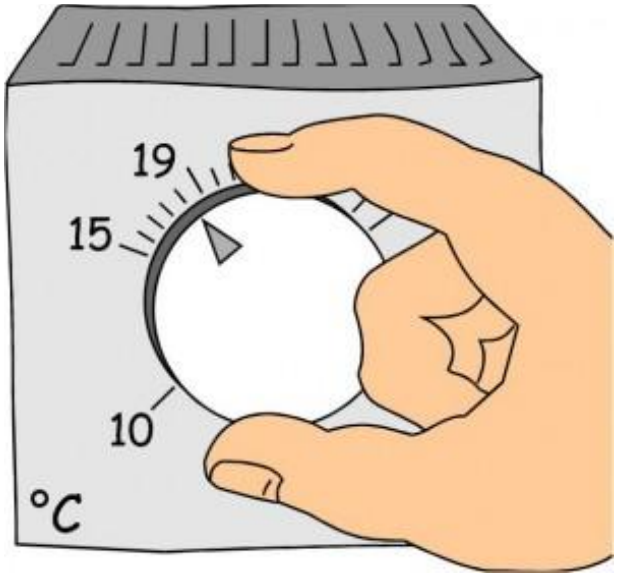
Source : Keeling Curve



Source : Keeling Curve

NÉGA-WATTS

2
3
4
5


19
15
10
°C

MAIS J'AI FROID, MOI!
METS UN PULL! ÇA VA PAS TE DÉSHONORER!
SURTOUT QU'ON EST EN JANVIER!

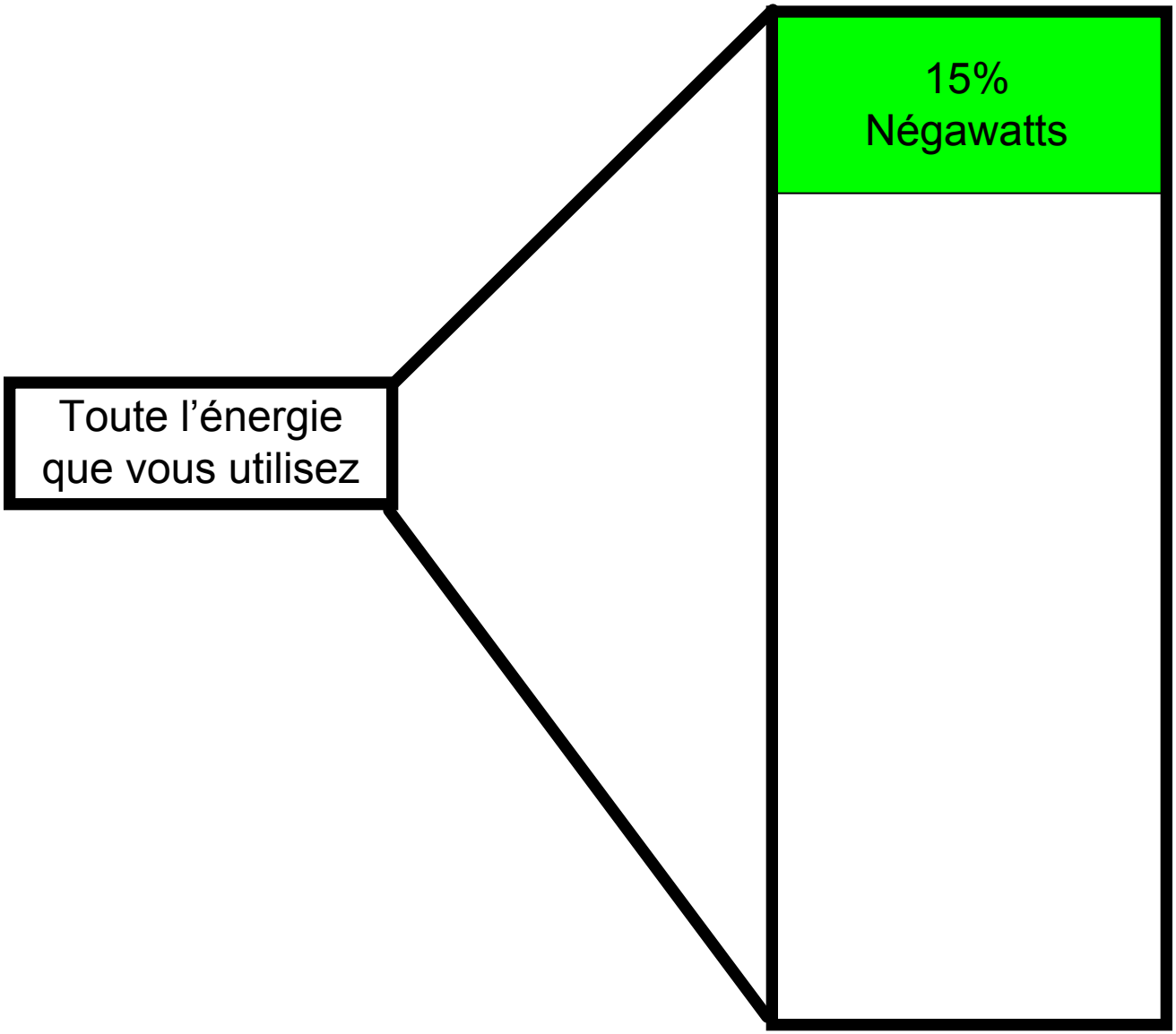
KOMATSU
KOMATSU
PC130

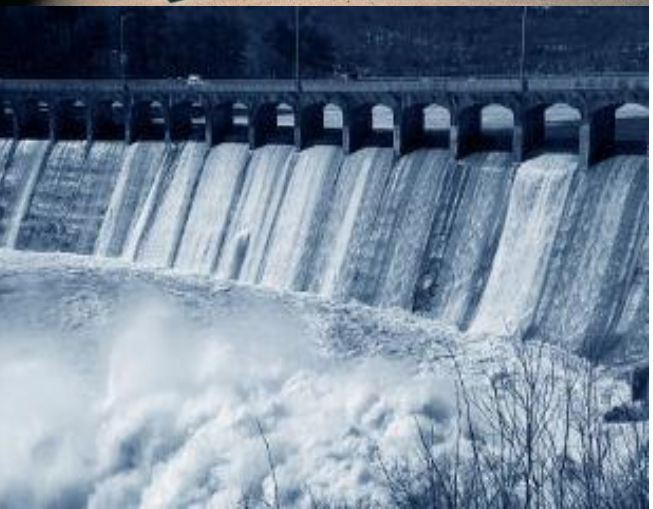
SCENIC

POLYGON

ter
30
Z

A380
A380


Toute l'énergie que vous utilisez
15% Négawatts



FIABLE

BON MARCHÉ

SÛRE

DURABLE

PROPRE

Sources : ChiffresSources : Chiffres, Photo

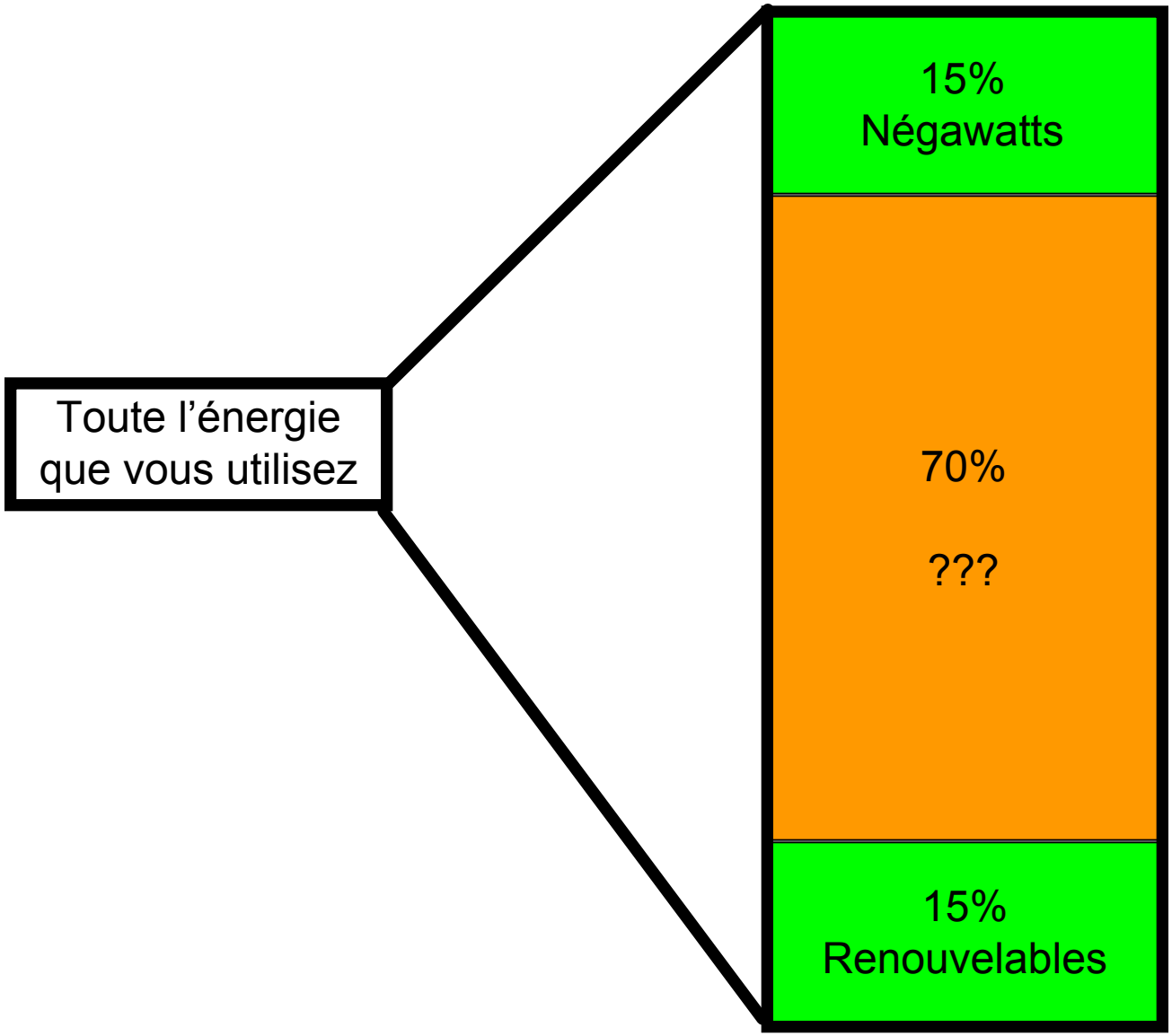
- **Chemin des Haguenets : 14 turbines Repower**
- **2MW par turbine : Capacité : 28 MW**

INTERMITTENTE

DIFFUSE

CHÈRE

Le sandwich de l'énergie



Zero Emission

(au point d’utilisation)

Source : Autotest ADAC, Octobre 2013Source : Autotest ADAC, Octobre 2013.
Rapport complet .pdf (voir pages 10&12)

ADAC

Autotest

EcoTest ★★★★★

ADAC-URTEIL

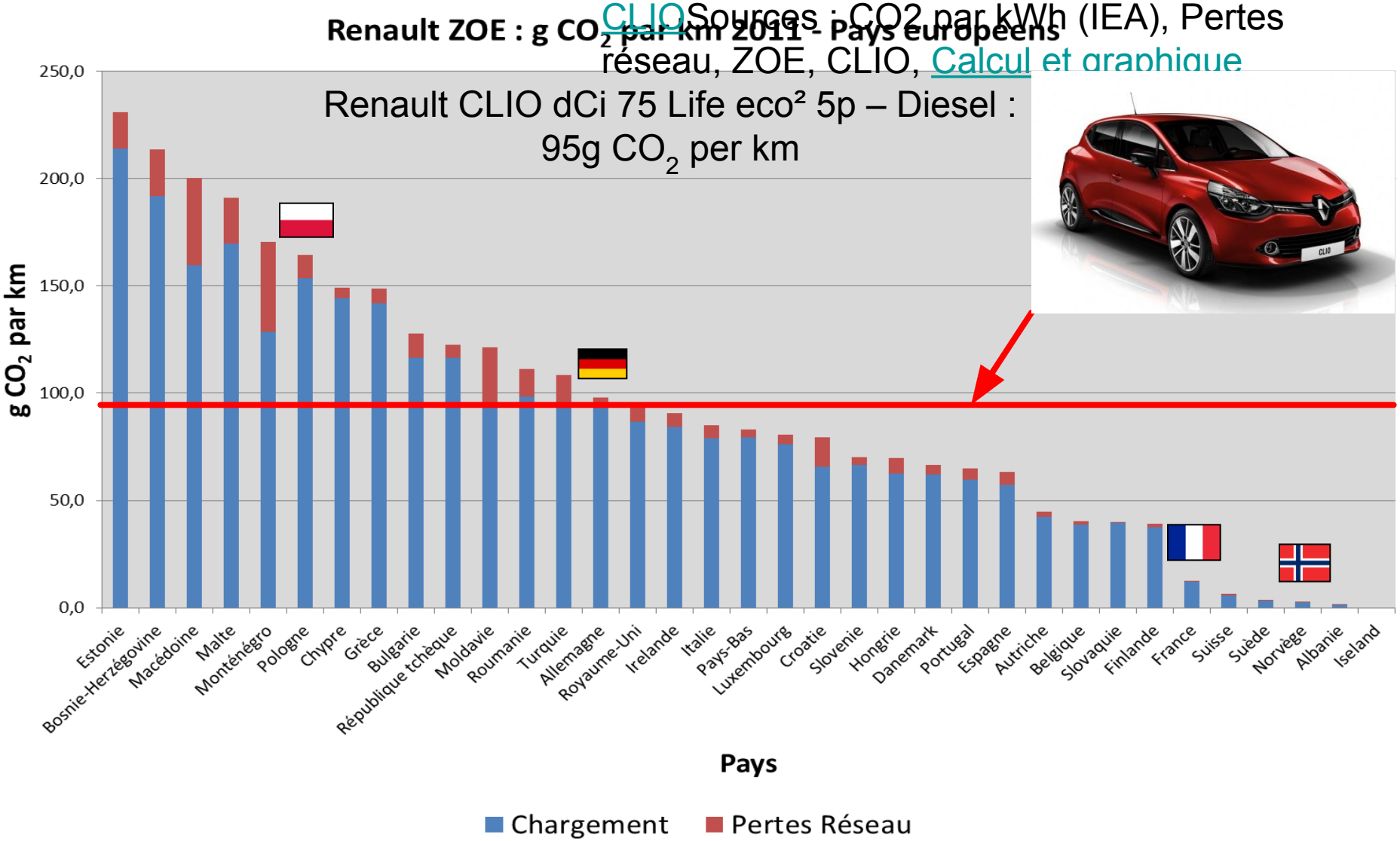
2,3	AUTOTEST
3,4	AUTOKOSTEN

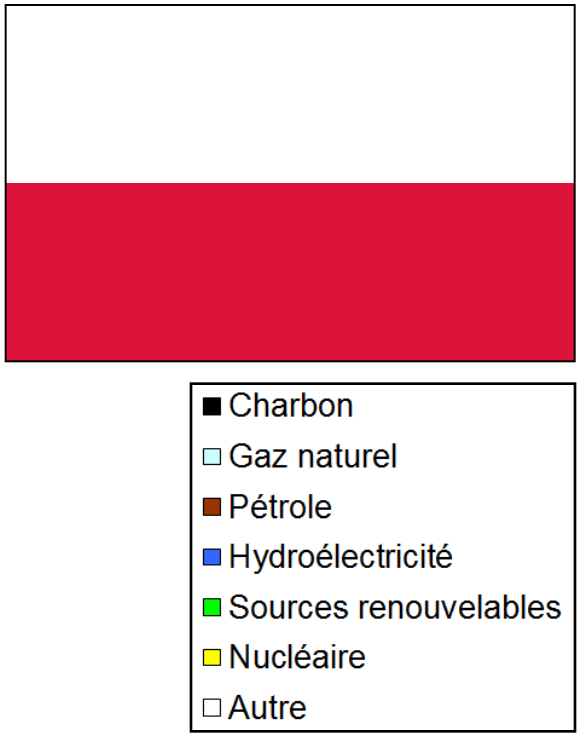
Zielgruppencheck

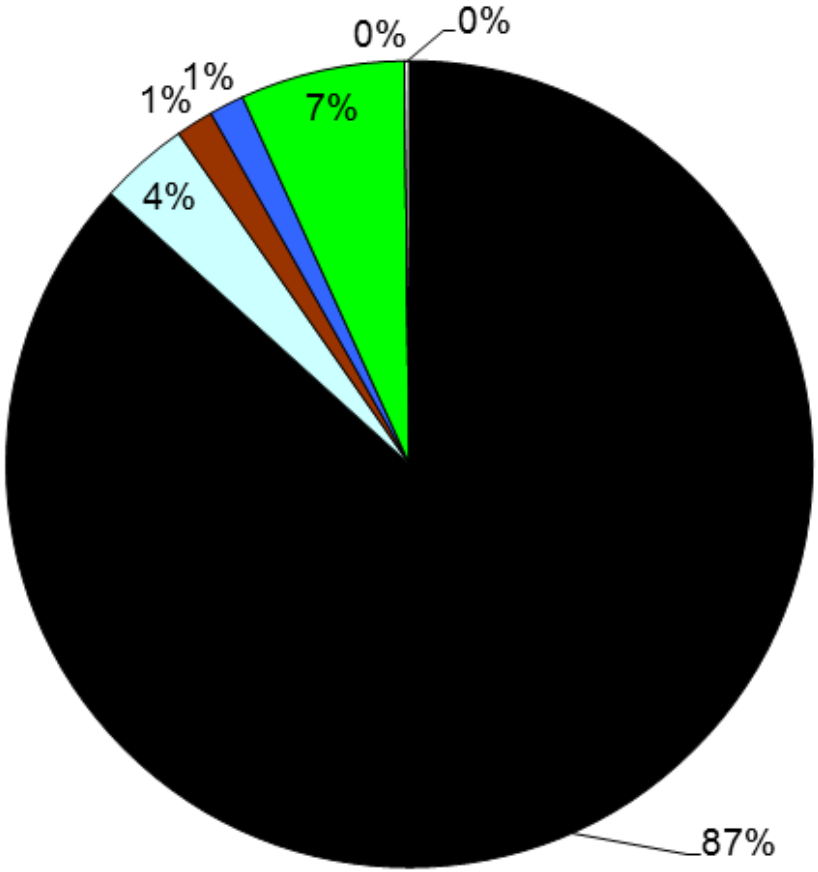
2,8	Familie
2,4	Stadtverkehr
2,5	Senioren
5,0	Langstrecke
3,3	Transport
3,2	Fahrspaß
2,8	Preis/Leistung

Testverbrauch Schnitt pro 100 km	**19,7 kWh**
Testverbrauch pro 100 km Stadt/Land/BAB	**14,0/17,0/28,3 kWh**

Sources : CO2 par kWh (IEA)Sources : CO2 par kWh (IEA), Pertes réseauSources : CO2 par kWh (IEA), Pertes réseau, ZOESources : CO2 par kWh (IEA), Pertes réseau, ZOE, CLIOSources : CO2 par kWh (IEA), Pertes réseau, ZOE, CLIO, Calcul et graphique







Source : worldbank.org

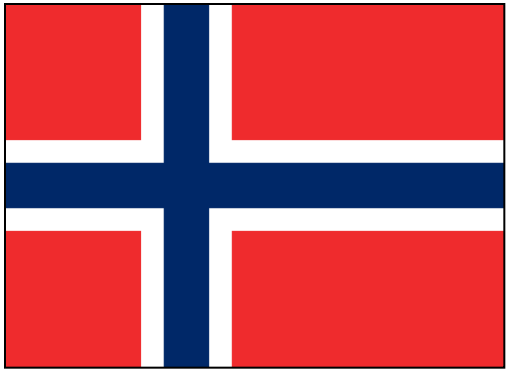
Pologne

Population : 38.544.513

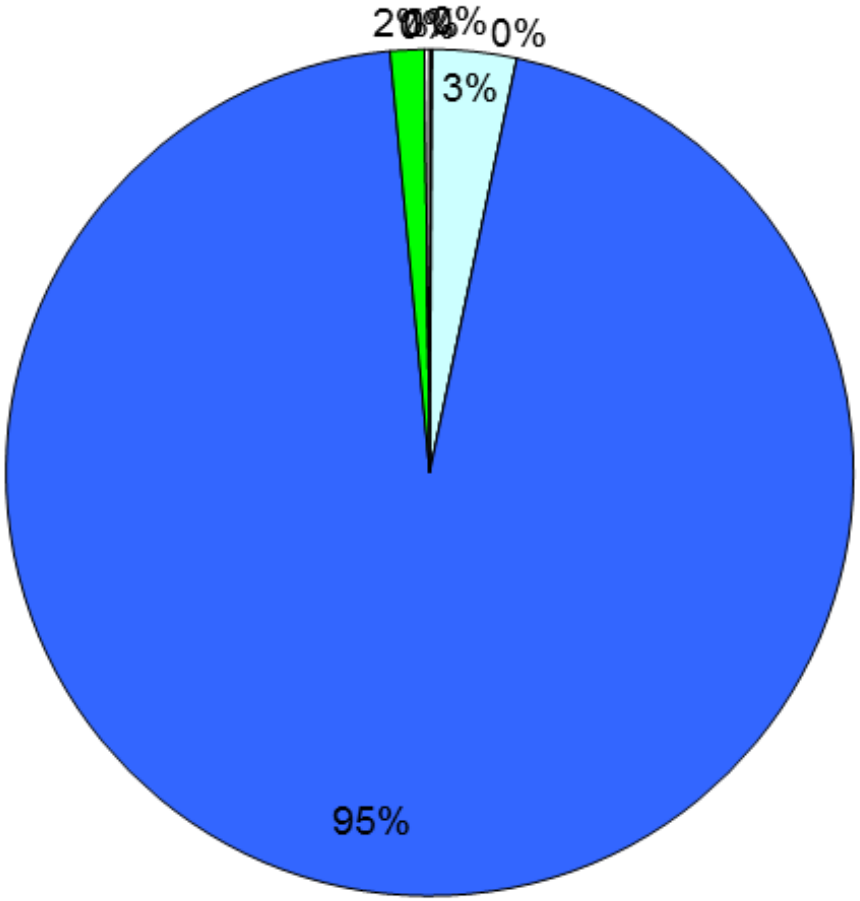
Données pour 2011	Grammes CO2 / km
Génération	153,7
Pertes réseau (6,5%)	10,7
Total	**164,4**

HOW ELECTRIC CARS WORK

www.investors.com/cartoons



- Charbon
- Gaz naturel
- Pétrole
- Hydroélectricité
- Sources renouvelables
- Nucléaire
- Autre

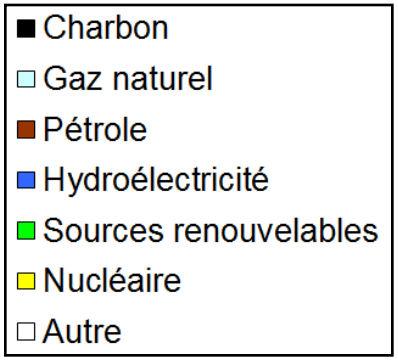


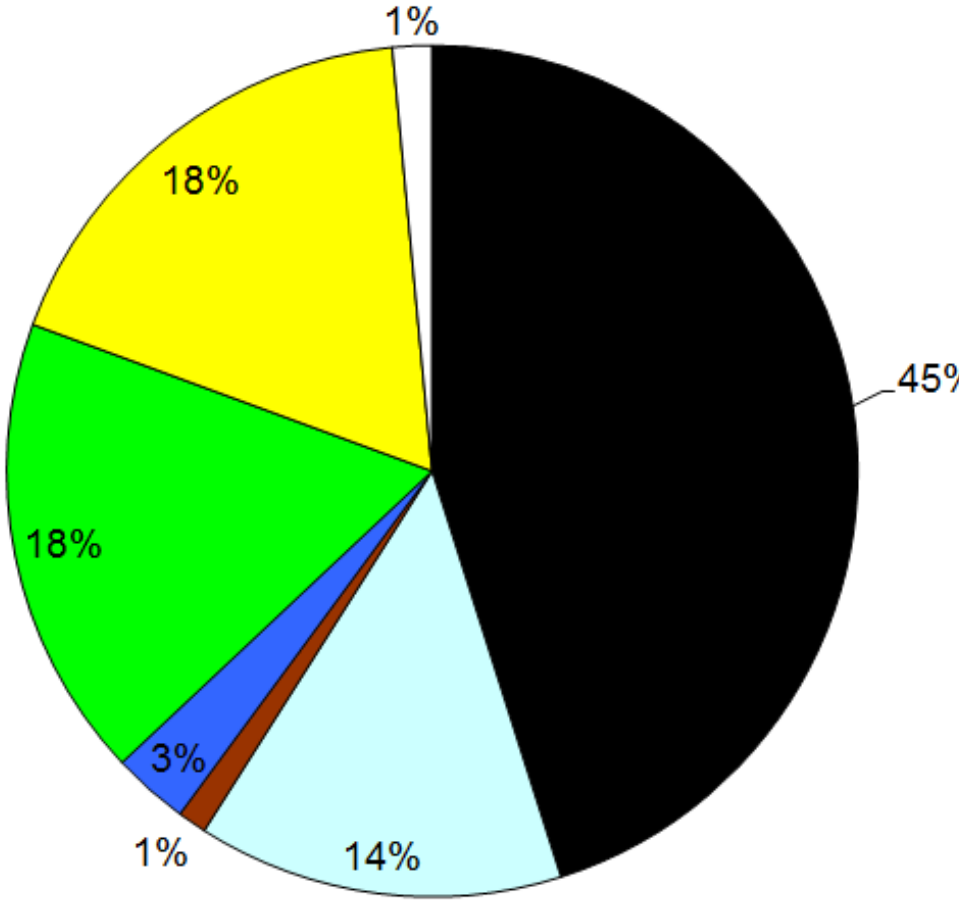
Source : worldbank.org

Norvège

Population : 5.063.709

Données pour 2011	Grammes CO2 / km
Génération	2,6
Pertes réseau (8,1%)	0,2
Total	**2,8**



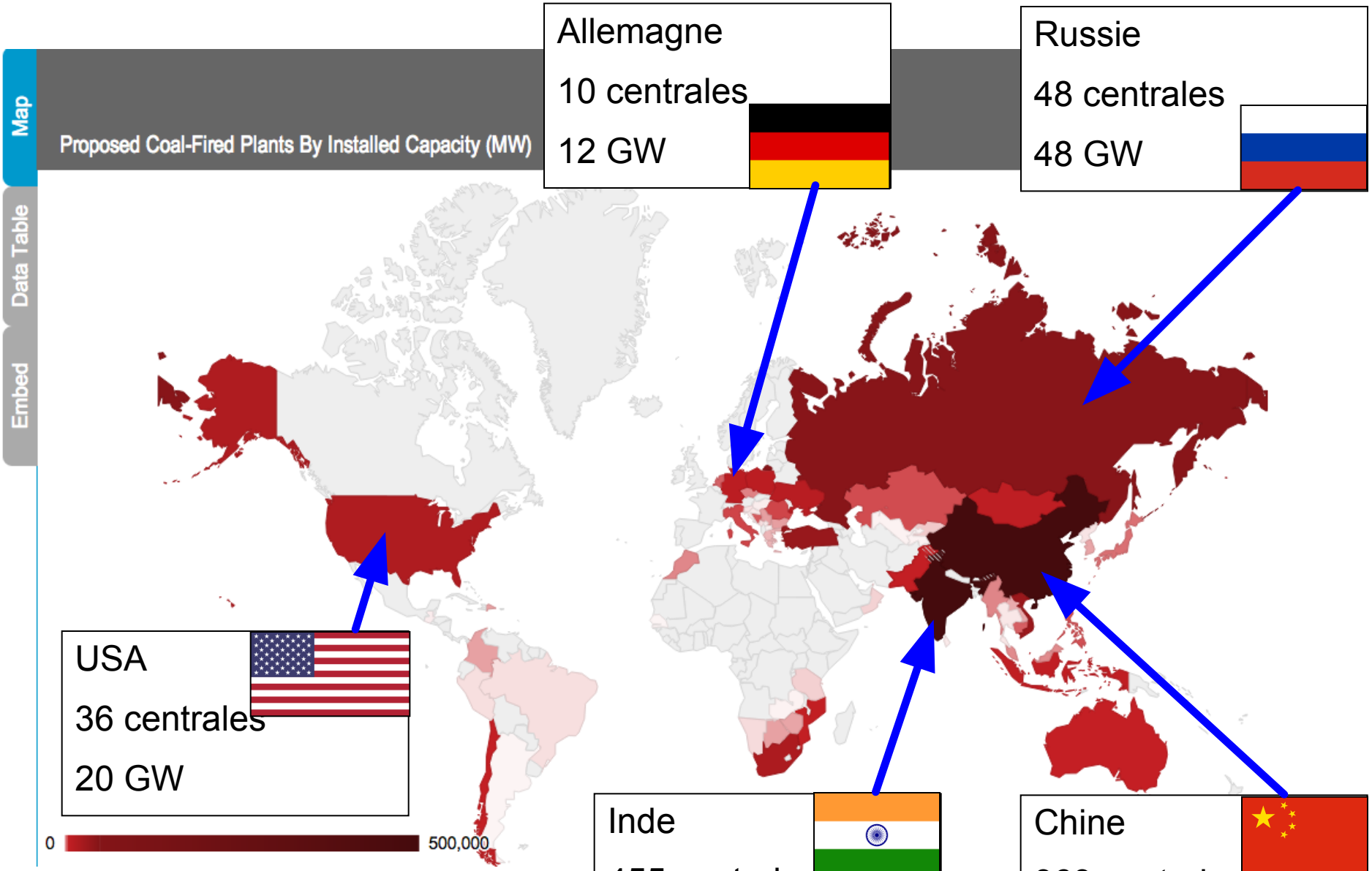


Source : worldbank.org

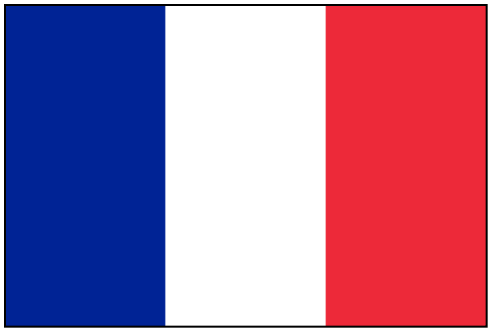
Allemagne

Population : 80.399.300

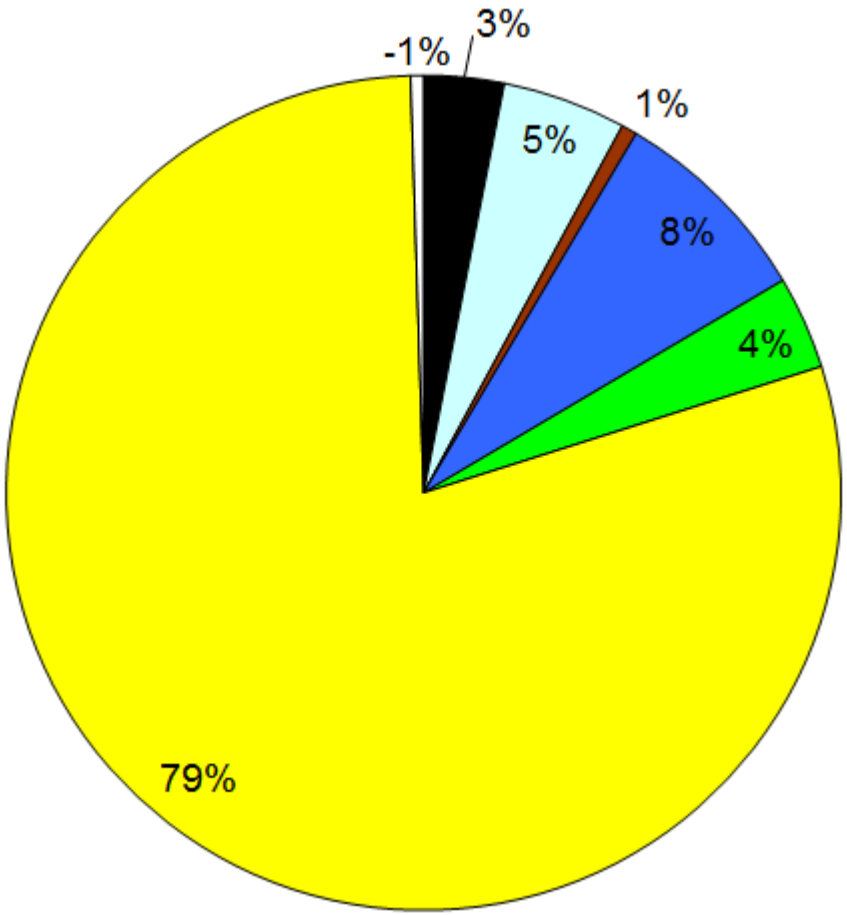
Données pour 2011	Grammes CO2 / km
Génération	94,0
Pertes réseau (4,3%)	4,2
Total	**98,2**



Source : WRI, Global Coal Risk Assessment (11/2012)



- Charbon
- Gaz naturel
- Pétrole
- Hydroélectricité
- Sources renouvelables
- Nucléaire
- Autre



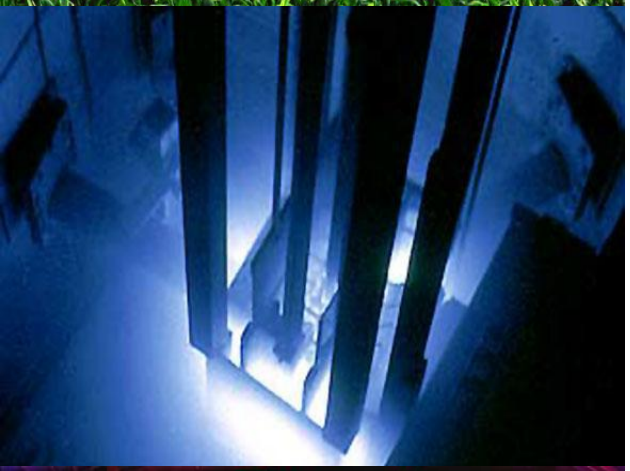
Source : worldbank.org

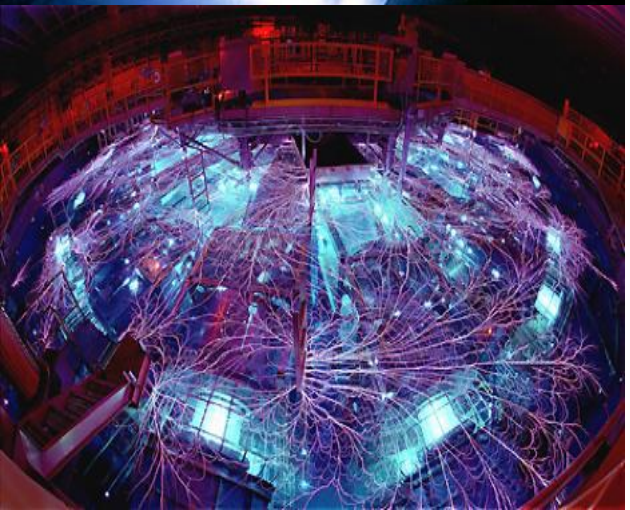
France

Population 65.350.000

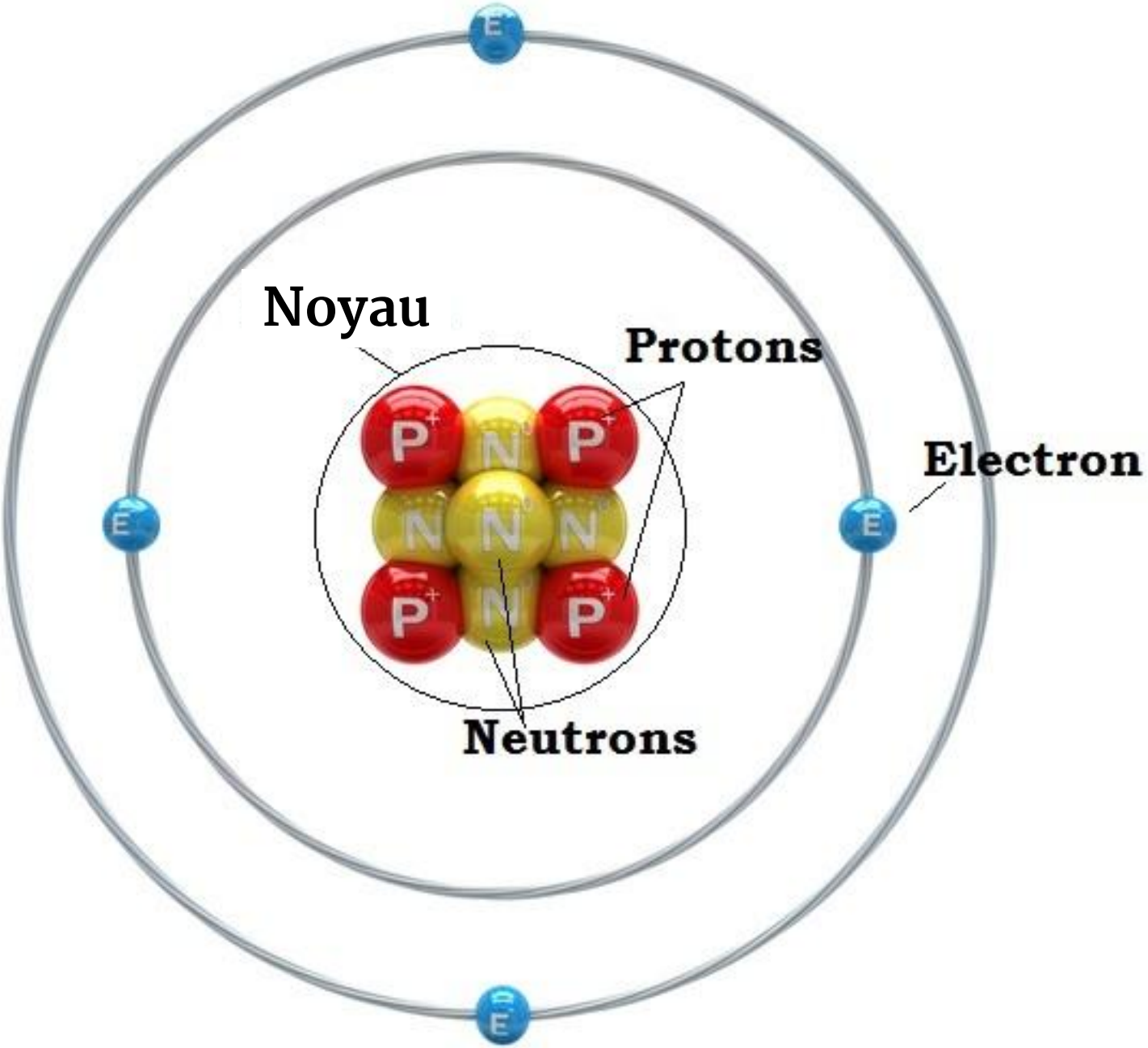
Données pour 2011	Grammes CO2 / km
Génération	12,0
Pertes réseau (5,2%)	0,7
Total	**12,7**

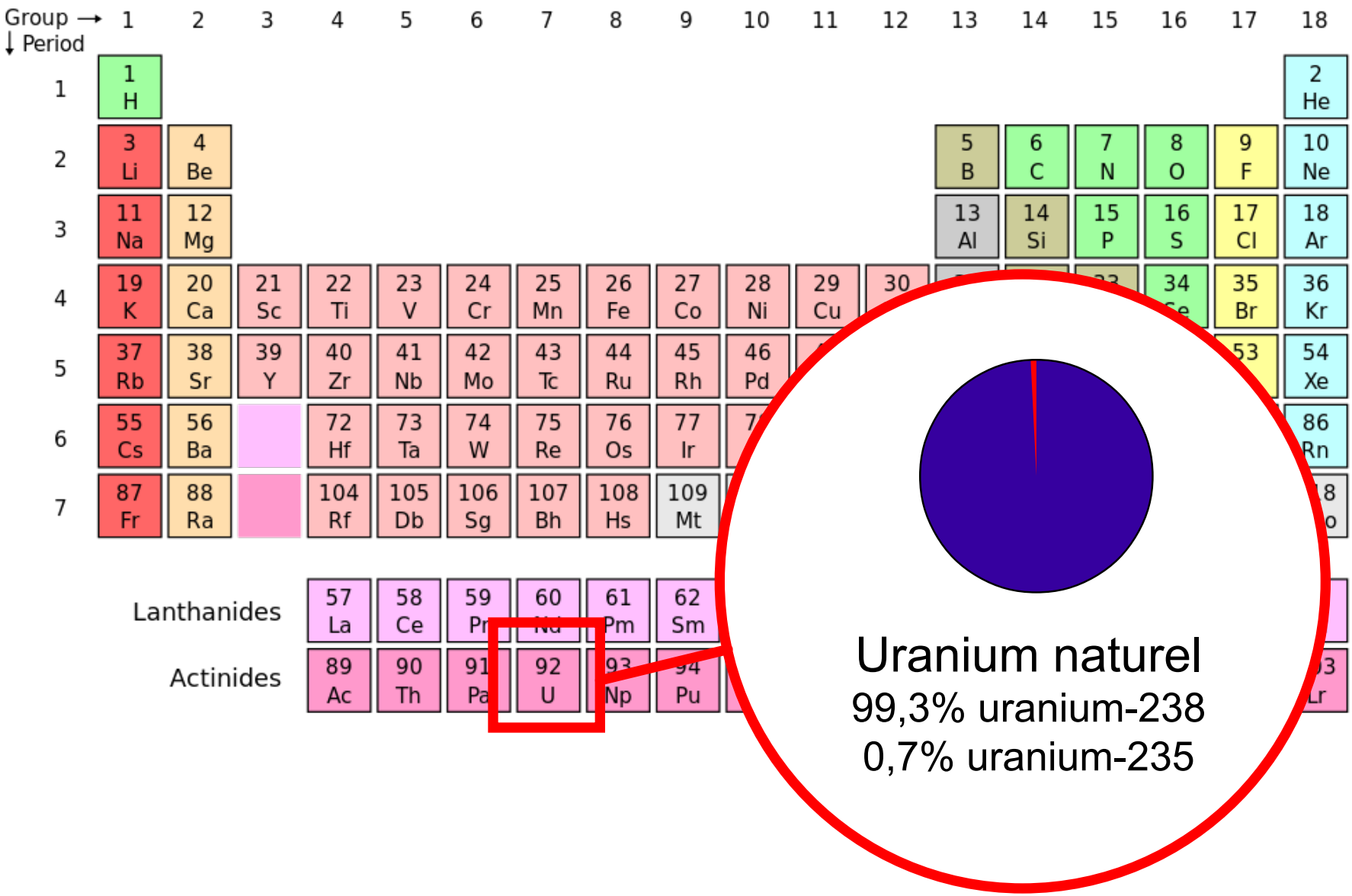
En France, 3 ZOÉ sur 4 sont des voitures nucléaires



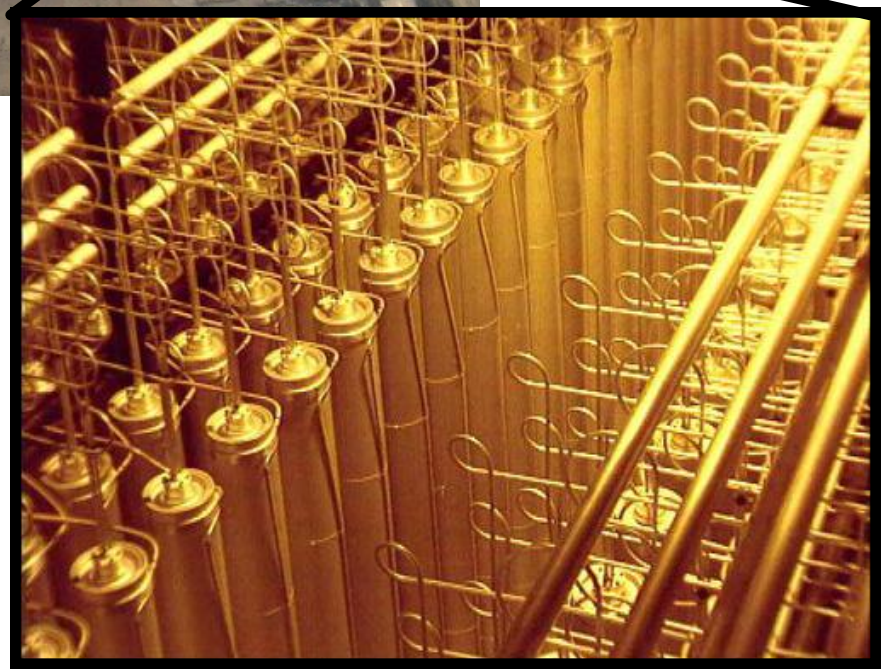


AARON TAYLOR-JOHNSON
KEN WATANBE
ELIZABETH OLSEN
JULIETTE BINOCHE
SALLY HAWKINS
WITH DAVID STARTHAIRN AND BRYAN CRANSTON
GODZILLA
WARNER BROS. PICTURES AND LEGENDARY PICTURES PRESENT
A LEGENDARY PICTURES PRODUCTION A GARETH EDWARDS FILM "GODZILLA" AARON TAYLOR-JOHNSON KEN WATANABE ELISABETH OLSEN JULIETTE BINOCHE SALLY HAWKINS
WITH DAVID STRATHAIRN AND BRYAN CRANSTON DAVE JODAN ALEXANDRE DESPLAT BOB DUCSAY OWEN PATERSON SEAMUS McGARVEY ASC, BSC
PATRICIA WHITCHER ALEX GARCIA YOSHIMITSU BANNO KENJI OKUHRIA "GODZILLA" TOHO CO., LTD. DAVID CALLAHAM MAX BORENSTEIN
THOMAS TULL JON JASHNI MARY PARENT BRIAN ROGERS GARETH EDWARDS
LEGENDARY
facebook.com/GodzillaMovie
MAY 16
Godzillamovie.com
#Godzilla

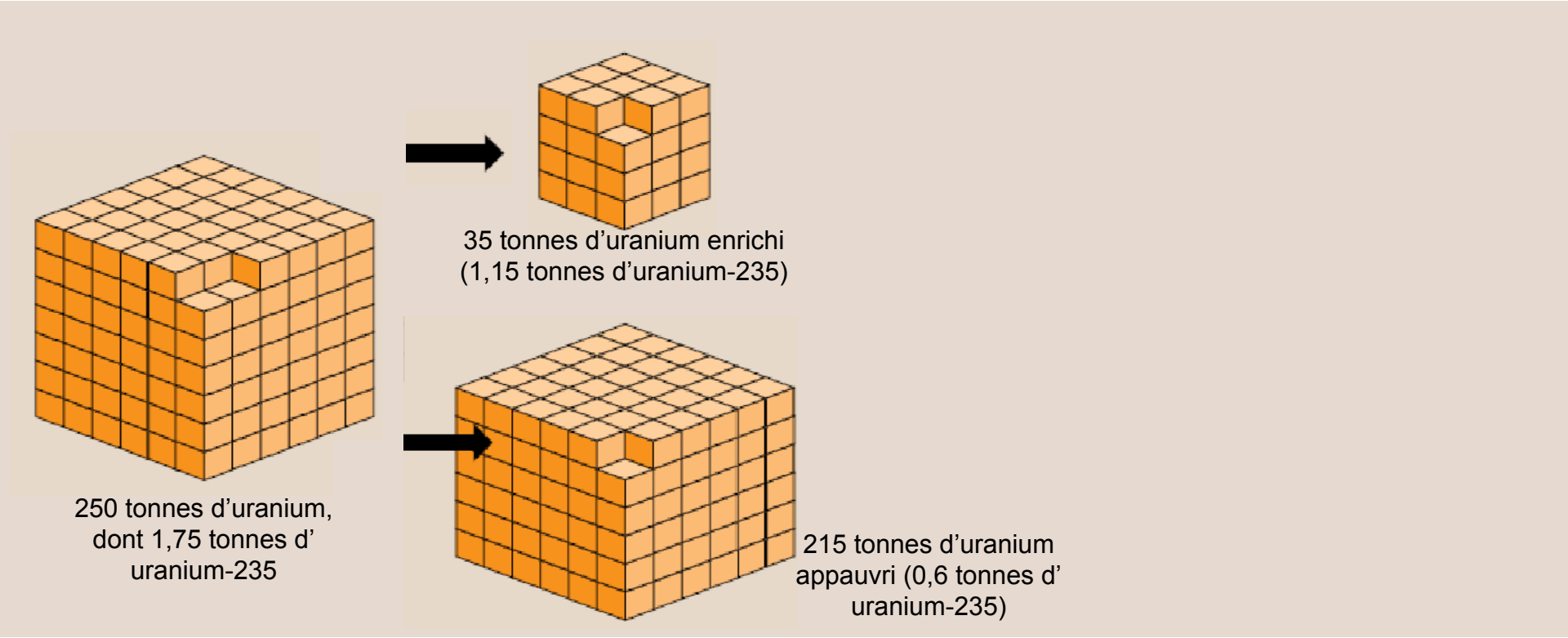

Noyau
Protons
Electron
Neutrons


Group →
↓ Period
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
1 H
2 He
3 Li
4 Be
5 B
6 C
7 N
8 O
9 F
10 Ne
11 Na
12 Mg
13 Al
14 Si
15 P
16 S
17 Cl
18 Ar
19 K
20 Ca
21 Sc
22 Ti
23 V
24 Cr
25 Mn
26 Fe
27 Co
28 Ni
29 Cu
30
34
35 Br
36 Kr
37 Rb
38 Sr
39 Y
40 Zr
41 Nb
42 Mo
43 Tc
44 Ru
45 Rh
46 Pd
53
54 Xe
55 Cs
56 Ba
72 Hf
73 Ta
74 W
75 Re
76 Os
77 Ir
86 Rn
87 Fr
88 Ra
104 Rf
105 Db
106 Sg
107 Bh
108 Hs
109 Mt
Lanthanides
57 La
58 Ce
59 Pr
60 Nd
61 Pm
62 Sm
Actinides
89 Ac
90 Th
91 Pa
92 U
93 Np
94 Pu
Uranium naturel
99,3% uranium-238
0,7% uranium-235

Usine d' enrichissement



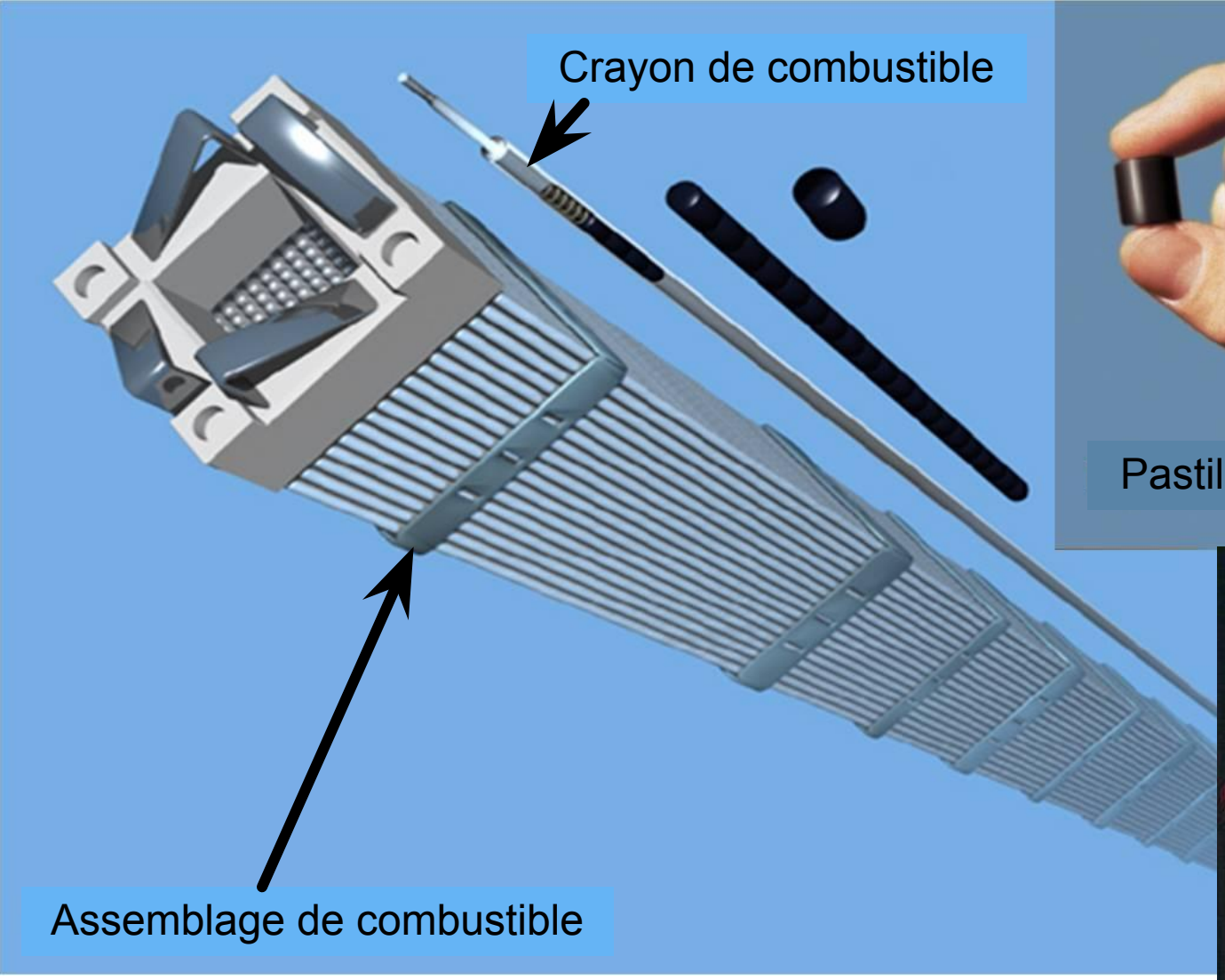
Pour produire 1 GigaWatt-Année d'électricité :

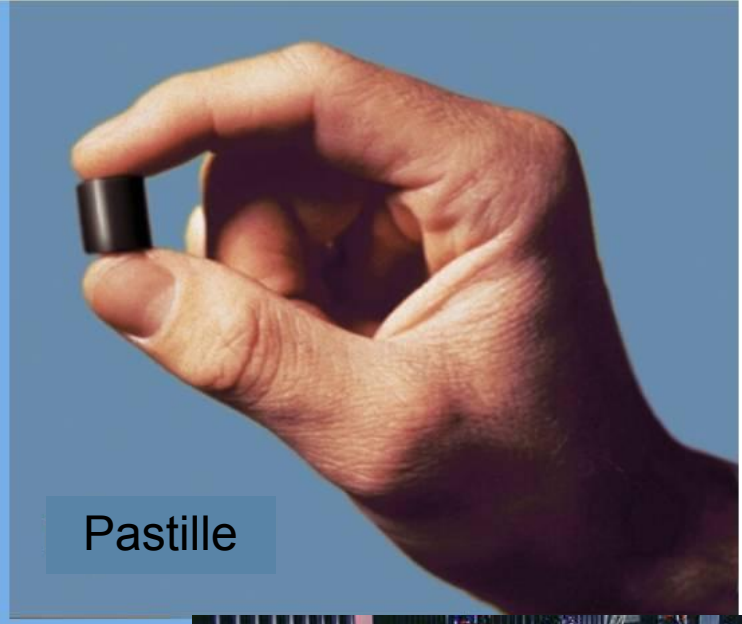


Source : Robert Hargraves et Ralph Moir, American Scientist No. 98, Juillet-Août 2010, p.308

Zirconium

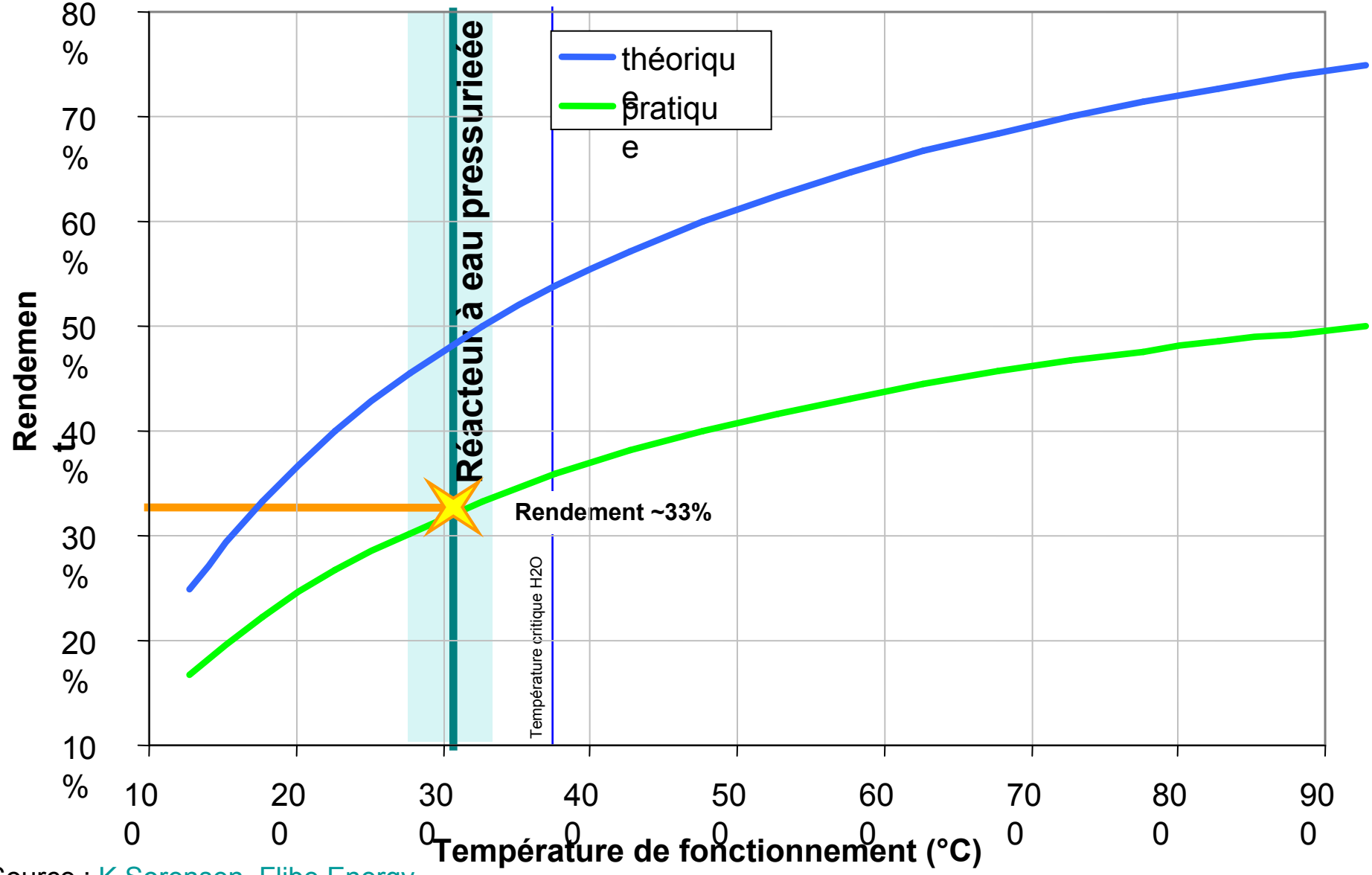
Group → / ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36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


Crayon de combustible
Assemblage de combustible

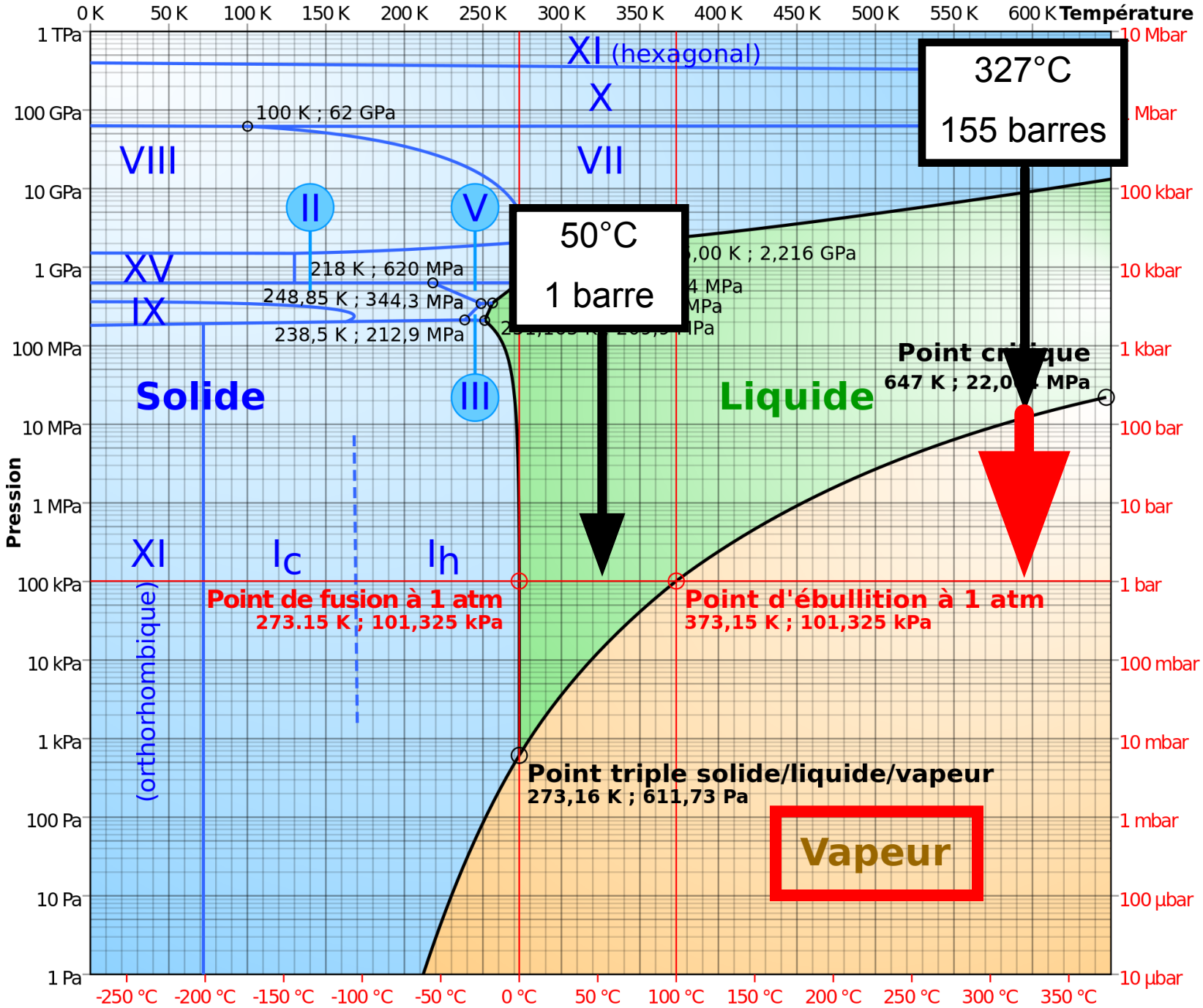

Pastille

(video)

Rendement dans la production d'électricité

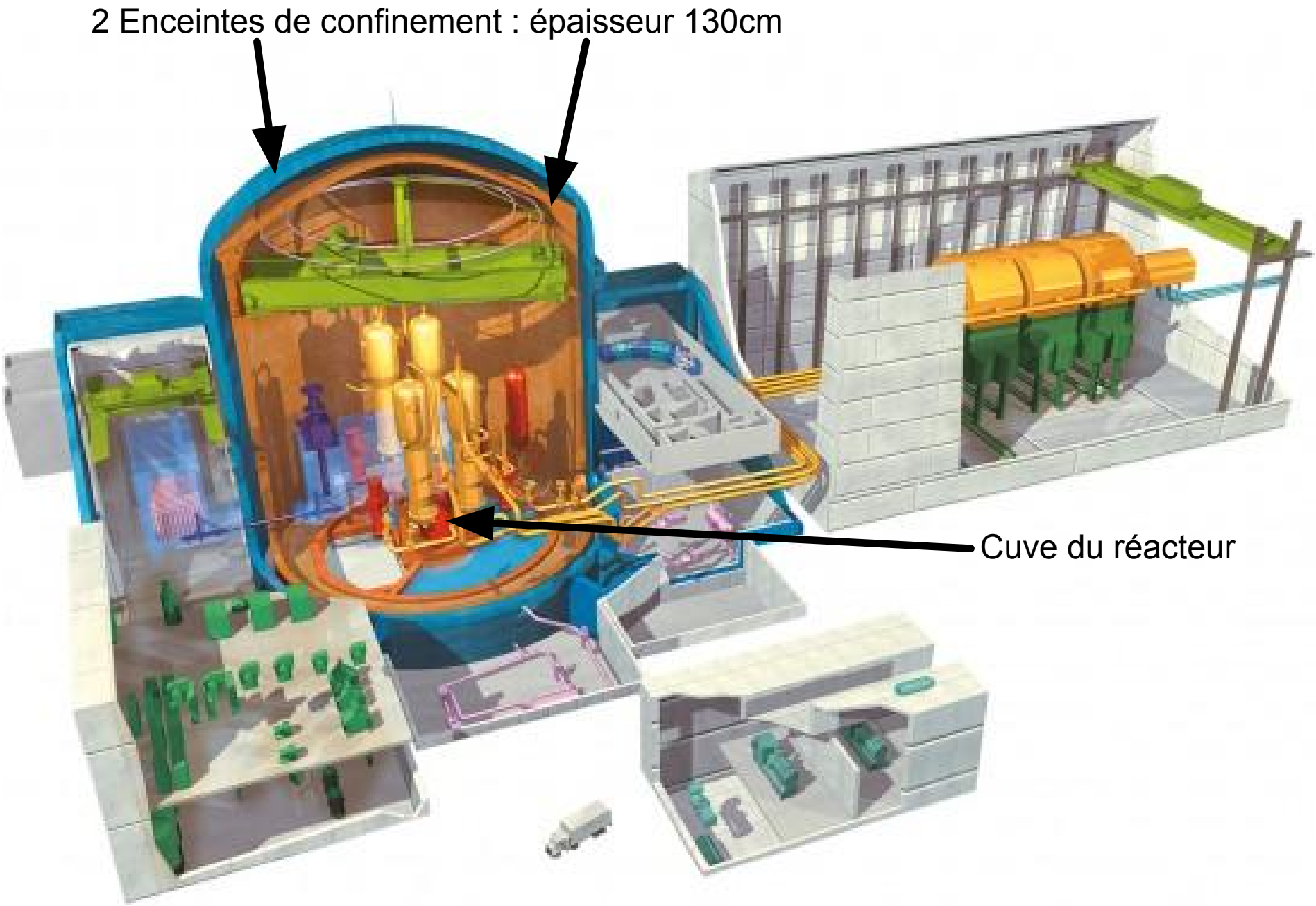


Source : K Sorensen, Flibe Energy

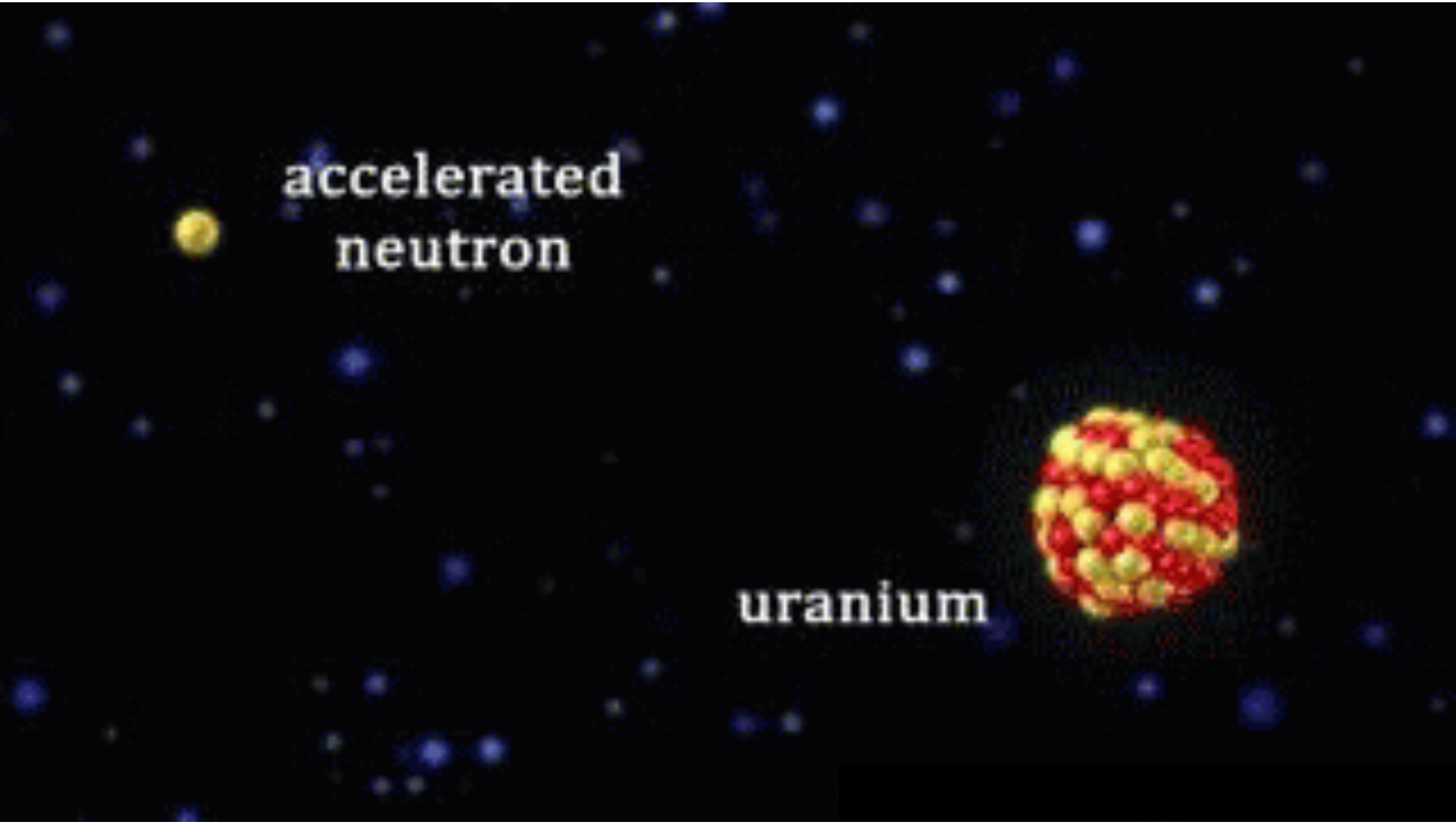


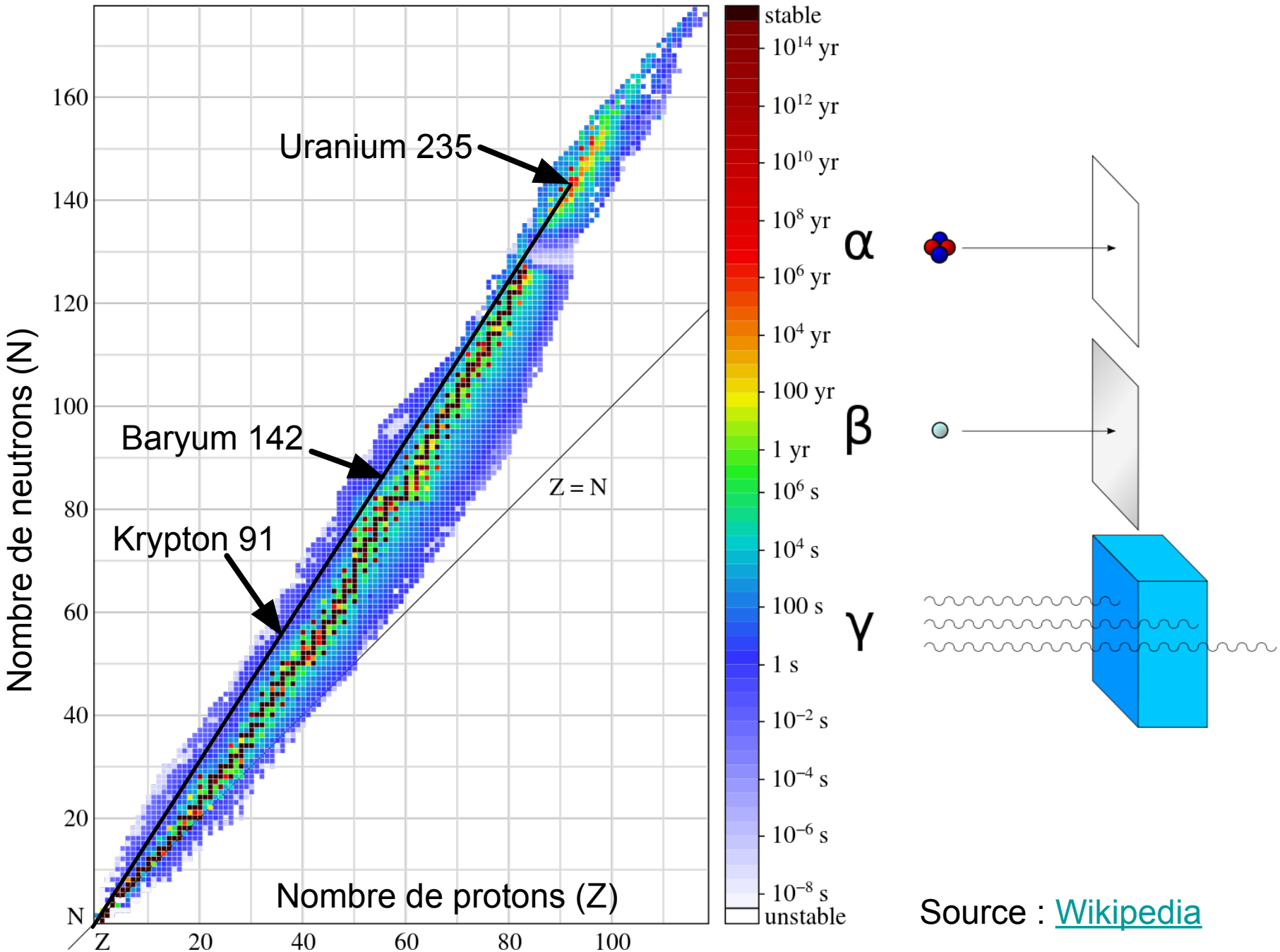
Source : Wikimedia Commons

SPL


2 Enceintes de confinement : épaisseur 130cm
Cuve du réacteur

>20cm


accelerated
neutron
uranium



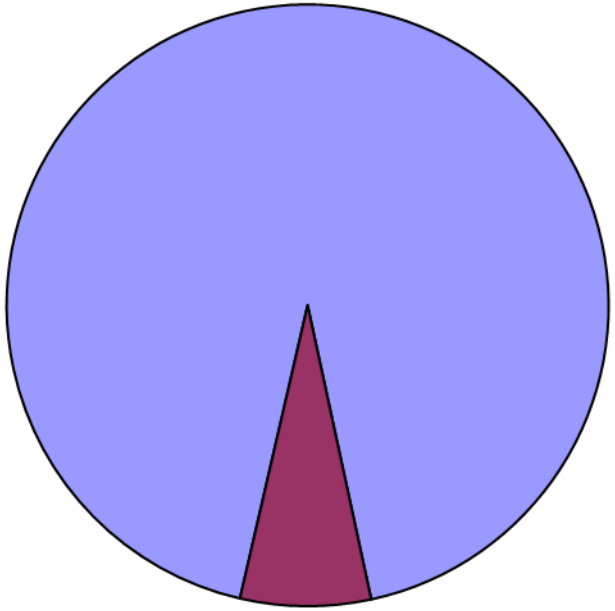
Source : Wikipedia

188,6 Million électron-volts

de la fission

93%

Energie de la fission d'un atome d'Uranium 235 : 202,8 Million électron-volts

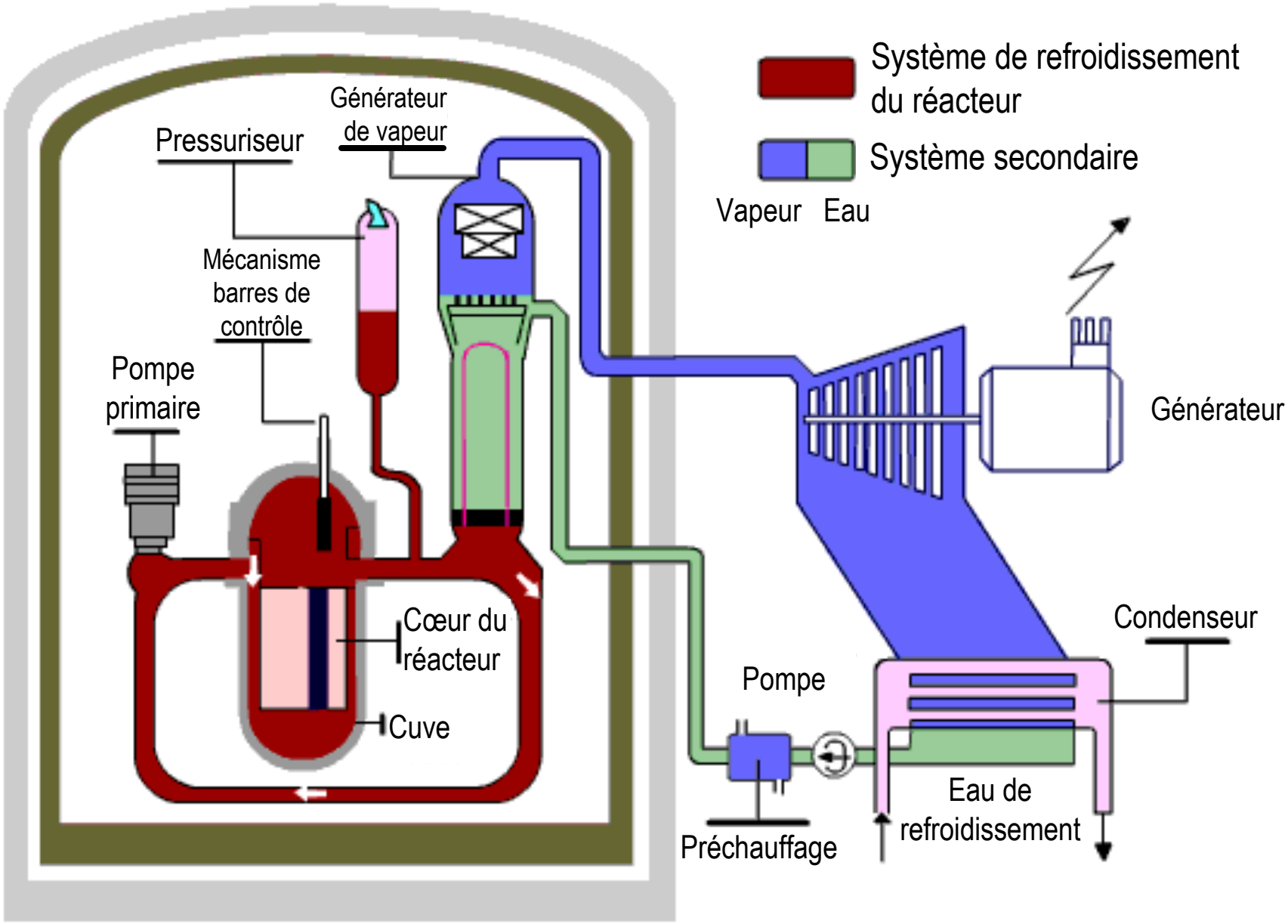


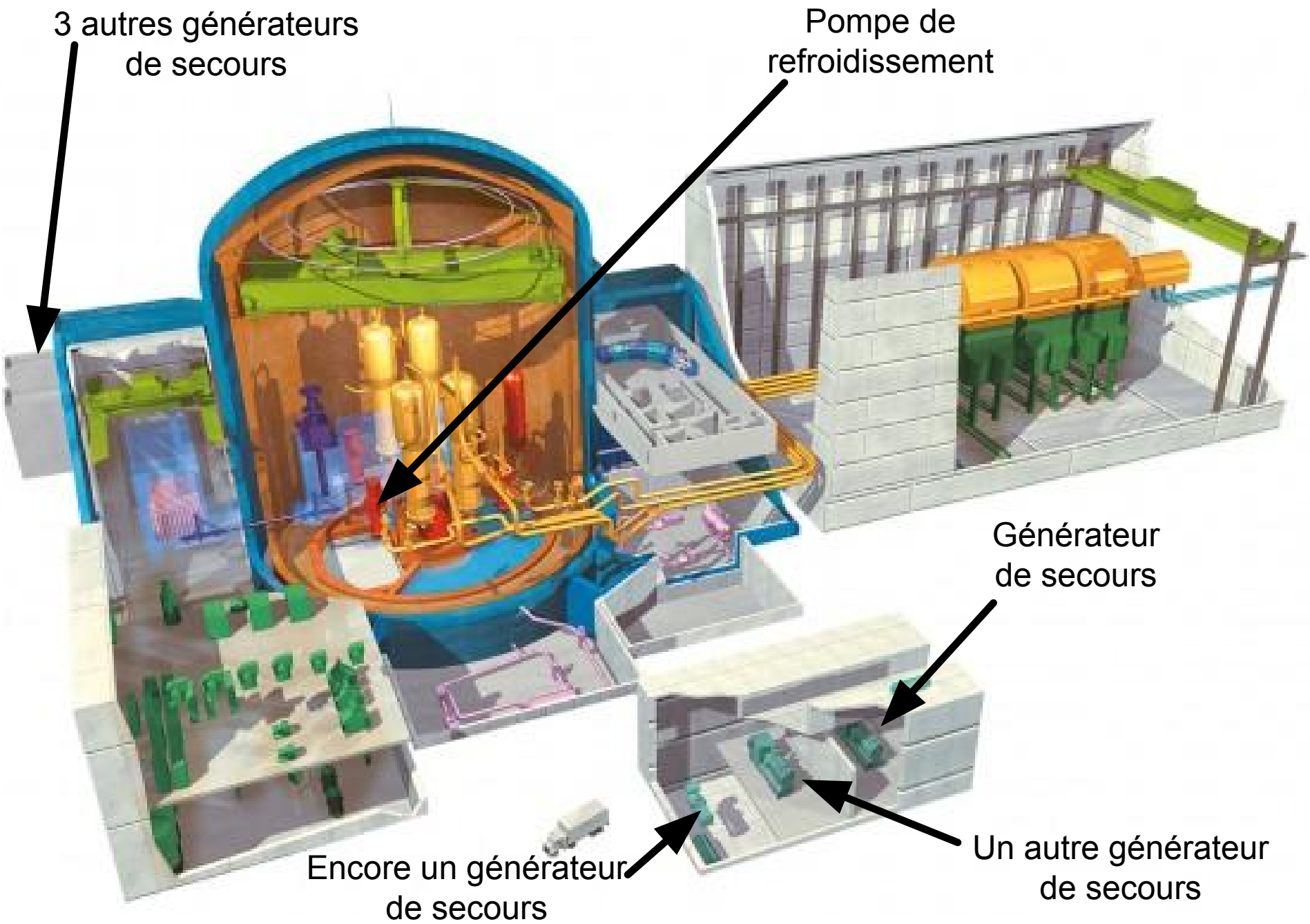
7%

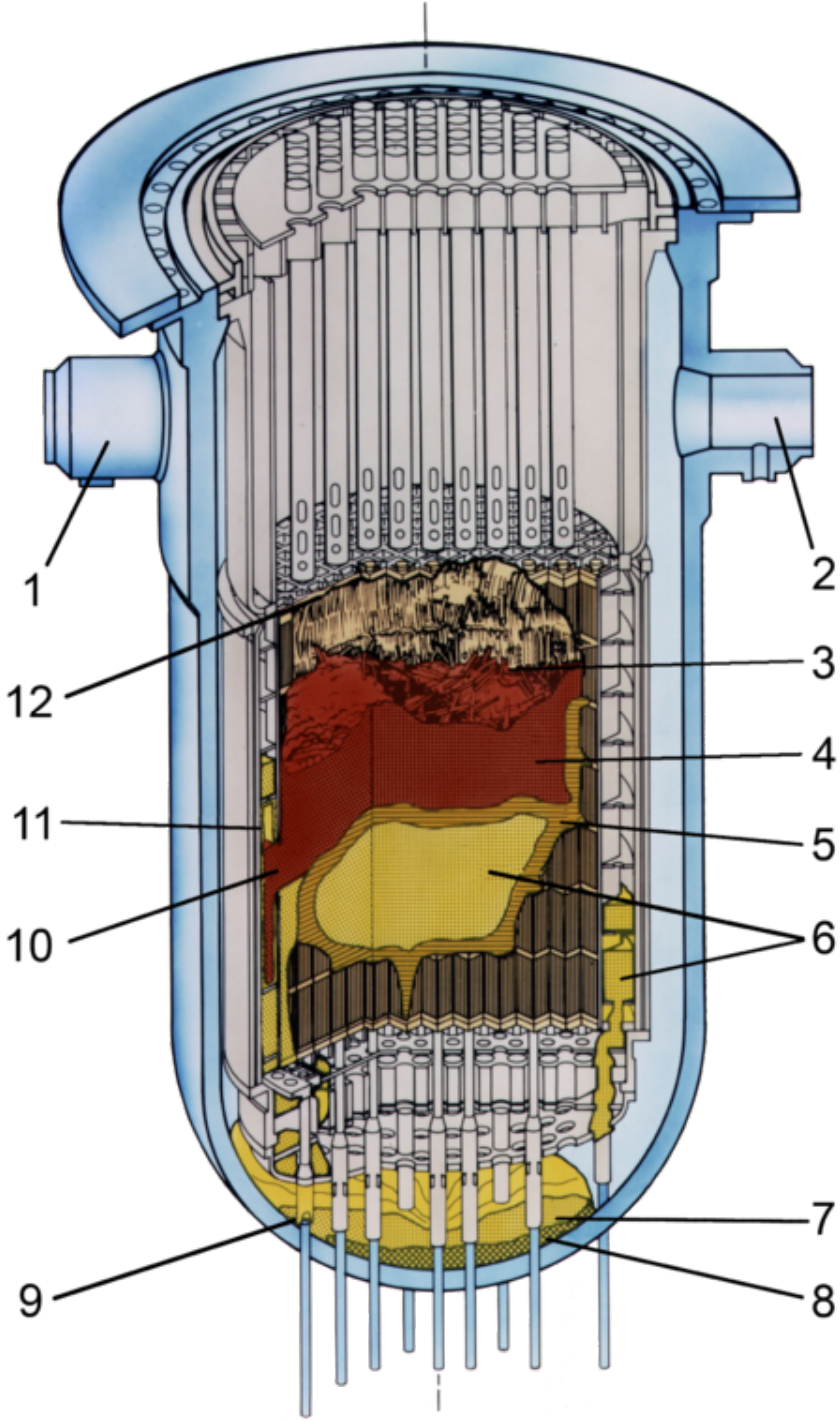
14,2 Million électron-volts

de la désintégration des produits de fission

Source : wikipédia.fr


Système de refroidissement du réacteur
Système secondaire
Vapeur
Eau
Générateur de vapeur
Pressuriseur
Mécanisme barres de contrôle
Pompe primaire
Cœur du réacteur
Cuve
Générateur
Condenseur
Pompe
Préchauffage
Eau de refroidissement

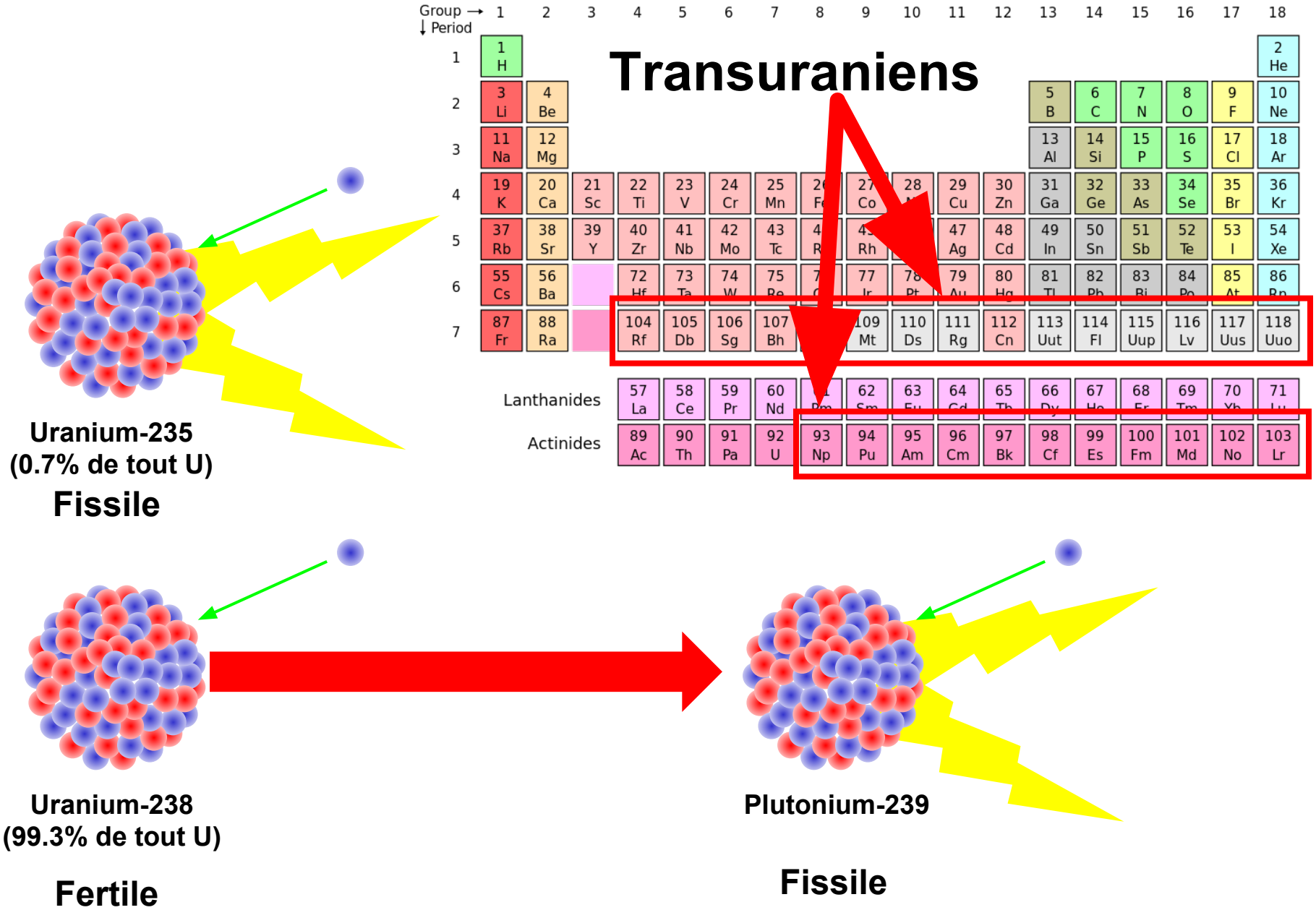

3 autres générateurs de secours
Pompe de refroidissement
Générateur de secours
Un autre générateur de secours
Encore un générateur de secours


1
2
12
3
4
11
5
10
6
7
9
8

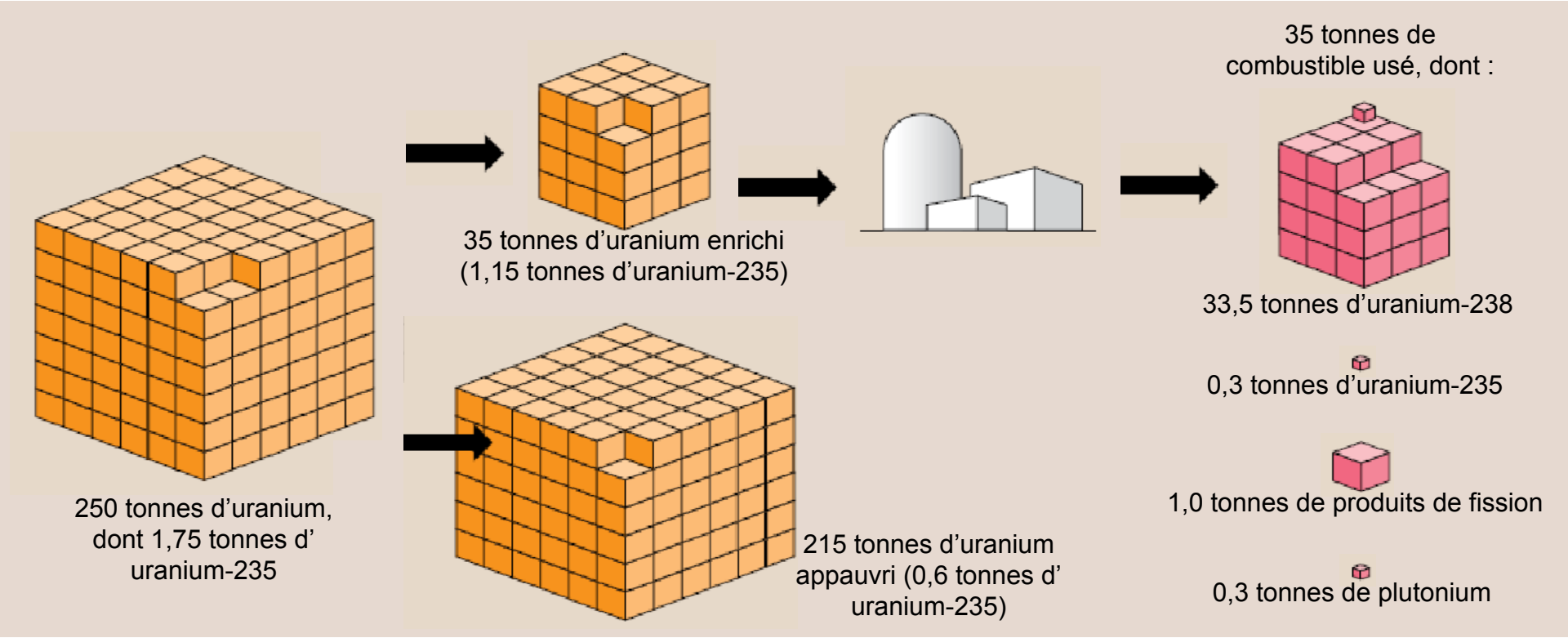
Three Mile Island

Fukushima

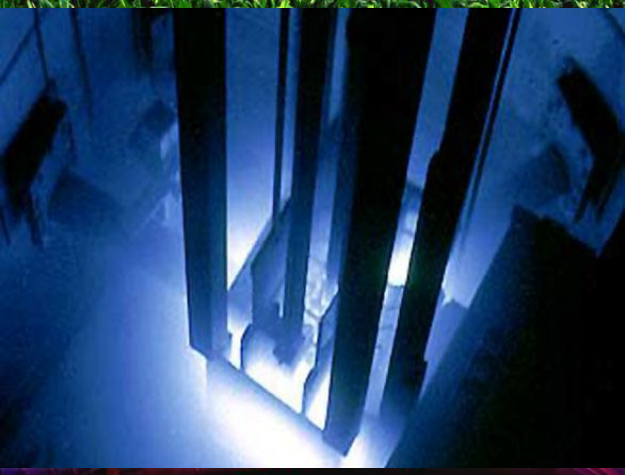
Tchernobyl

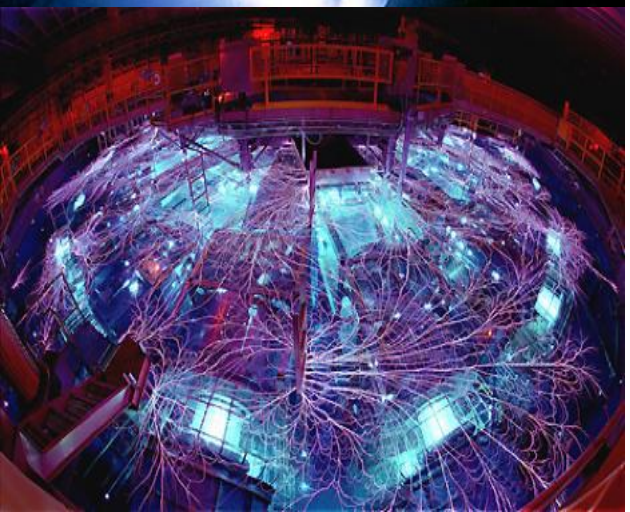

Transuraniens
Group → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
↓ Period
1 2 3 4 5 6 7
1 H
2 He
3 Li
4 Be
5 B
6 C
7 N
8 O
9 F
10 Ne
11 Na
12 Mg
13 Al
14 Si
15 P
16 S
17 Cl
18 Ar
19 K
20 Ca
21 Sc
22 Ti
23 V
24 Cr
25 Mn
29 Cu
30 Zn
31 Ga
32 Ge
33 As
34 Se
35 Br
36 Kr
37 Rb
38 Sr
39 Y
40 Zr
41 Nb
42 Mo
43 Tc
47 Ag
48 Cd
49 In
50 Sn
51 Sb
52 Te
53 I
54 Xe
55 Cs
56 Ba
72 Hf
74 W
79 Au
80 Hg
81 Tl
82 Pb
83 Bi
84 Po
85 At
86 Rn
87 Fr
88 Ra
104 Rf
105 Db
106 Sg
107 Bh
110 Ds
111 Rg
112 Cn
113 Uut
114 Fl
115 Uup
116 Lv
117 Uus
118 Uuo
Lanthanides
57 La
58 Ce
59 Pr
60 Nd
62 Sm
63 Eu
64 Gd
65 Tb
66 Dy
67 Ho
68 Er
69 Tm
70 Yb
71 Lu
Actinides
89 Ac
90 Th
91 Pa
92 U
93 Np
94 Pu
95 Am
96 Cm
97 Bk
98 Cf
99 Es
100 Fm
101 Md
102 No
103 Lr
Uranium-235
(0.7% de tout U)
Fissile
Uranium-238
(99.3% de tout U)
Fertile
Plutonium-239
Fissile

Pour produire 1 GigaWatt-Année d'électricité :



Source : Robert Hargraves et Ralph Moir, American Scientist No. 98, Juillet-Août 2010, p.308





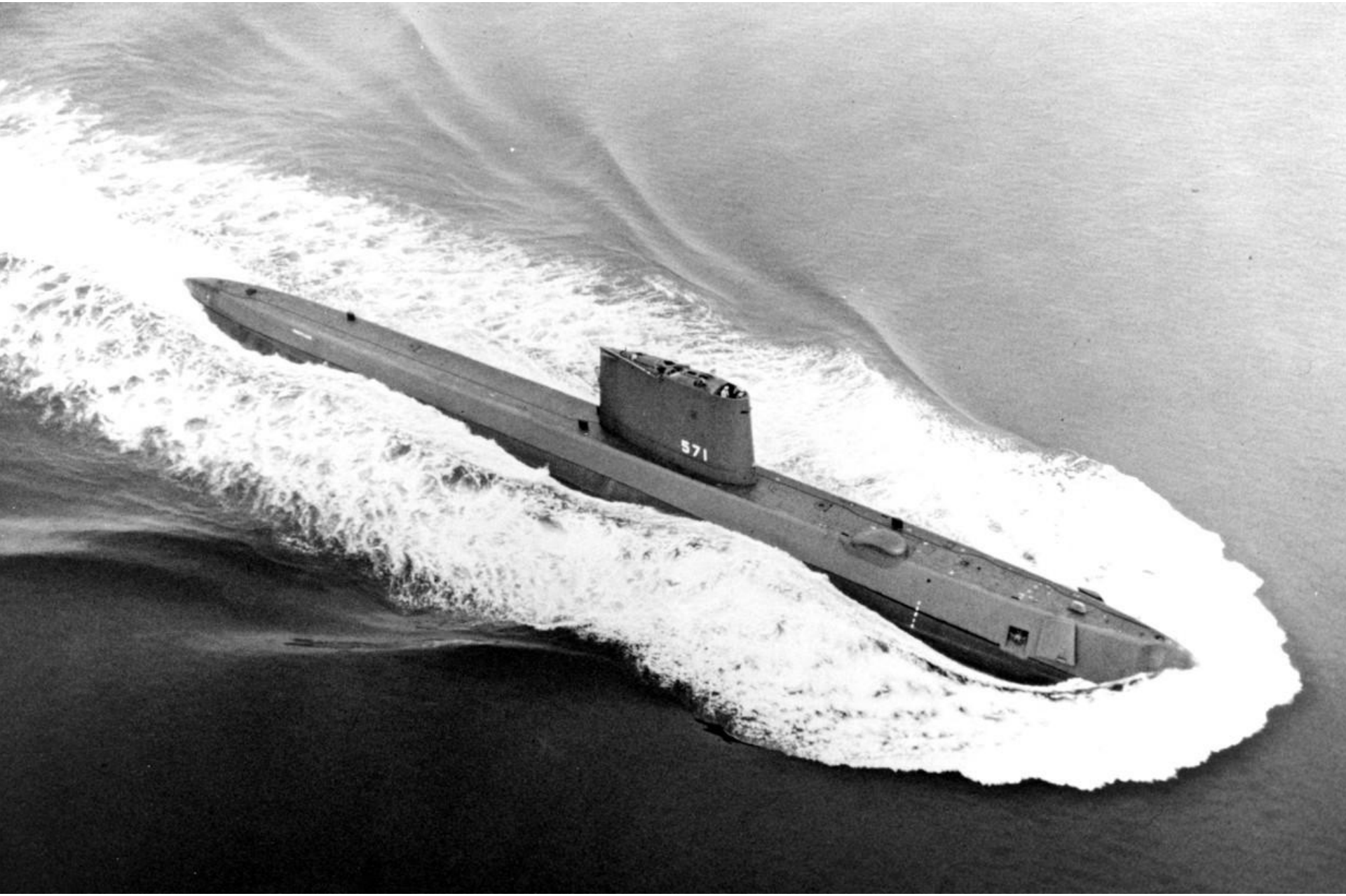
FIABLE

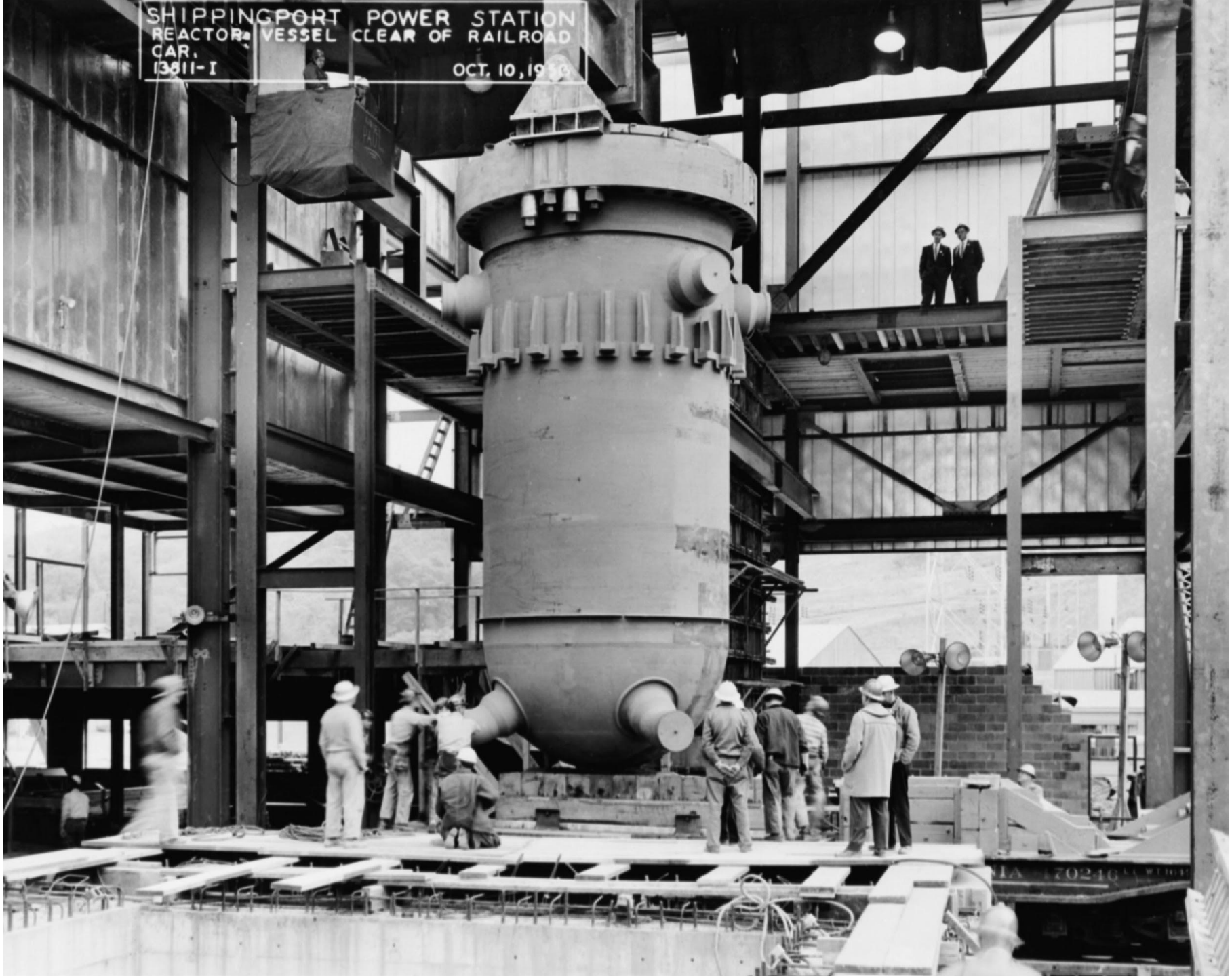
BON MARCHÉ

SÛRE

DURABLE

PROPRE

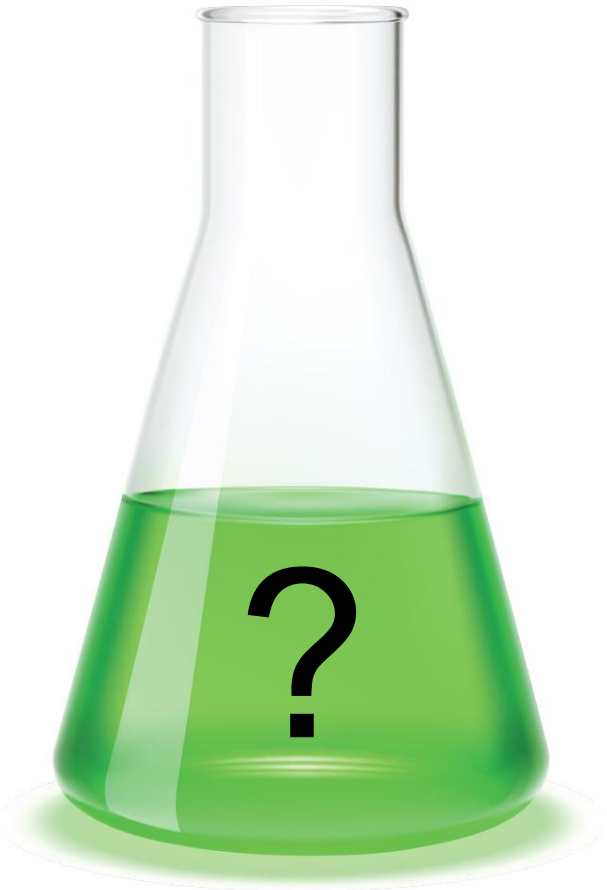

571


SHIPPINGPORT POWER STATION
REACTOR VESSEL CLEAR OF RAILROAD
CAR.
13811-I
OCT. 10, 1956

GEN I
GEN II
GEN III
GEN IV
Stoiber

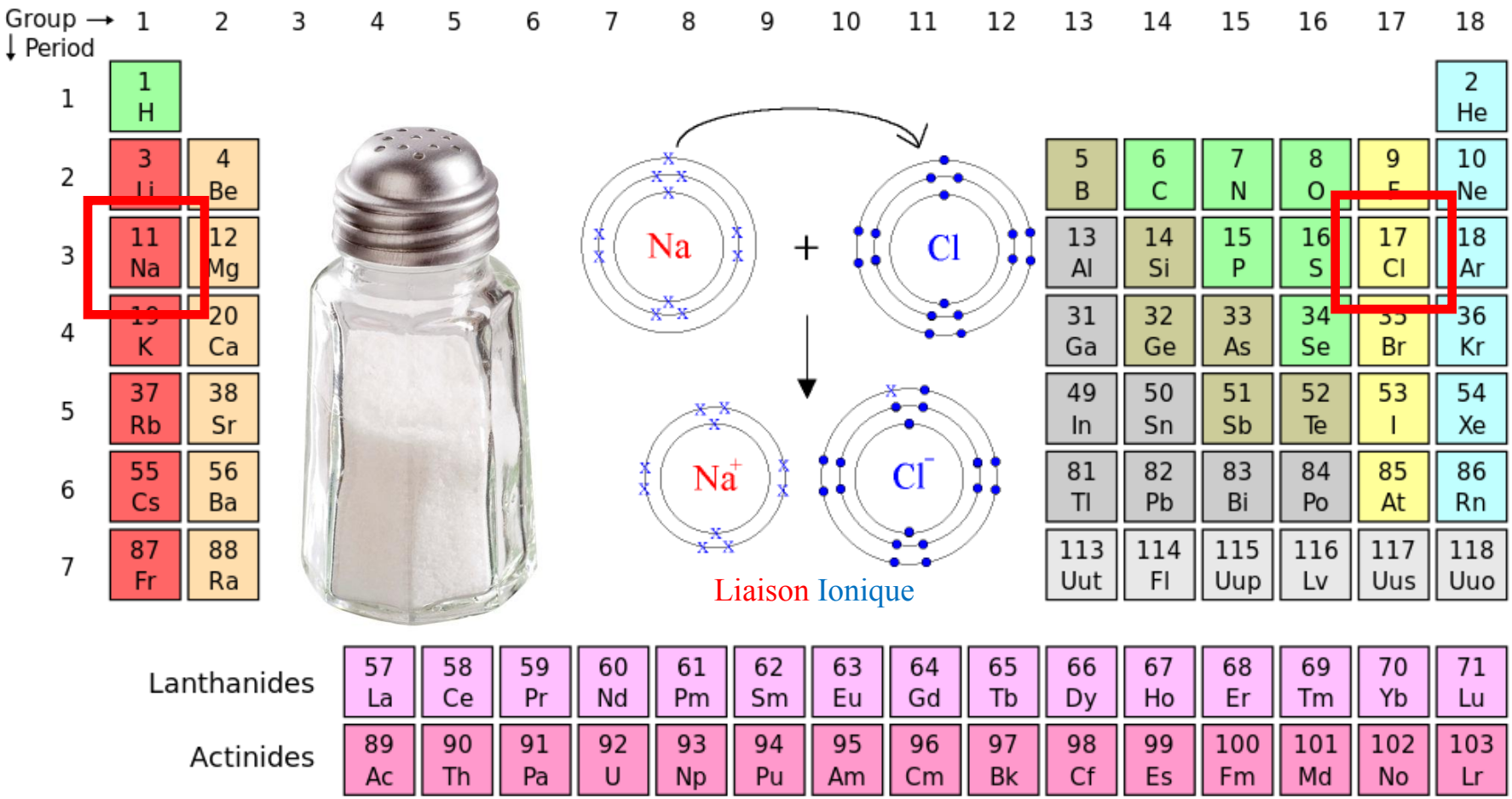
FISSION LIQUIDE

Quel Liquide ?



- Température de fusion basse
- Température d'ébullition élevée
- Bonnes propriétés thermiques
- Bonnes propriétés hydrauliques
- Bonne stabilité sous rayonnement
- Bonne solubilité des matériaux fissiles et fertiles
- Eviter la production d'isotopes radioactifs
- Permettre le retraitement du combustible

Sels Fondus



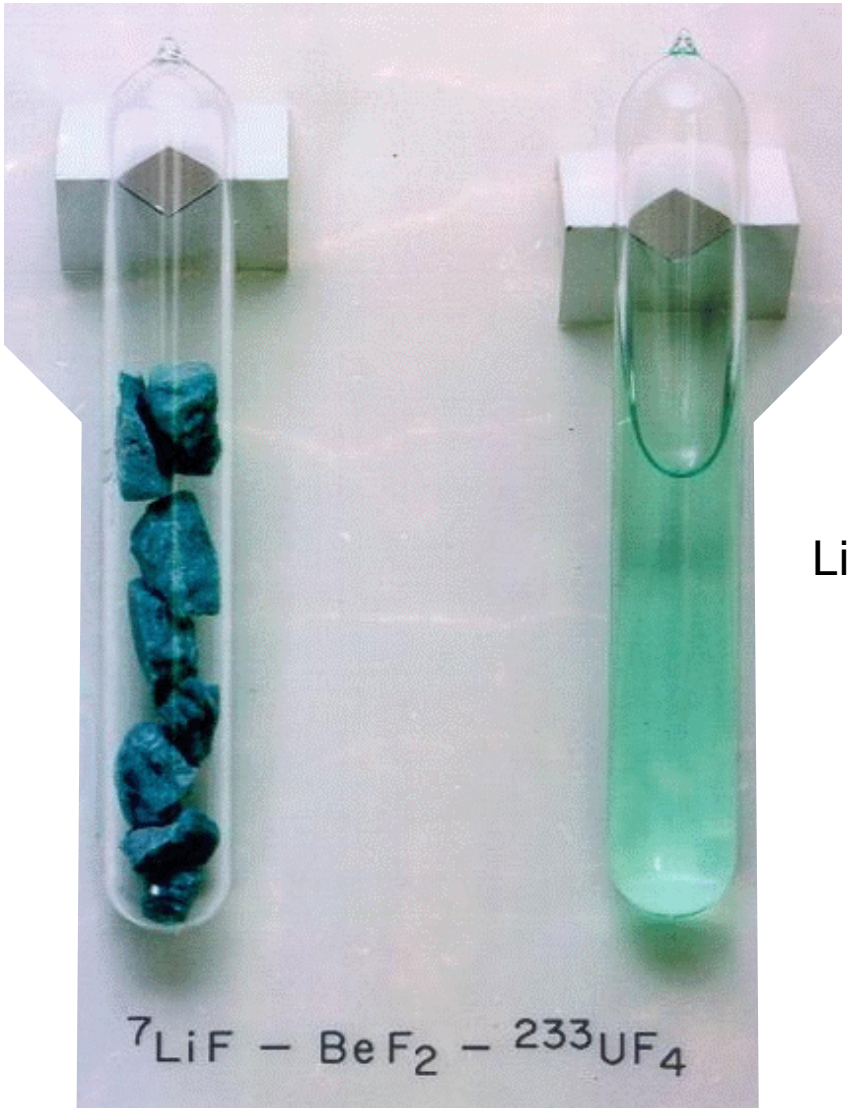
LiF : Fluorure de Lithium

BeF : Fluorure de Béryllium

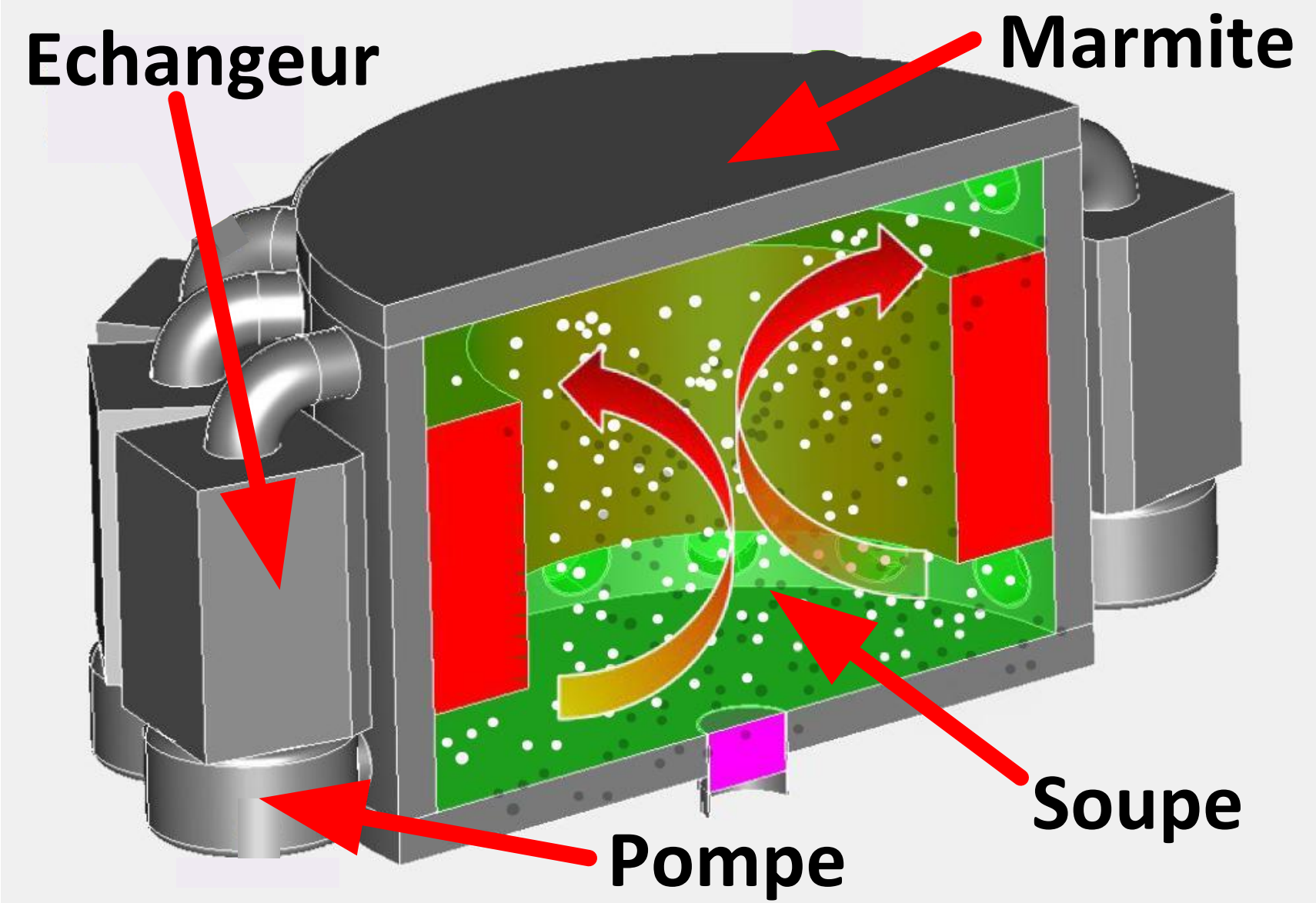
Mélange de Fluorures de Lithium & Béryllium : FLiBe

Combustibles nucléaires liquides

Solide
Cristallisé



Liquide

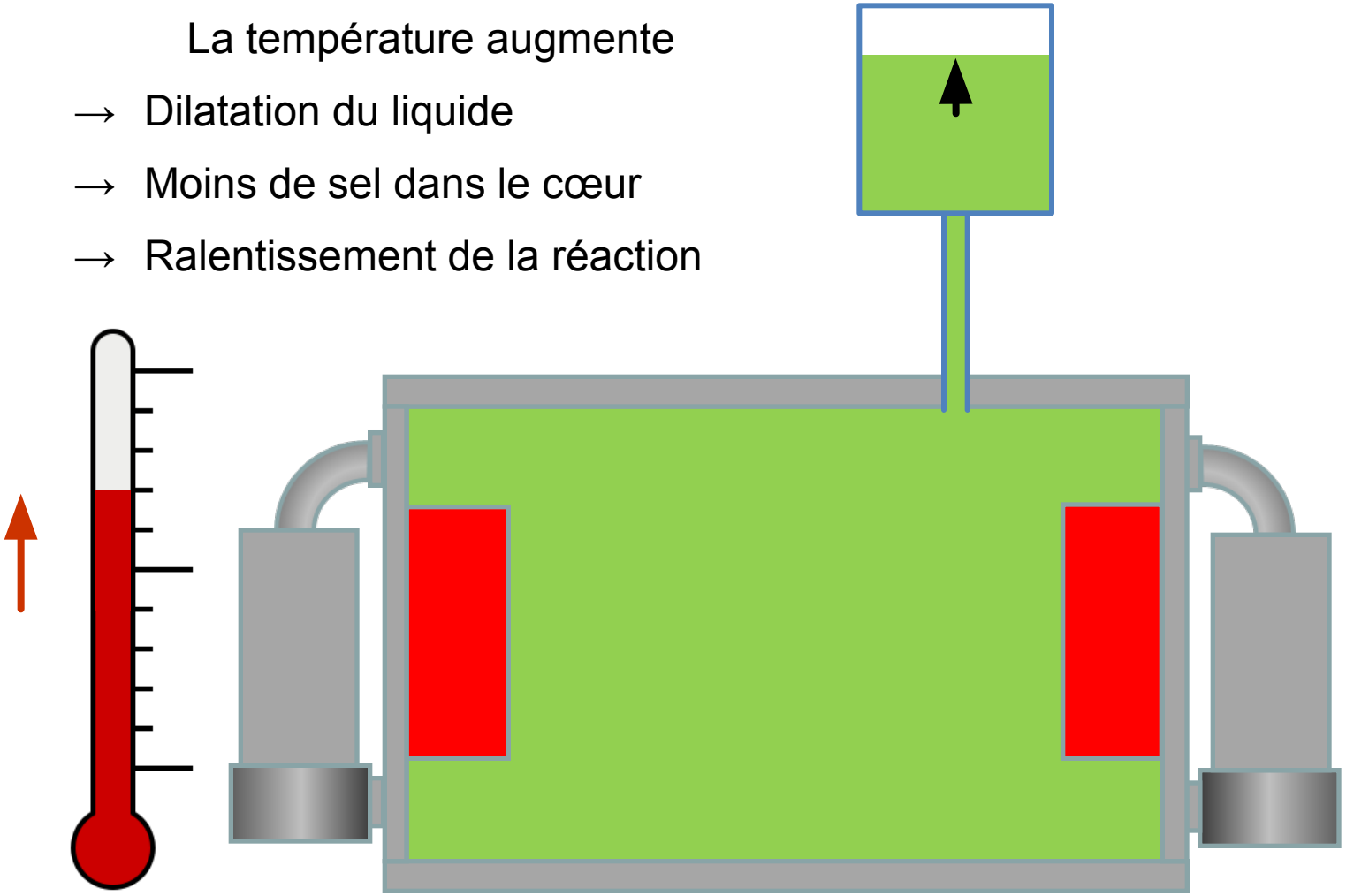

Echangeur
Marmite
Soupe
Pompe

La température augmente

→ Dilatation du liquide

→ Moins de sel dans le cœur

→ Ralentissement de la réaction

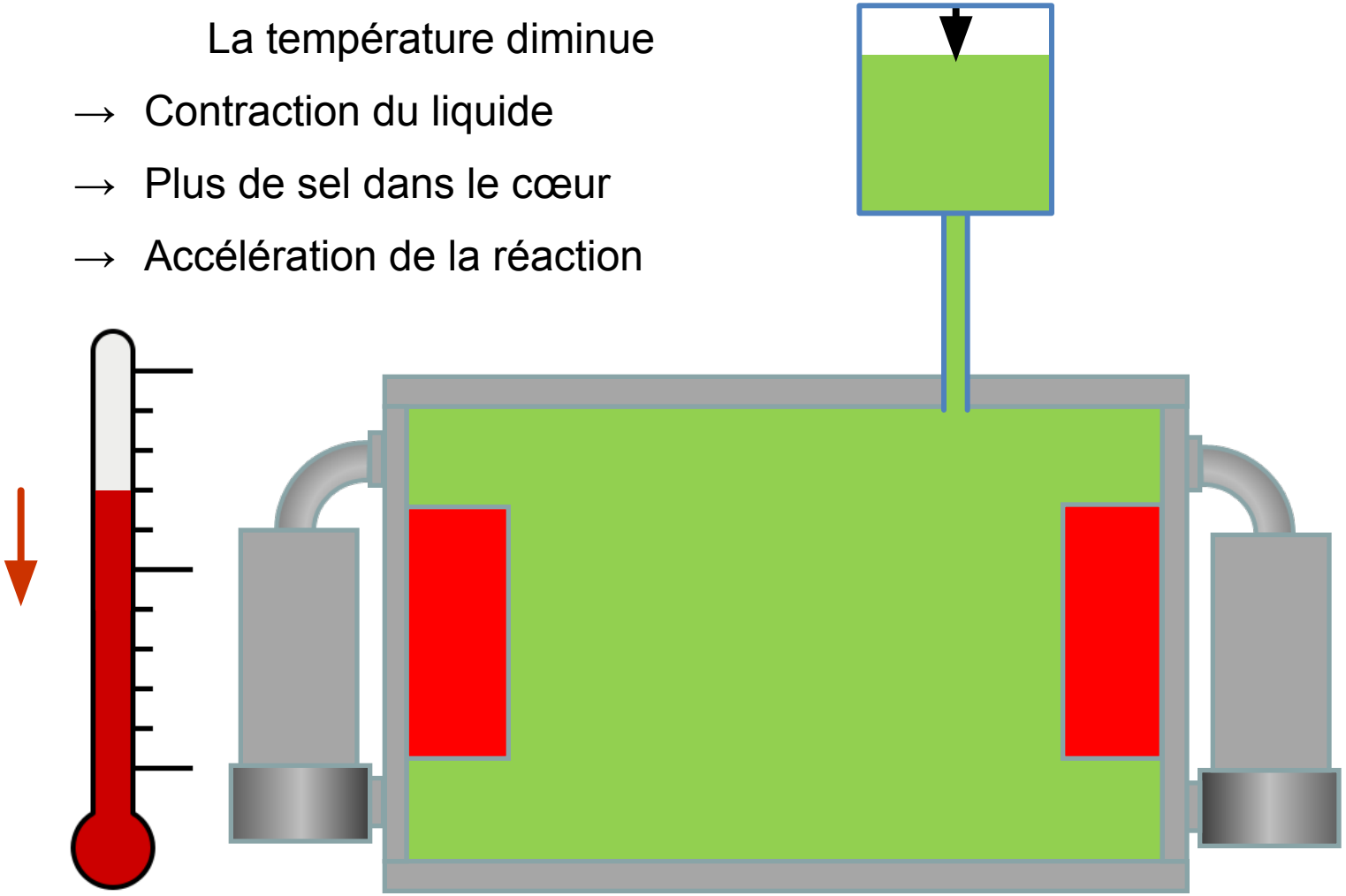


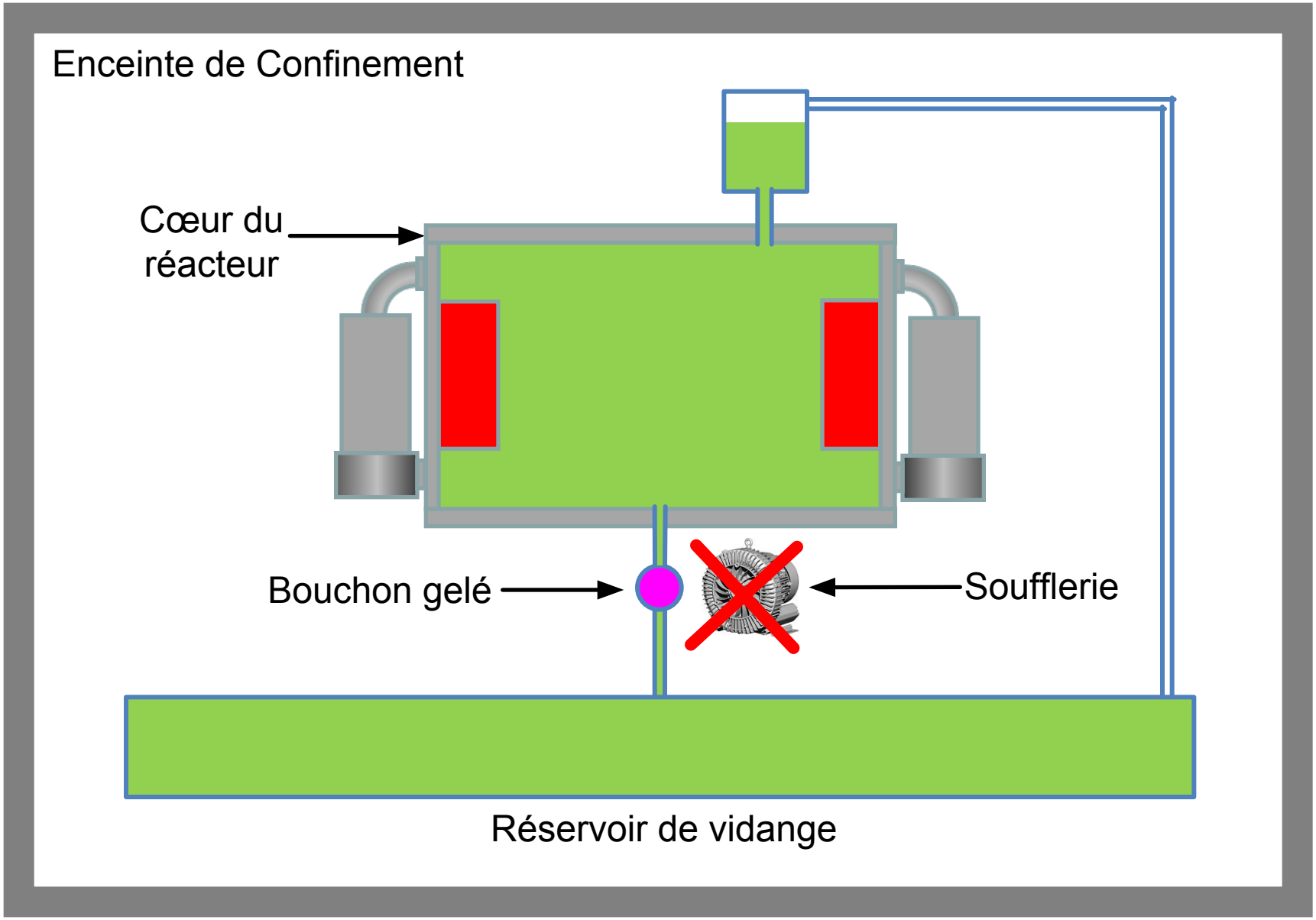
La température diminue

→ Contraction du liquide

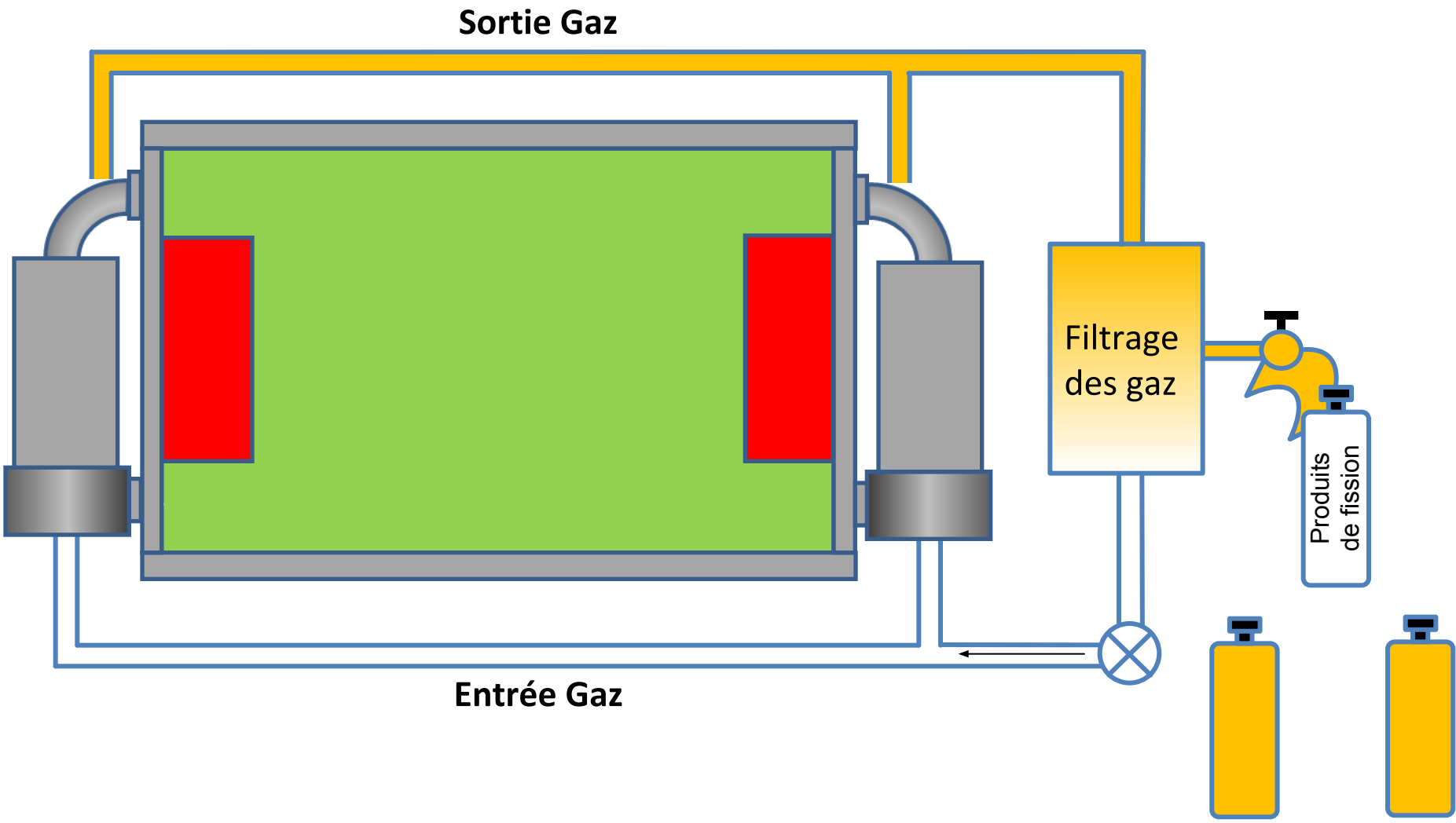
→ Plus de sel dans le cœur

→ Accélération de la réaction



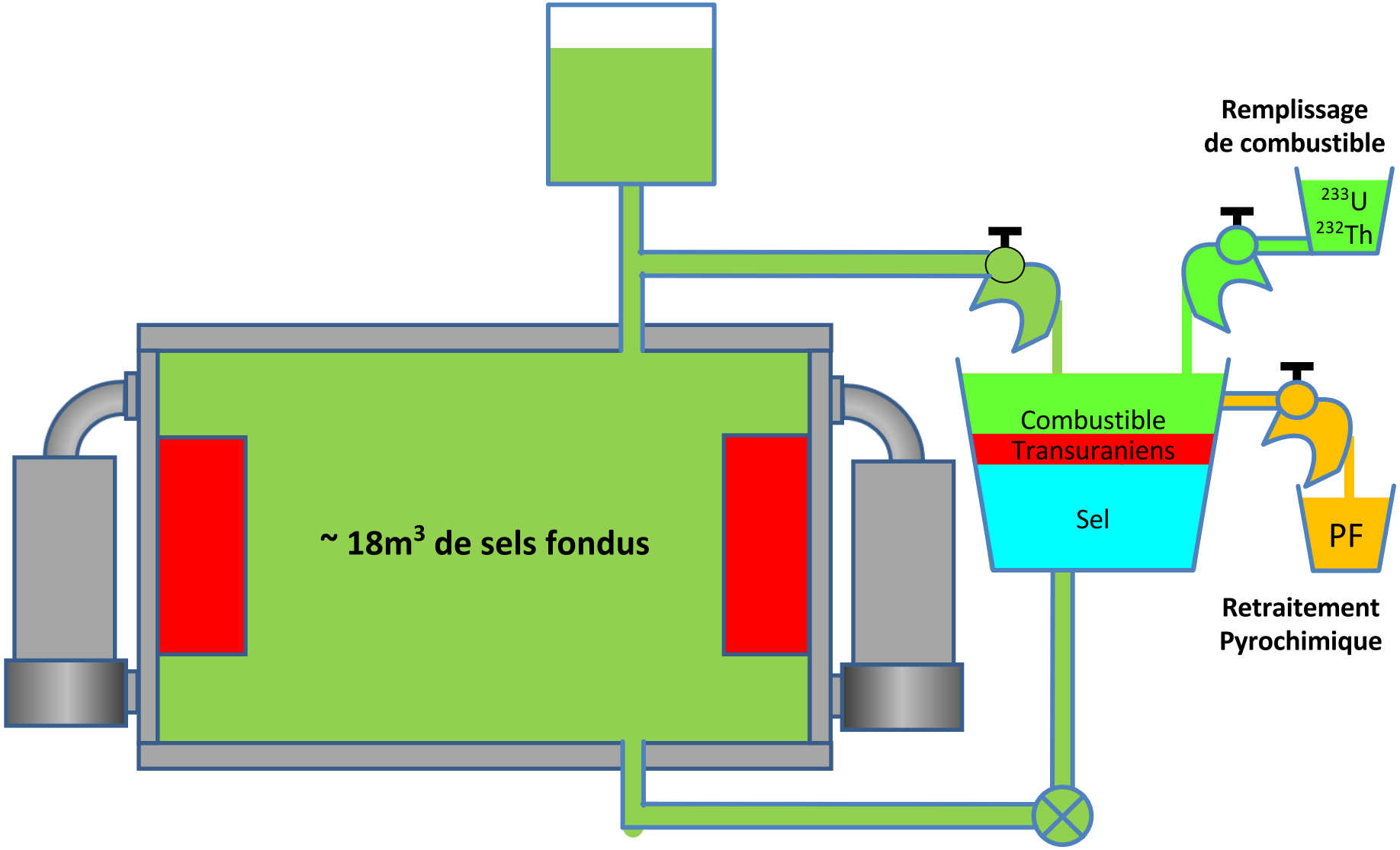

Enceinte de Confinement
Cœur du réacteur
Bouchon gelé
Soufflerie
Réservoir de vidange

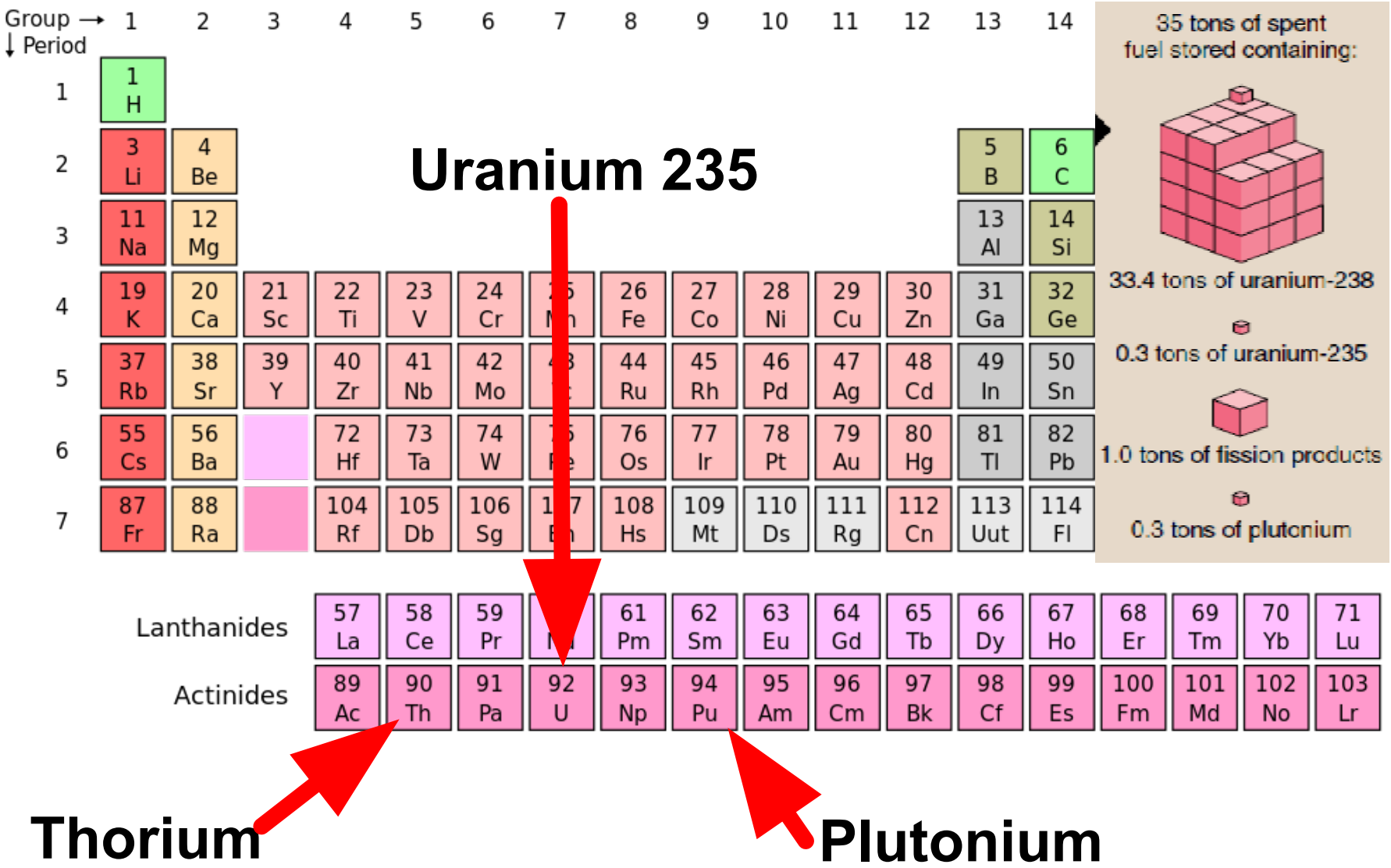
Nettoyage des produits de fission gazeux dans un réacteur MSFR par bullage de gaz



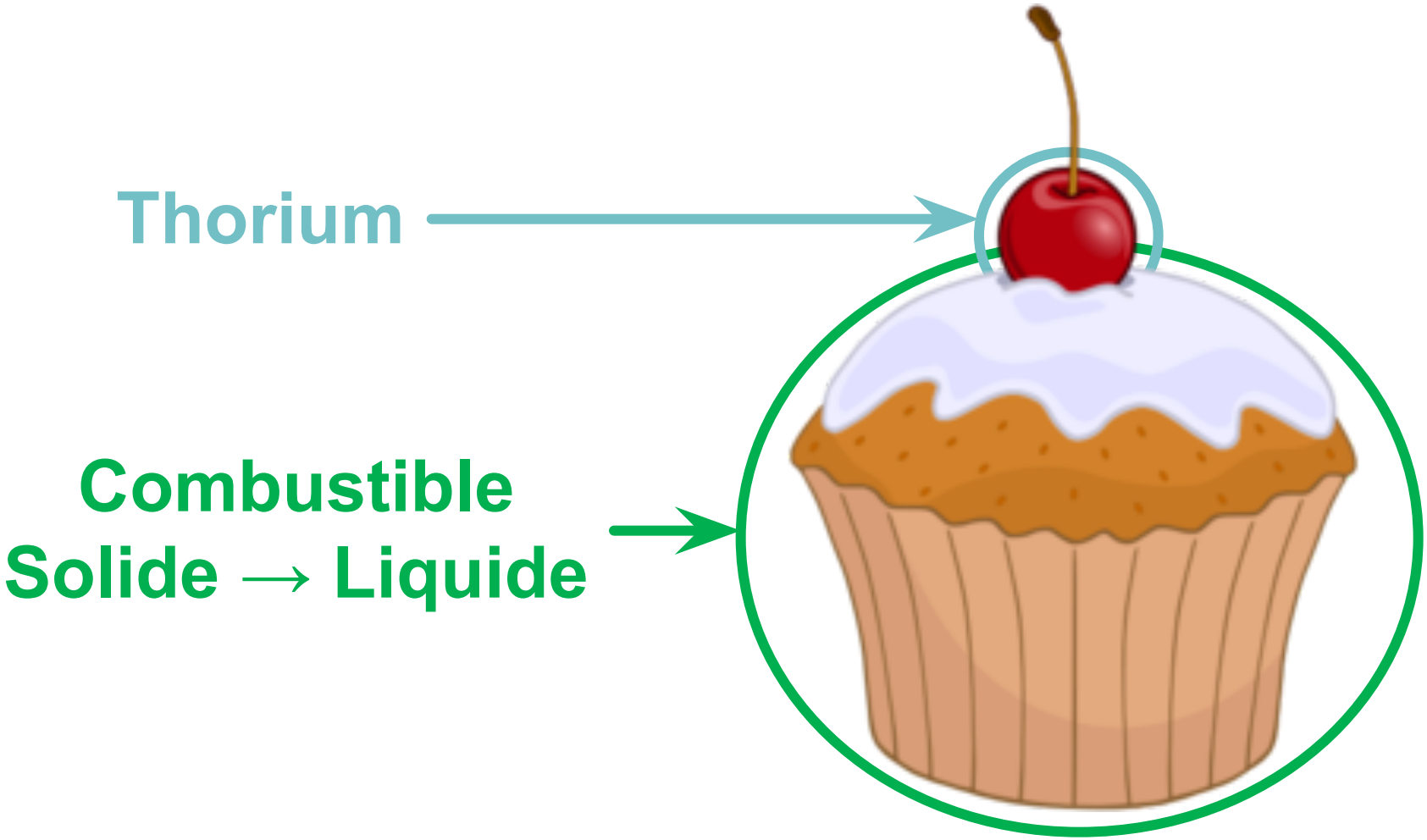
1 bouteille par jour. 2 litres @ 100 barres

Traitement du sel combustible d'un réacteur à sels fondus MSFR

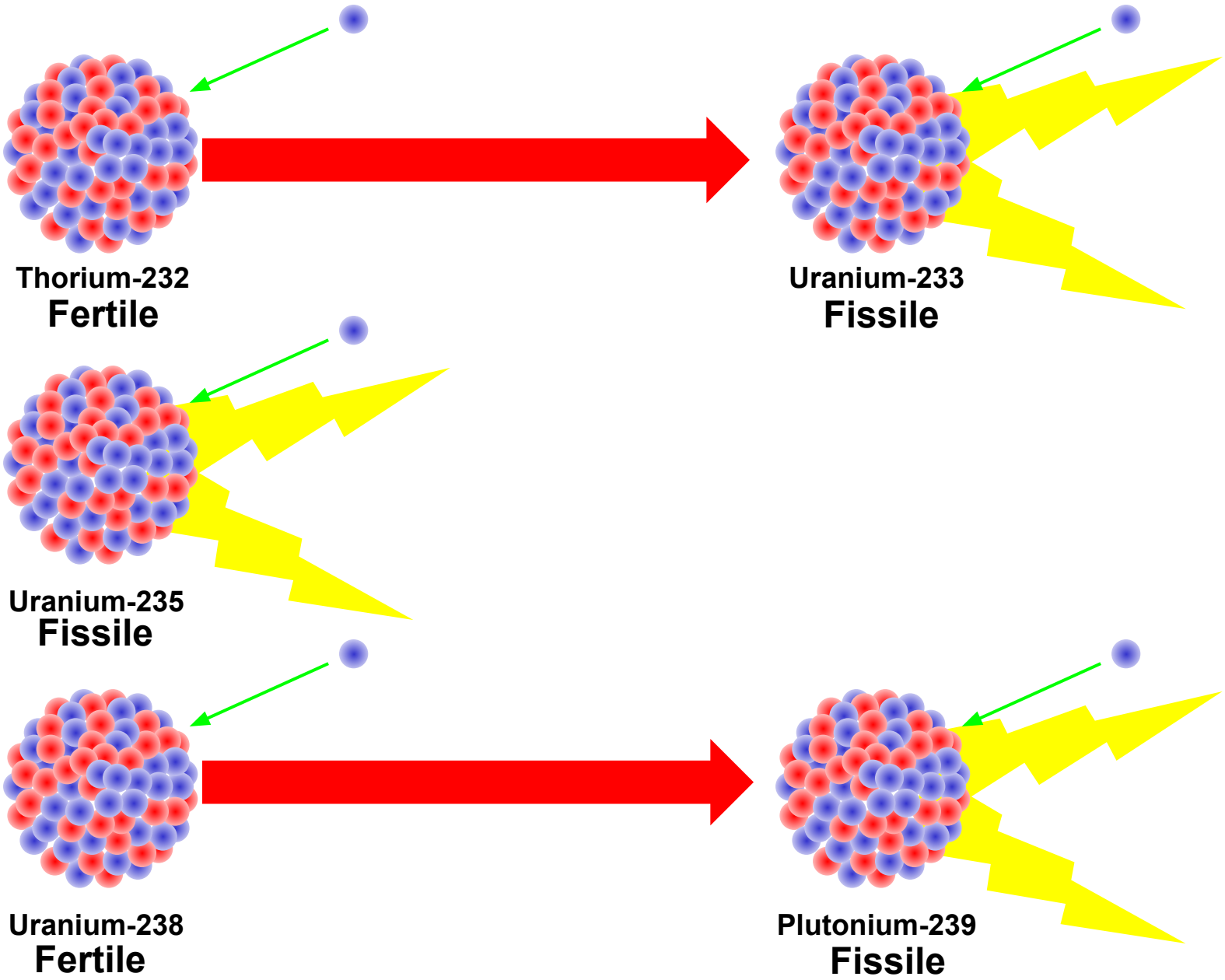



Group → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
↓ Period
1 H
3 Li 4 Be 5 B 6 C
11 Na 12 Mg 13 Al 14 Si
19 K 20 Ca 21 Sc 22 Ti 23 V 24 Cr 26 Fe 27 Co 28 Ni 29 Cu 30 Zn 31 Ga 32 Ge
37 Rb 38 Sr 39 Y 40 Zr 41 Nb 42 Mo 44 Ru 45 Rh 46 Pd 47 Ag 48 Cd 49 In 50 Sn
55 Cs 56 Ba 72 Hf 73 Ta 74 W 76 Os 77 Ir 78 Pt 79 Au 80 Hg 81 Tl 82 Pb
87 Fr 88 Ra 104 Rf 105 Db 106 Sg 108 Hs 109 Mt 110 Ds 111 Rg 112 Cn 113 Uut 114 Fl
Lanthanides
57 La 58 Ce 59 Pr 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu
Actinides
89 Ac 90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr
35 tons of spent fuel stored containing:
33.4 tons of uranium-238
0.3 tons of uranium-235
1.0 tons of fission products
0.3 tons of plutonium
Uranium 235
Thorium
Plutonium

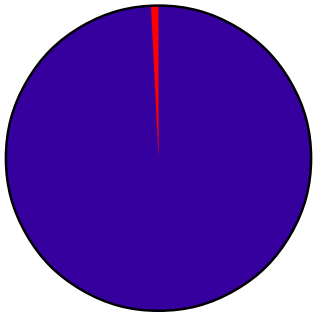
Le Thorium est la cerise sur le gâteau



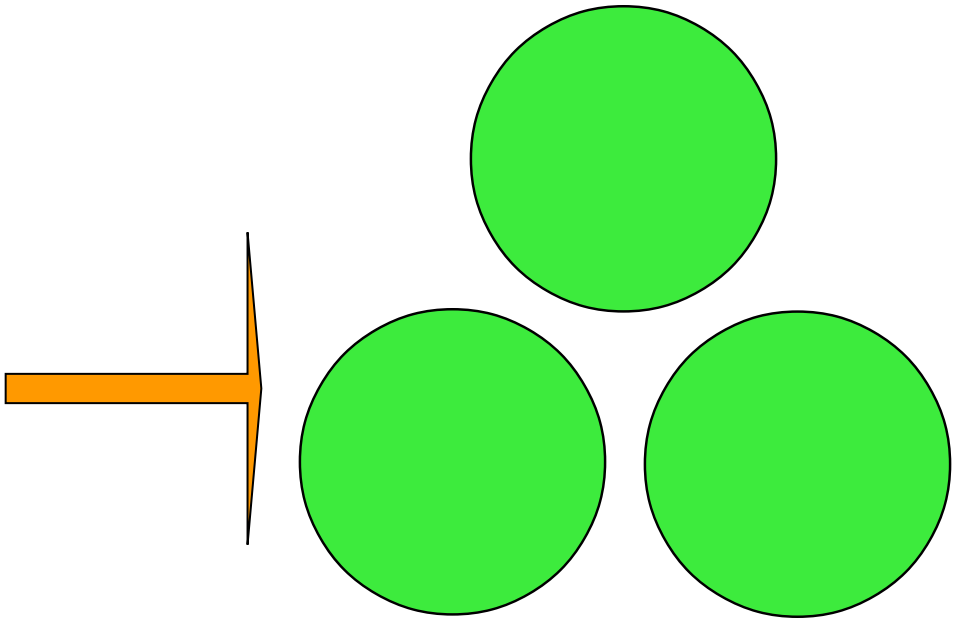
Trois options de combustible nucléaire



Le Thorium est plus abondant



Uranium naturel
99.3% uranium-238
0.7% uranium-235



Thorium naturel
100% thorium-232

Réacteur à eau pressurisé :

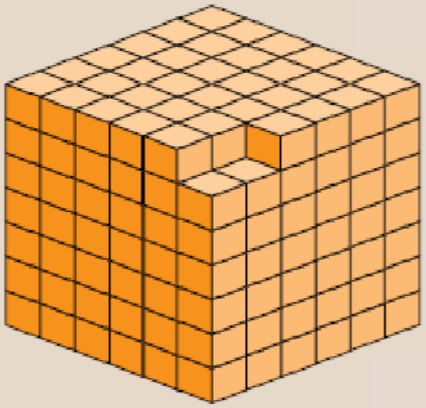
Typiquement 0,5% de la teneur en énergie de l'uranium

Combustible liquide :

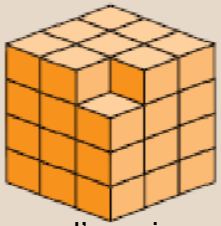
100% de la teneur en énergie du thorium

Pour produire 1 GigaWatt-Année d'électricité :

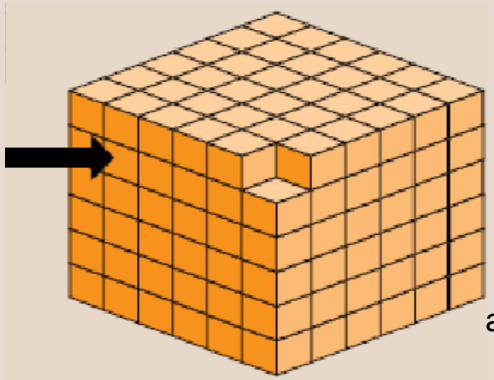
Réacteur à Eau Pressurisée



250 tonnes d'uranium, dont 1,75 tonnes d' uranium-235

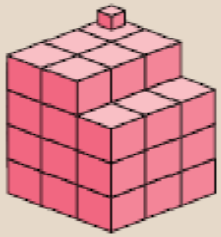


35 tonnes d'uranium enrichi (1,15 tonnes d'uranium-235)



215 tonnes d'uranium appauvri (0,6 tonnes d' uranium-235)

35 tonnes de combustible usé, dont :



33,5 tonnes d'uranium-238

0,3 tonnes d'uranium -235)

1,0 tonnes de produits de fission

0,3 tonnes de plutonium

Réacteur à Sels Fondus

1 tonne de thorium

Conversion en uranium-233, puis en énergie

1 tonne de produits de fission

En 10 ans 83% des produits de fission sont stables

17% des produits de fission sont stockés pendant environ 300 ans

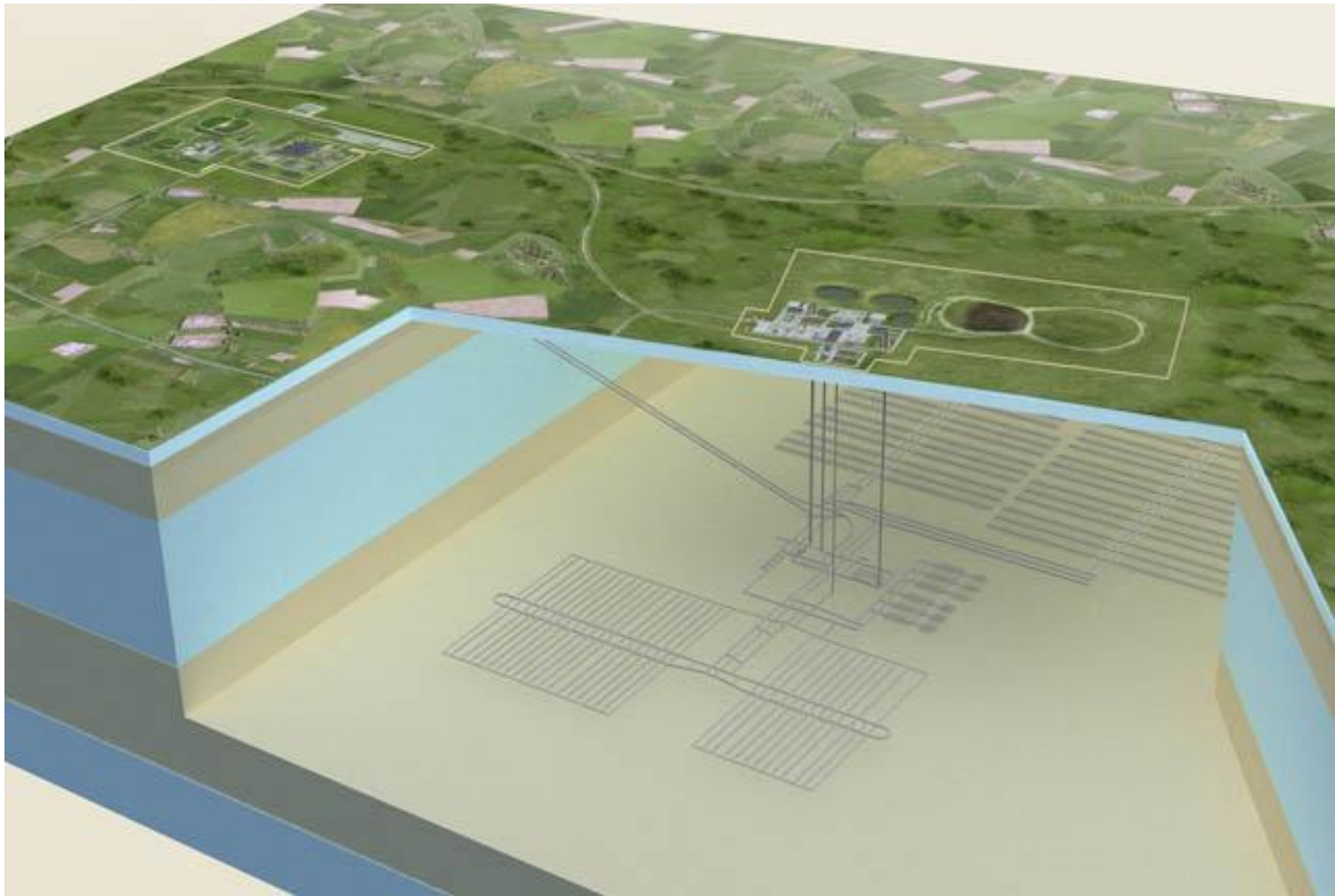
0,0001 tonnes de plutonium

Source : Robert Hargraves et Ralph Moir, American Scientist No. 98, Juillet-Août 2010, p.308

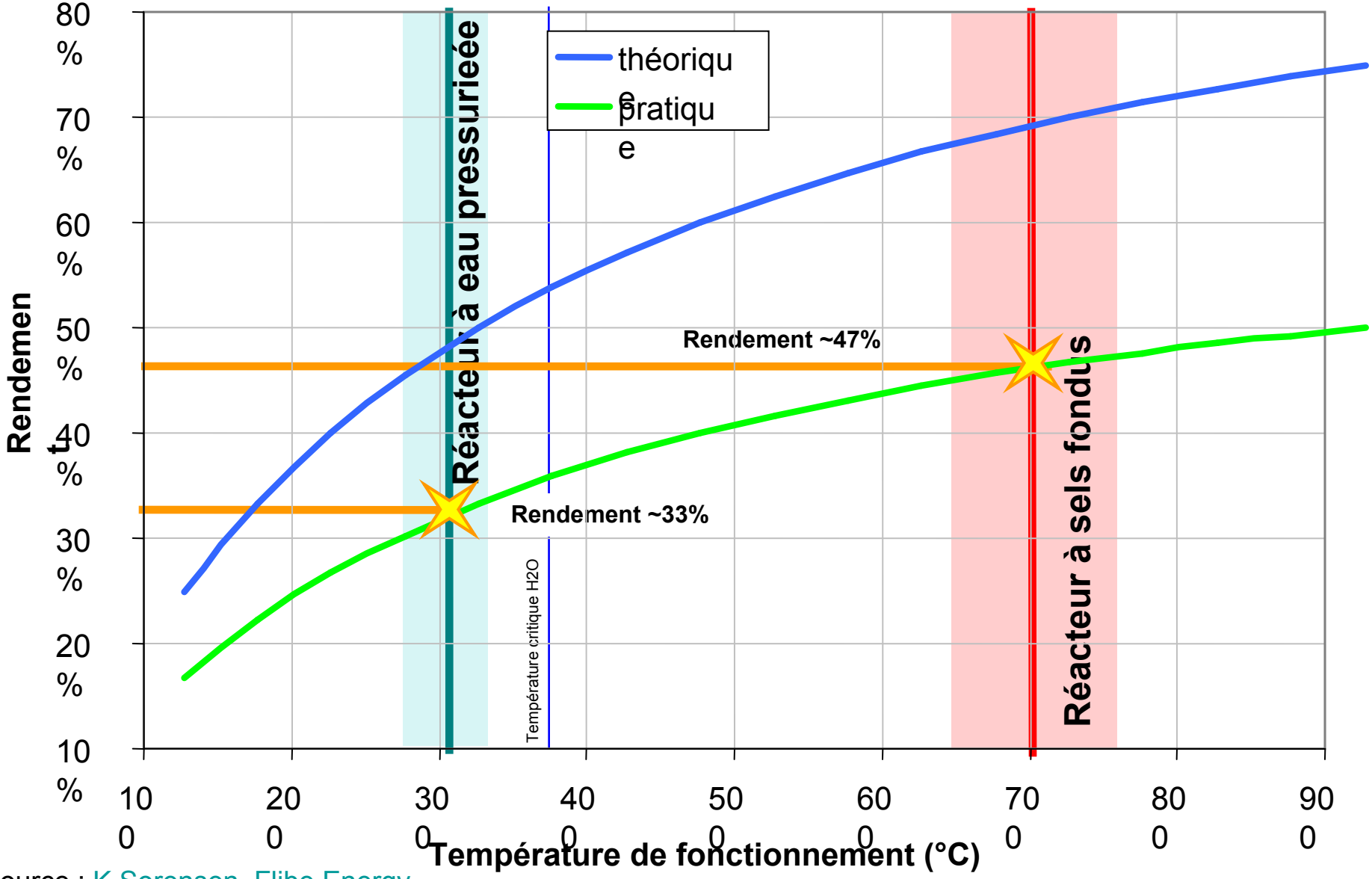
Aujourd'hui

10,000 ans

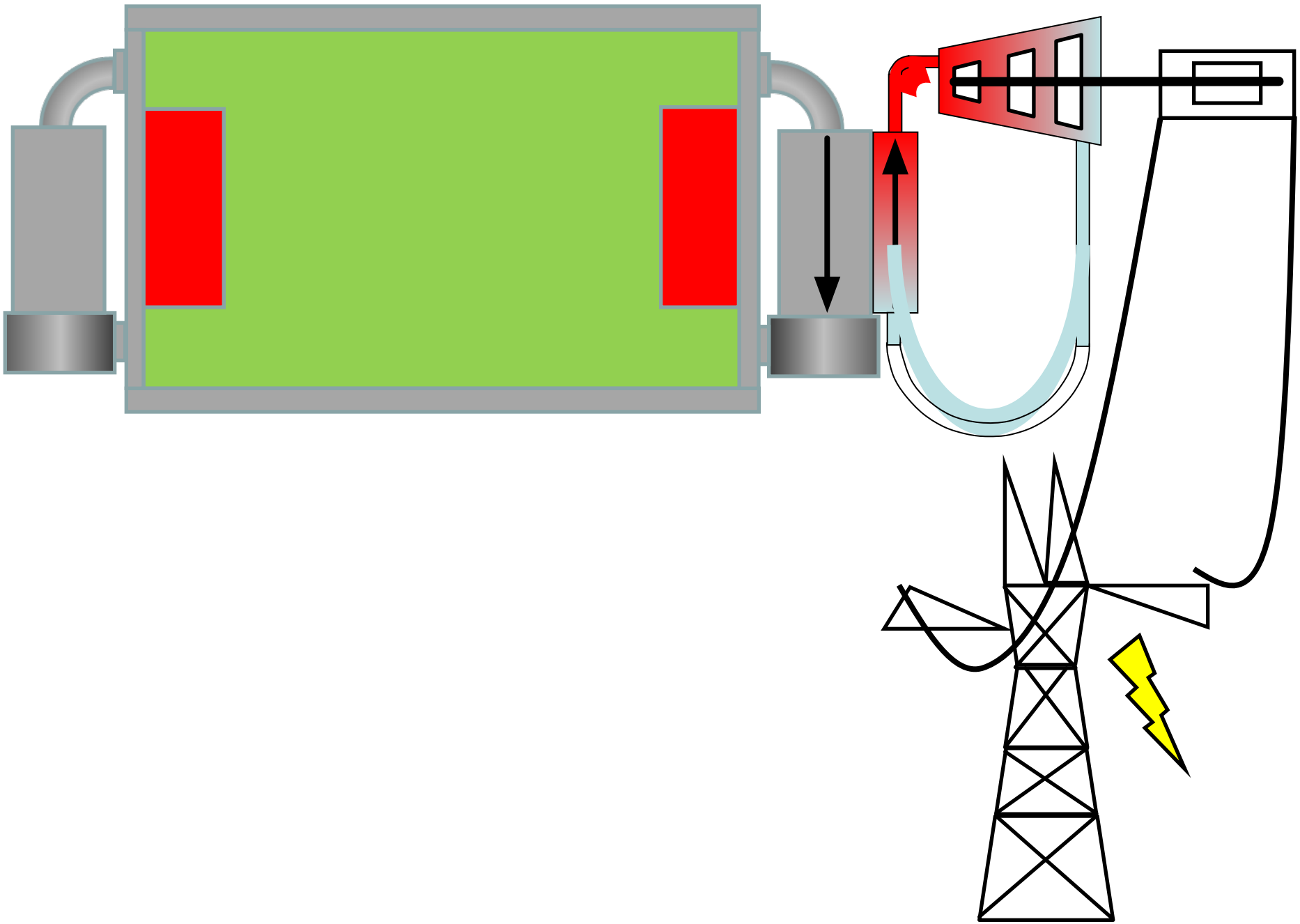
300 ans

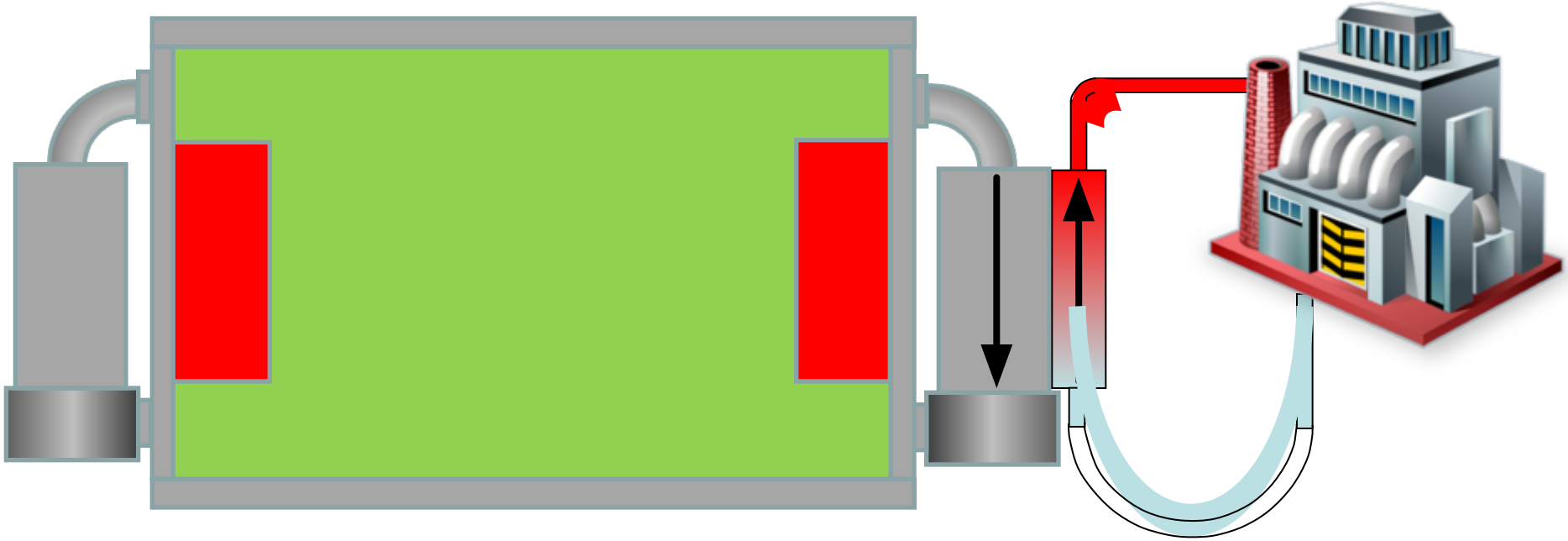


Rendements dans la production d'électricité



Source : K Sorensen, Flibe Energy





Carburants de synthése à partir de la chaleur nucléaire

Hydrocarbure

+

Oxygène

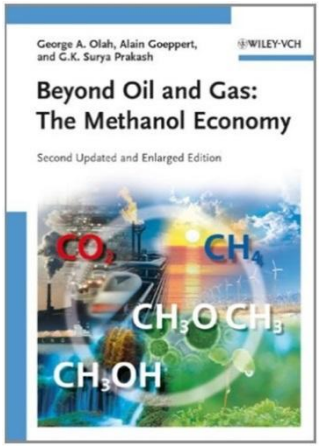
Dioxide de Carbone

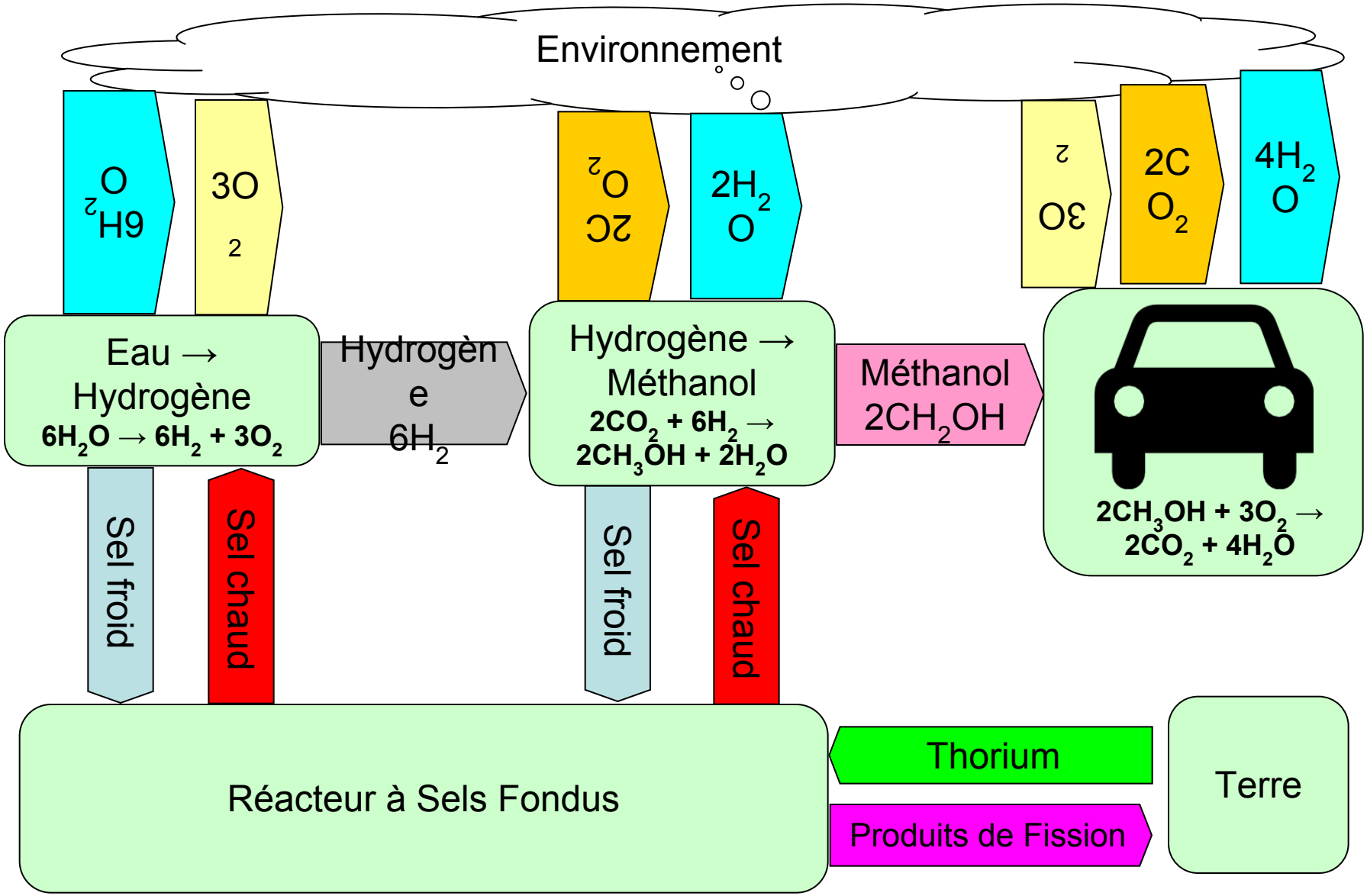
+

Eau

+

Energie




Environnement
$6H_2O$
$3O_2$
$2CO_2$
$2H_2O$
$3O_2$
$2CO_2$
$4H_2O$
Eau → Hydrogène
$6H_2O \rightarrow 6H_2 + 3O_2$
Hydrogène $6H_2$
Hydrogène → Méthanol
$2CO_2 + 6H_2 \rightarrow 2CH_3OH + 2H_2O$
Méthanol $2CH_2OH$
$2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O$
Sel froid
Sel chaud
Sel froid
Sel chaud
Réacteur à Sels Fondus
Thorium
Produits de Fission
Terre

NISSAN

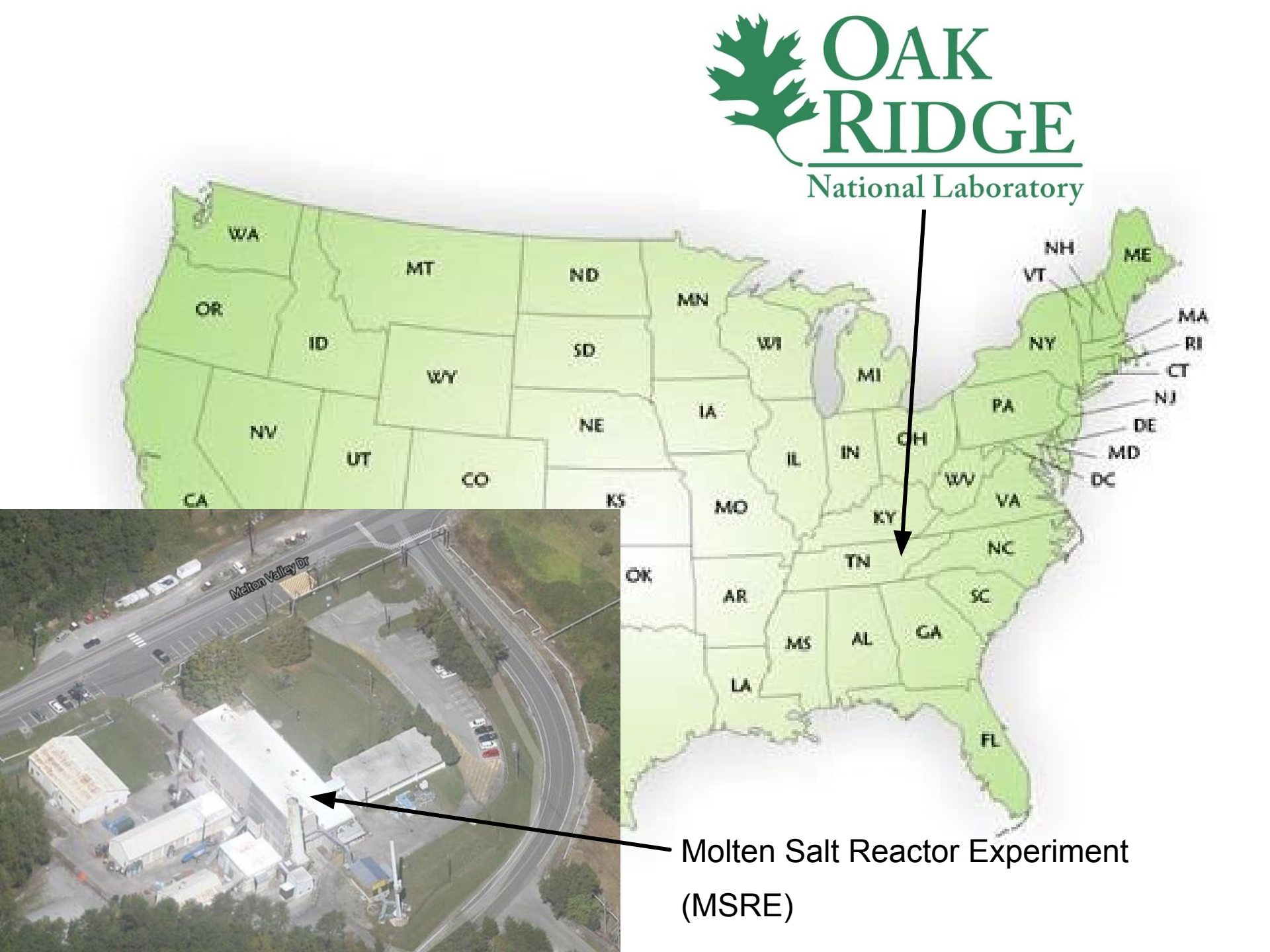
QASHQAI

A380
A380

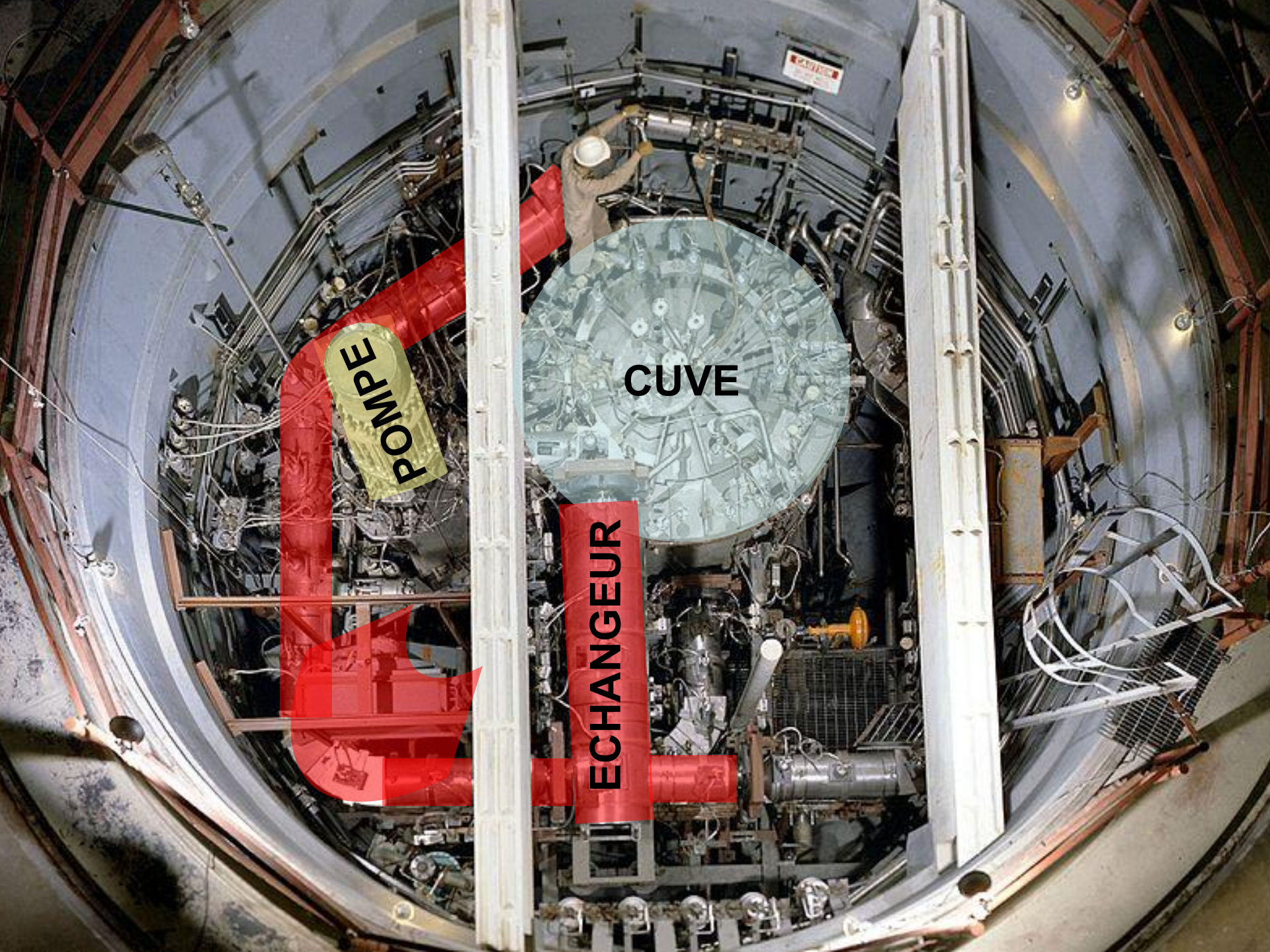
Kawasaki

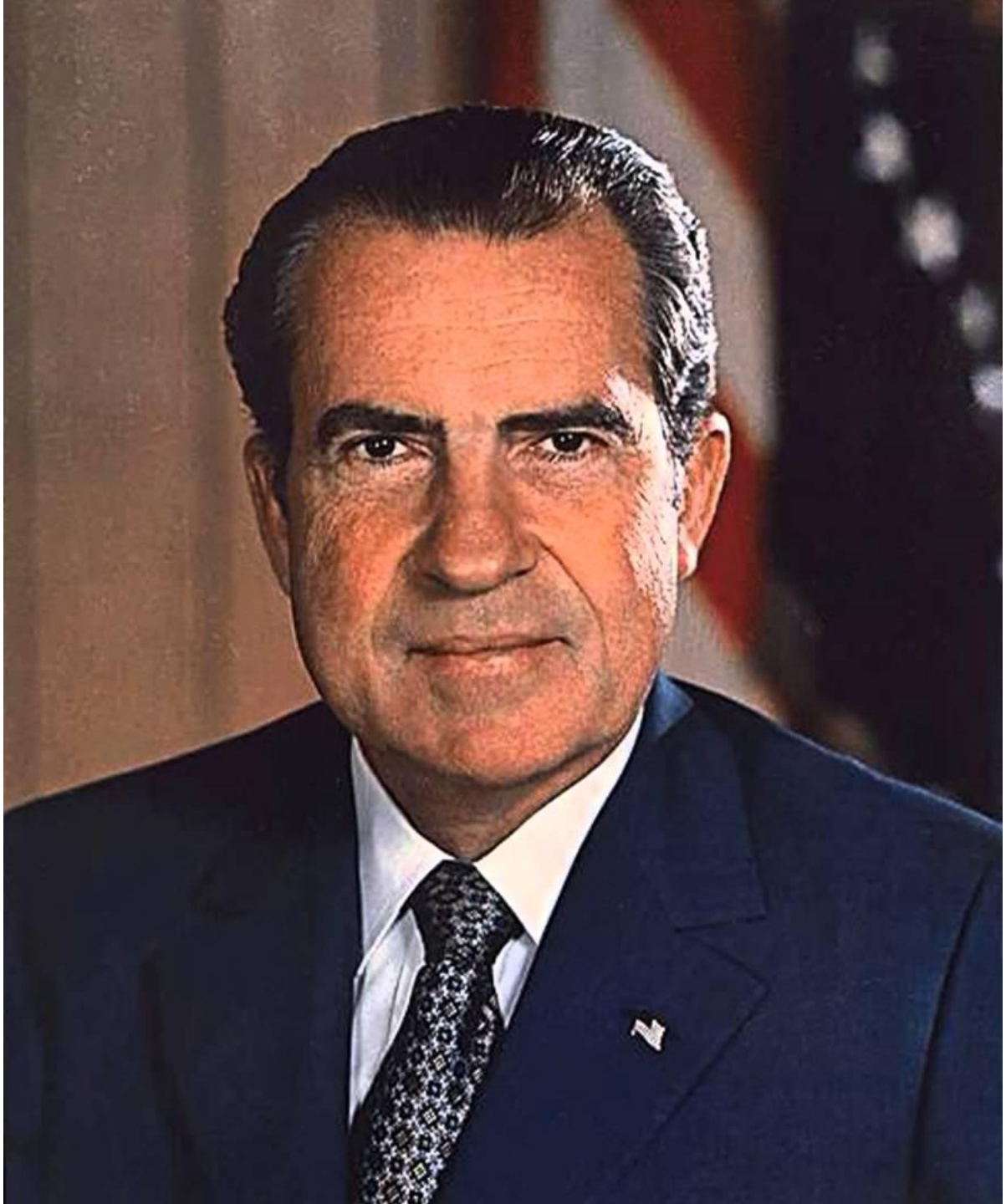
HANJIN

Alvin Weinberg

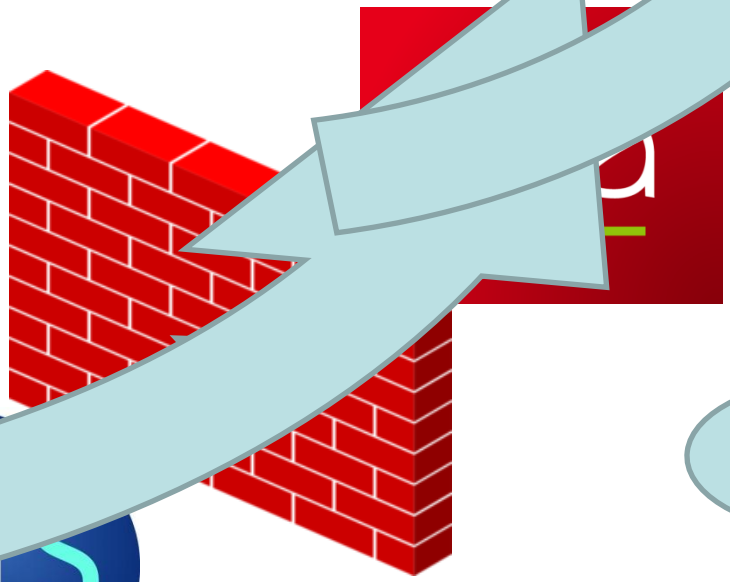


Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)


POMPE
CUVE
ECHANGEUR



LPSC
Laboratoire de
Physique
Subatomique et de
Cosmologie

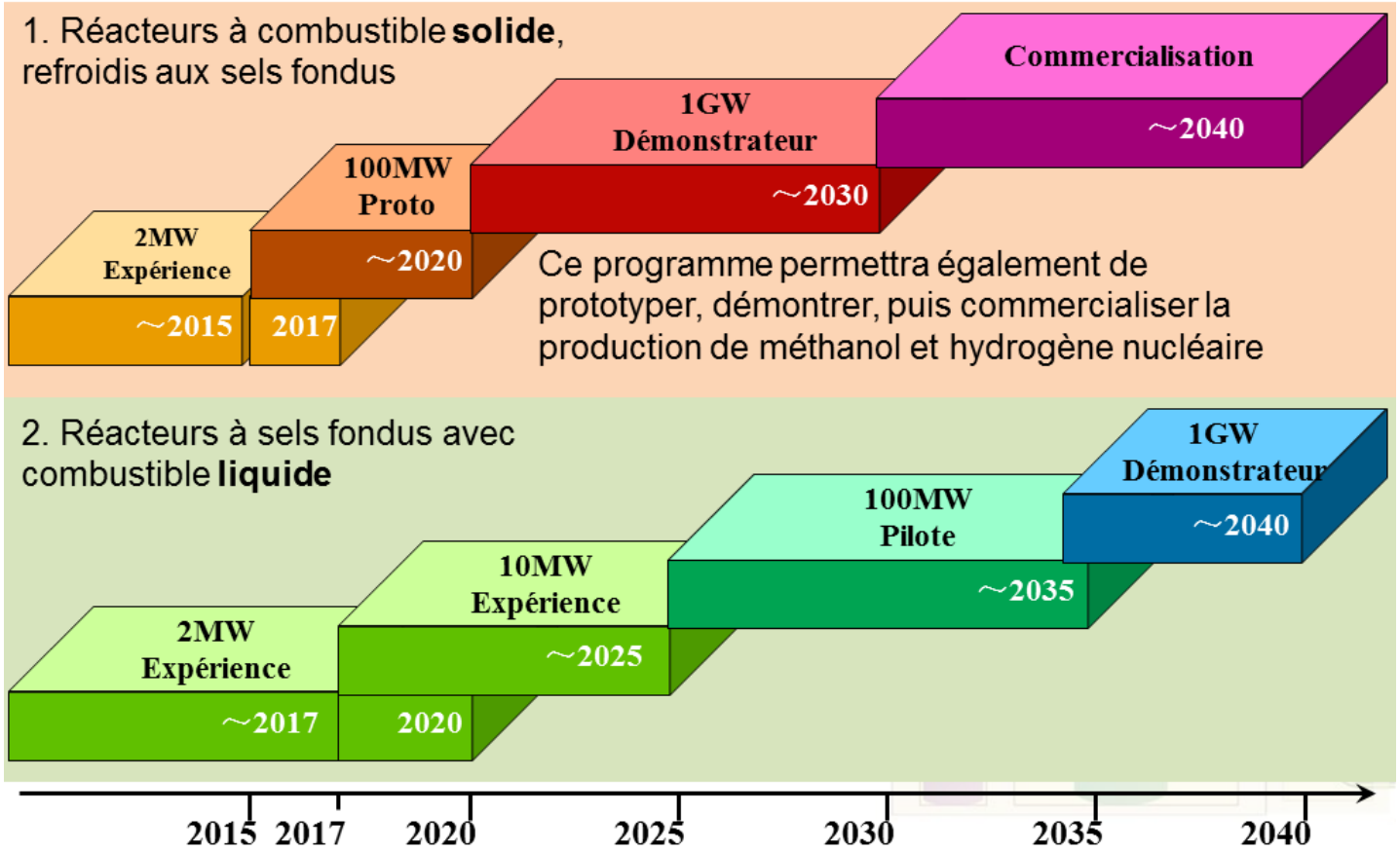


Non !

ASTRID

Jiang Mianheng

Hongjie Xu


1. Réacteurs à combustible **solide**, refroidis aux sels fondus
2MW Expérience
~2015
100MW Proto
2017
~2020
1GW Démonstrateur
~2030
Commercialisation
~2040
Ce programme permettra également de prototyper, démontrer, puis commercialiser la production de méthanol et hydrogène nucléaire
2. Réacteurs à sels fondus avec combustible **liquide**
2MW Expérience
~2017
10MW Expérience
2020
~2025
100MW Pilote
~2035
1GW Démonstrateur
~2040
2015
2017
2020
2025
2030
2035
2040

TERRESTRIAL ENERGY

Ex-PDG, Energie Atomique du Canada limité

Avocat

Banquier

Ingénieur, industrie des sables bitumineux

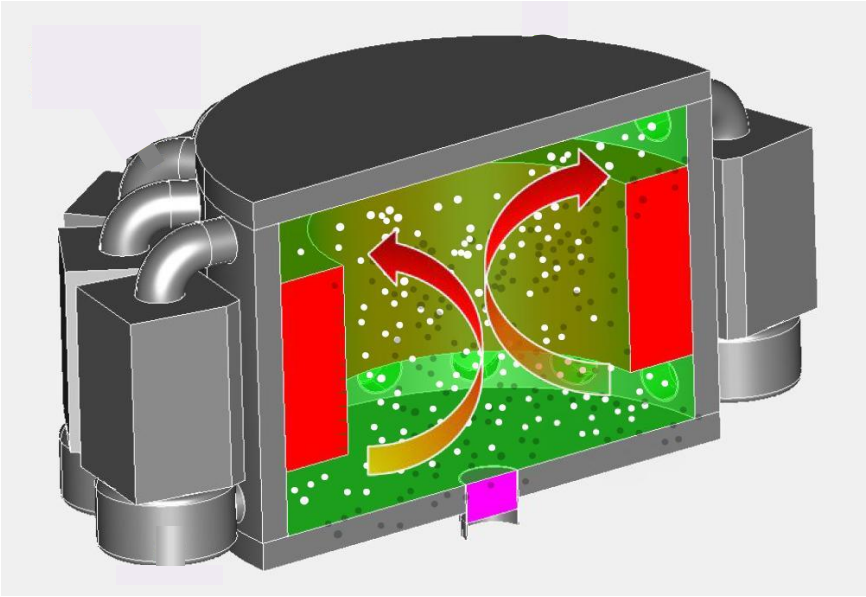
David Leblanc
Physicien, expert en réacteurs à sels fondus

Scientifique, exploration pétrolière

Financier

Directeur, alliance pour l'énergie du thorium (association)

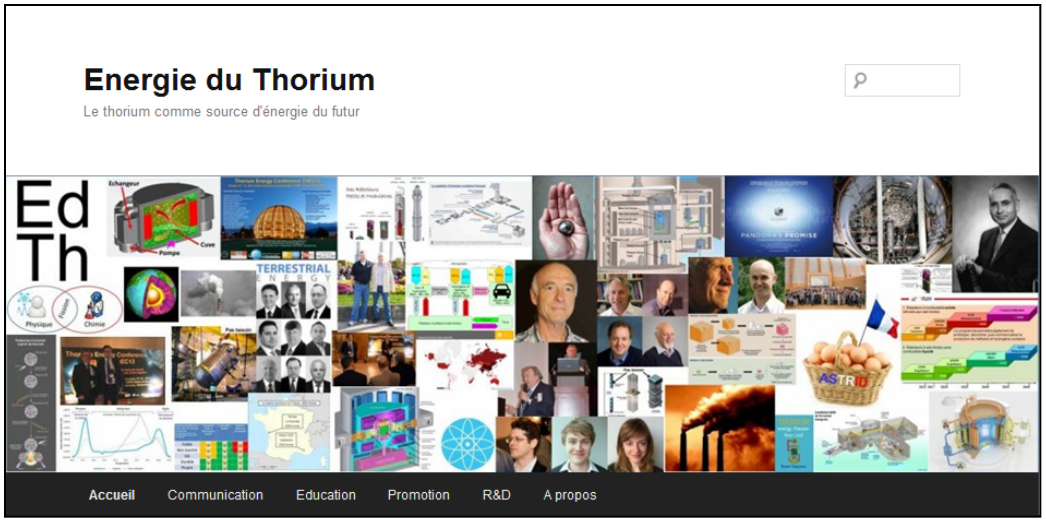
Cadre, industrie pétrolière



FISSION LIQUIDE

FIABLE
BON MARCHÉ
SÛR
DURABLE
PROPRE

Pour en savoir plus :



http://energieduthorium.fr

https://twitter.com/EnergieduTh

https://www.facebook.com/energieduthorium

LPSC Grenoble
Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie
CNRS IN2P3 Les deux infinis
Université Joseph Fourier Grenoble
Grenoble INP

LPSC Grenoble