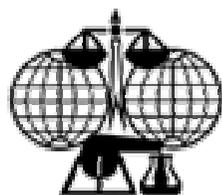




Année internationale de la
CHIMIE
2011



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International Union of
Pure and Applied
Chemistry

CHIMIE et ENERGIE : l'excellence française

Académie Lorraine des Sciences

Nancy

5 juin 2011

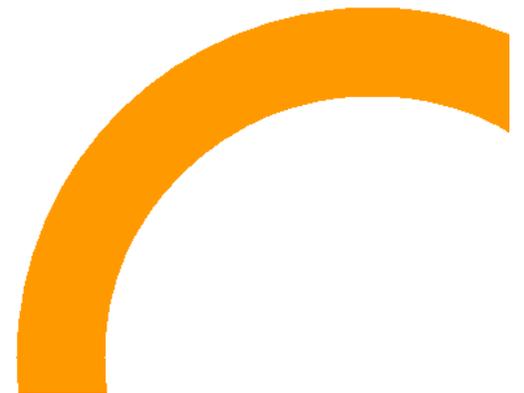
Stéphane DUPRE la TOUR

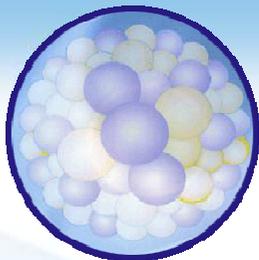




|

Pourquoi ?



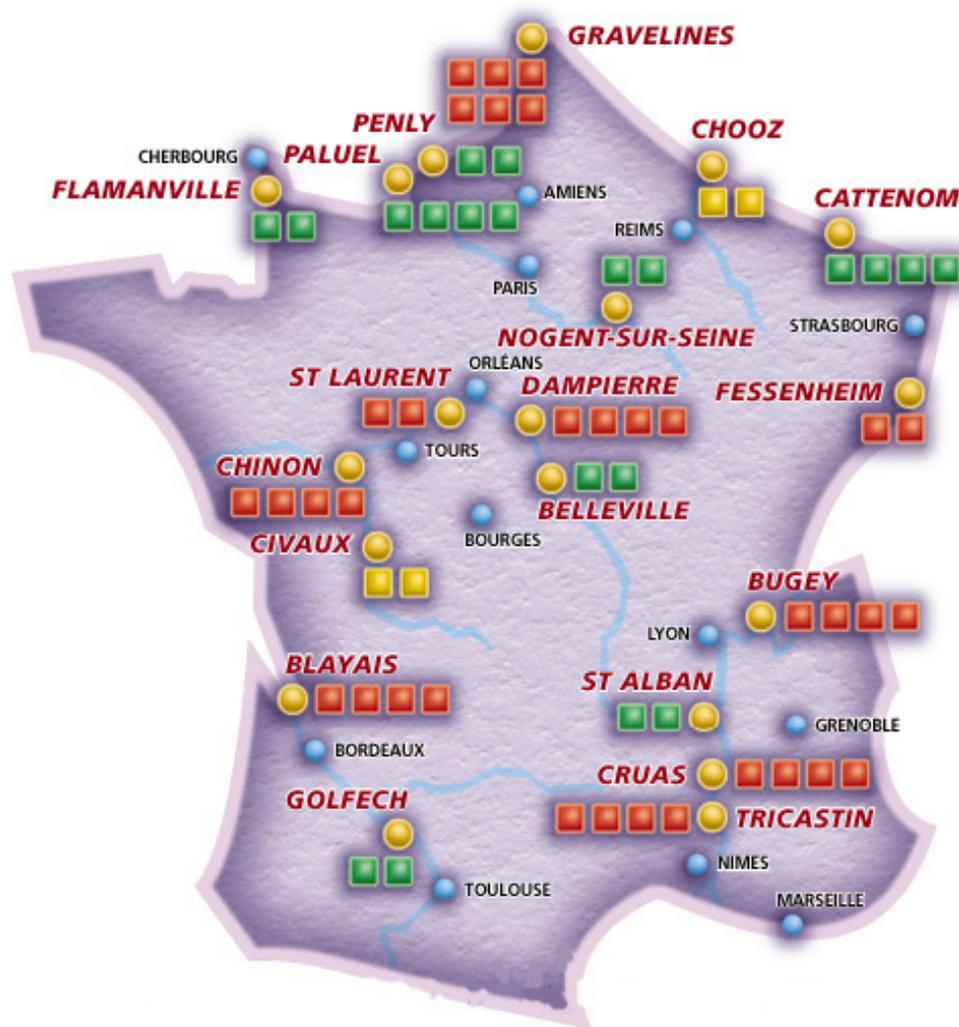


En France, la première expérience mondiale dans l'exploitation des centrales nucléaires

58 | Répa

Réacteur à eau pressurisée (REP)

- 900 MW
- 1300 MW
- 1450 MW



2003 : EPR à Flamanville



Avril 2011

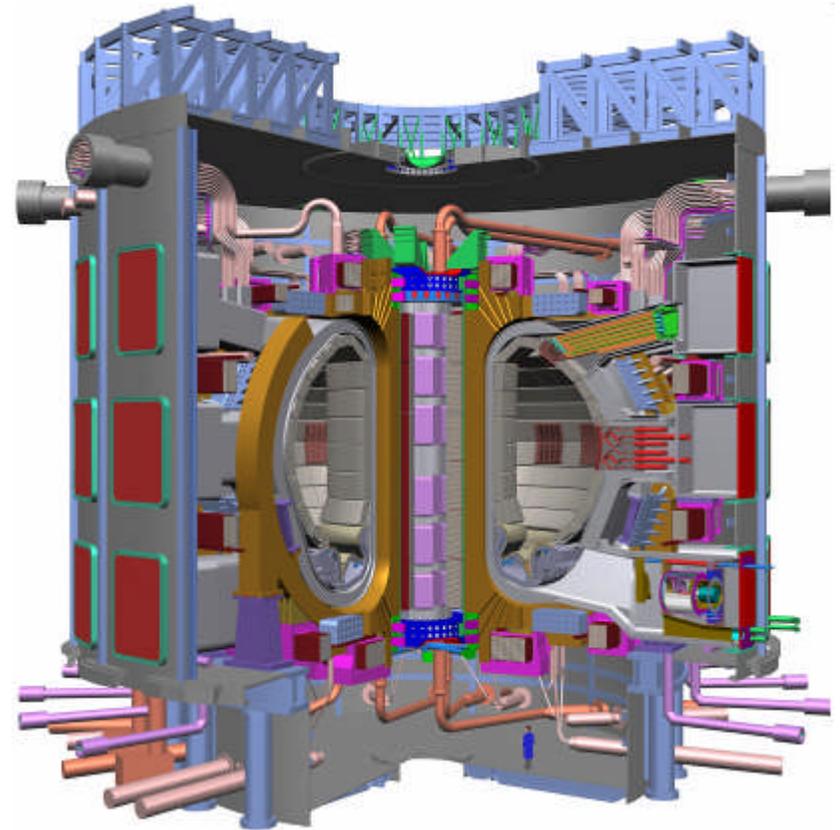


2005

Georges Besse 2



2006 : ITER en France !

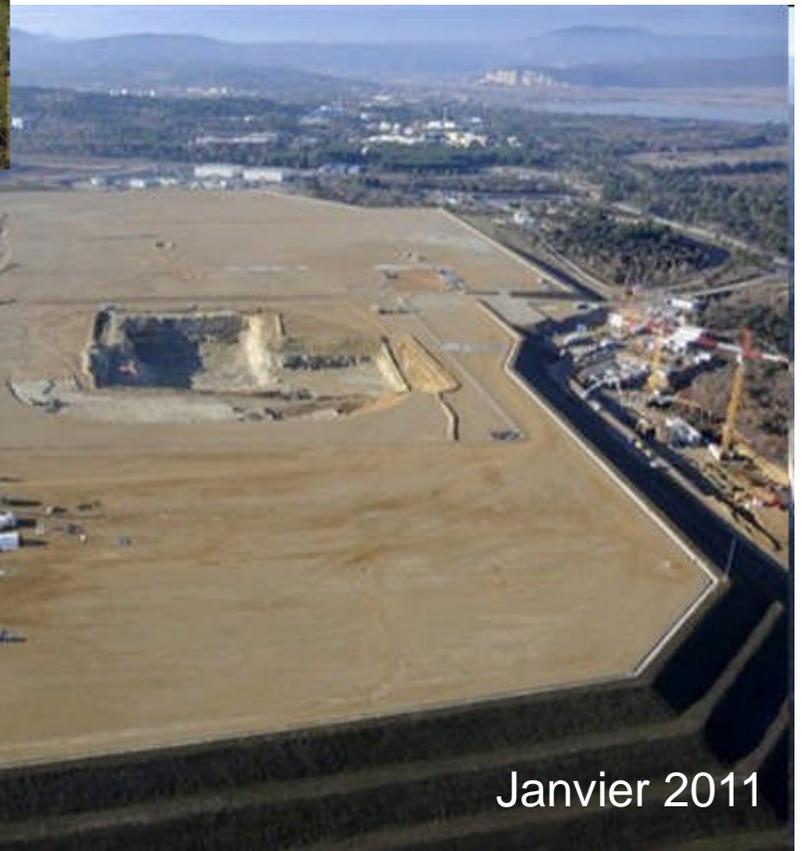




Siège ITER à Cadarache

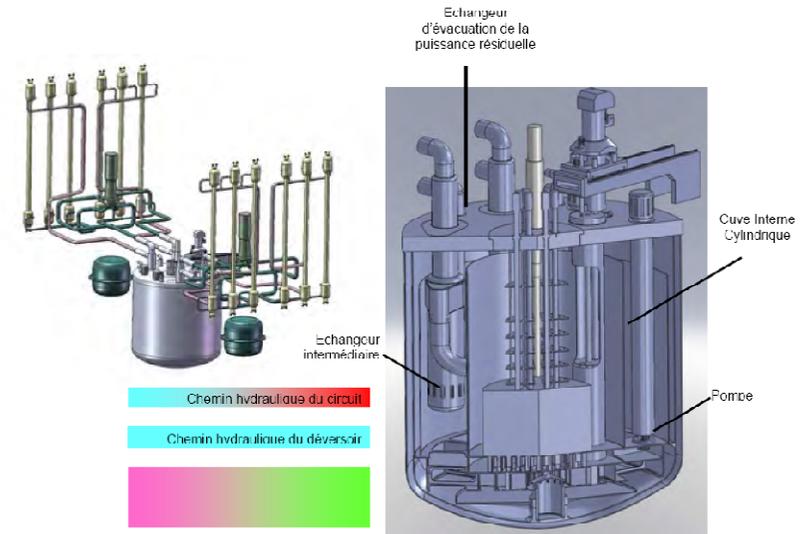


Avril 2011



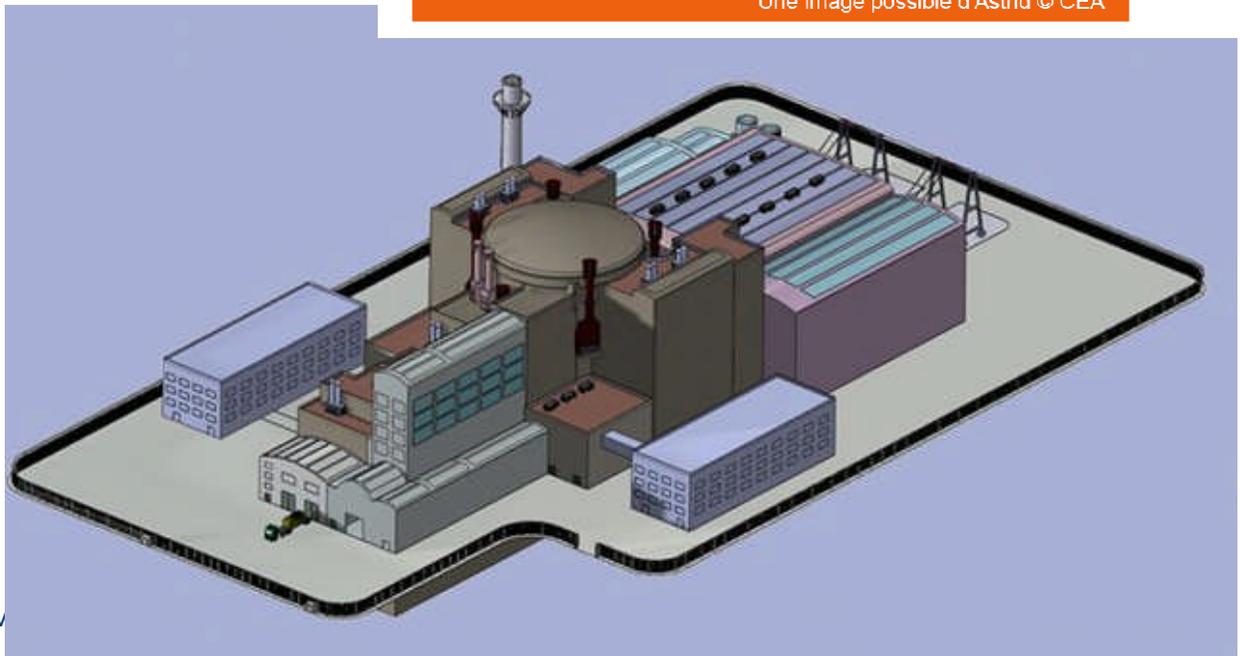
Janvier 2011

2006 : annonce d'ASTRID



Une image possible d'Astrid © CEA

650M€ emprunt national





Pourquoi peut-on parler sans arrogance d'excellence française ?



« La fée électricité »

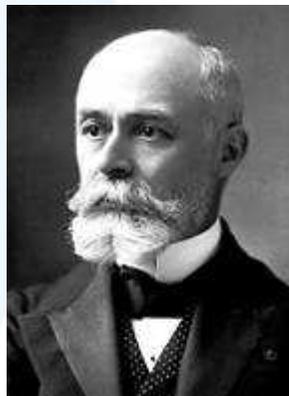
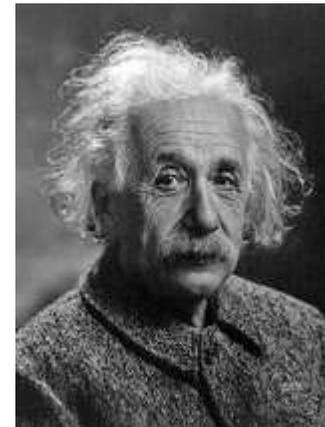
1937 Raoul Dufy

Musée d'Art Mode
Paris

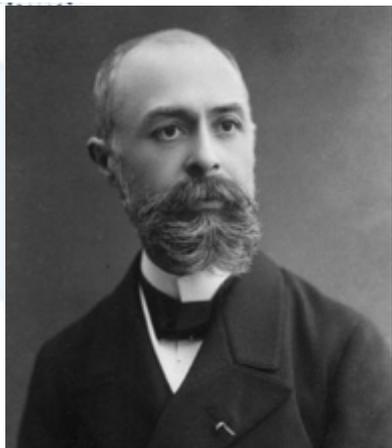




Nucléaire, l'énergie des savants l'énergie savante



1896

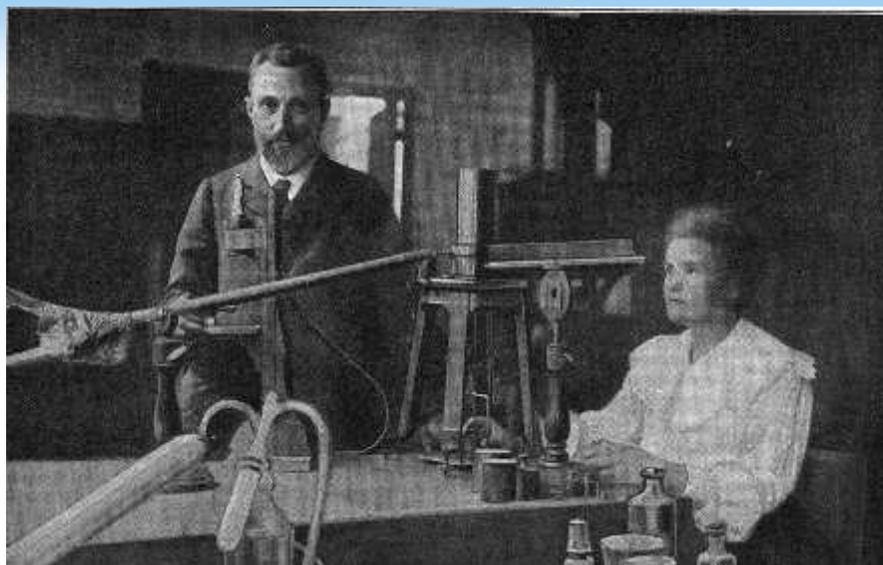


1896 Henri Becquerel

Découvre le phénomène de la radioactivité naturelle



1903 Prix Nobel de Physique



1898 Pierre et Marie Curie

Conduisent des expériences aboutissant à la mise à jour des premiers radioéléments : Polonium et Radium



1911 Prix Nobel de Chimie



1932

Découverte du neutron

n

- ⊙ Depuis 1920, Rutherford avait émis l'hypothèse du neutron
- ⊙ Travaux des Joliot-Curie en 1931



James Chadwick



1935 Prix Nobel de Physique



Frédéric et Irene Joliot-Curie



Découverte de la radioactivité
artificielle

Action des neutrons sur les
éléments lourds

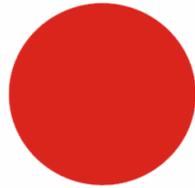
1935

1935 Prix Nobel de chimie



1938

Découverte de la fission nucléaire de l'uranium



En moyenne 2,5 neutrons produits

Otto Hahn
Lise Meitner
Fritz Strassmann

Prix Nobel CHIMIE
1944

Chimie et Energie : la voie française



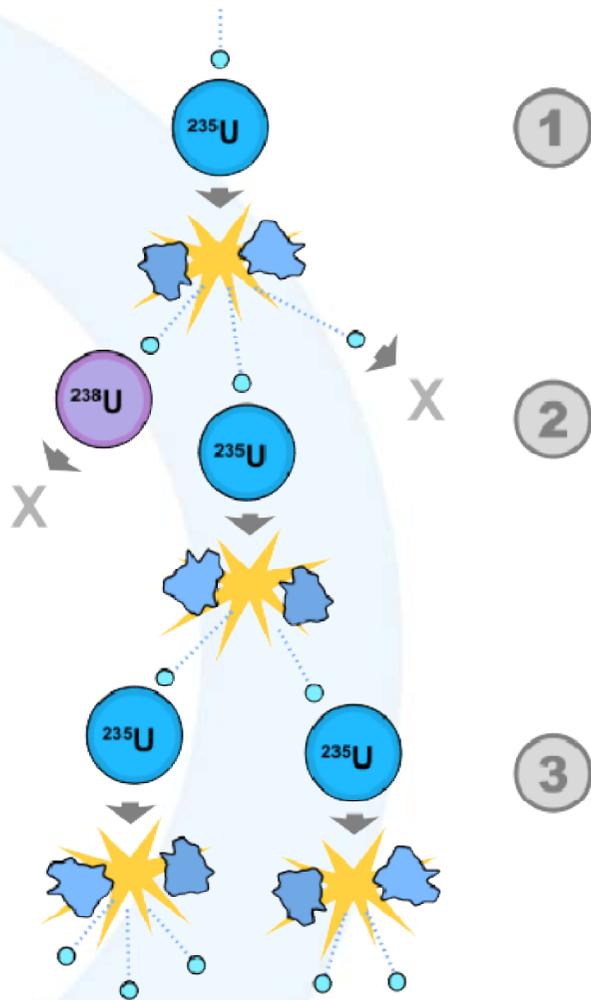
1939



Idée de la réaction en chaîne dès 1939 et dépôt de brevets de réacteur

1942

première réaction en chaîne contrôlée de fission



Le 2 décembre 1942



Enrico Fermi

Prix Nobel
Physique
1938



Leo Szilard

Chicago Pile 1



1948



150 kW

Pile ZOE

400.000 kW/tr

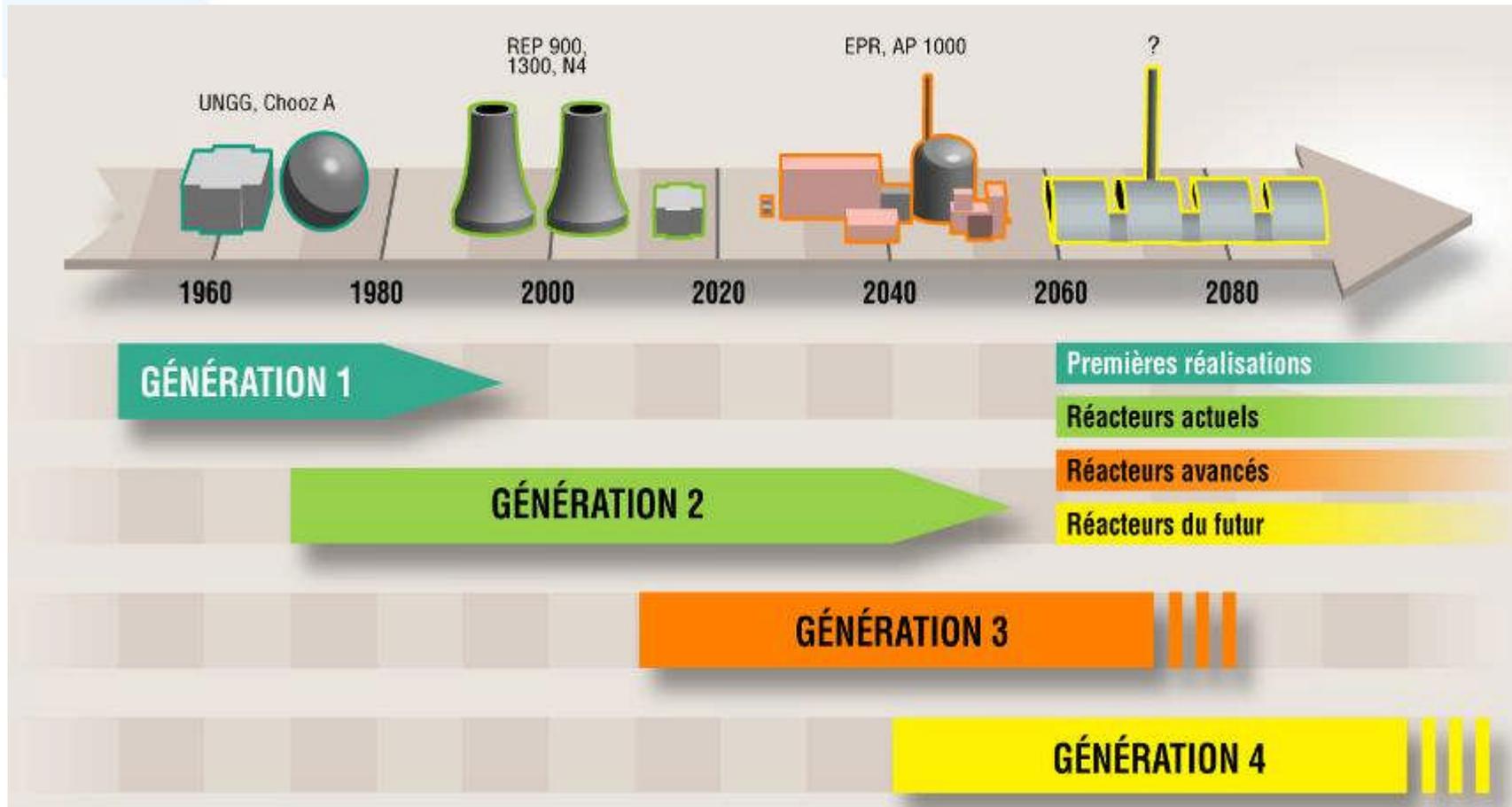
Annihilation chaque année de
4kg de matière

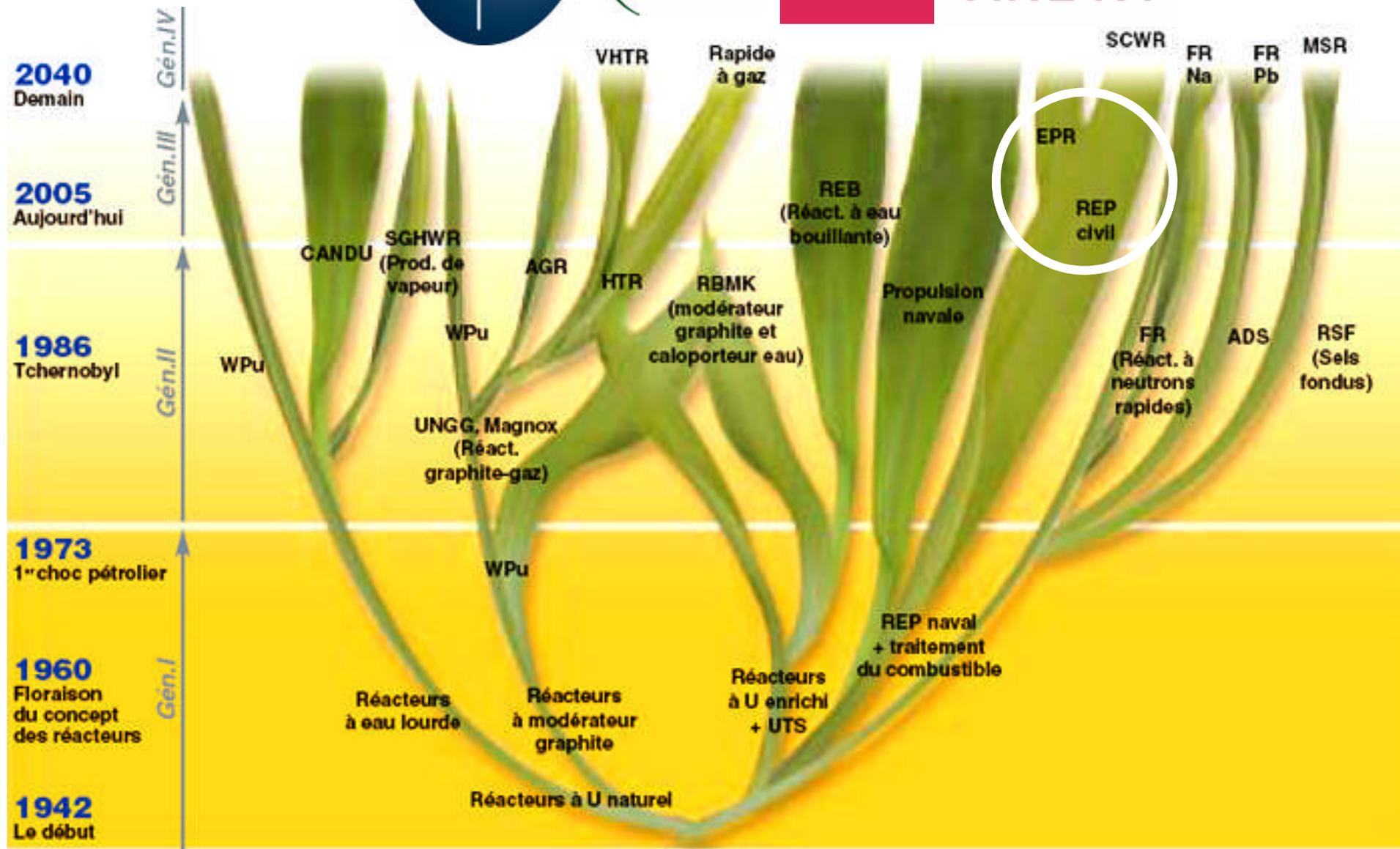


1986



Un développement technologique et industriel





Fermi
 Joliot-Curie

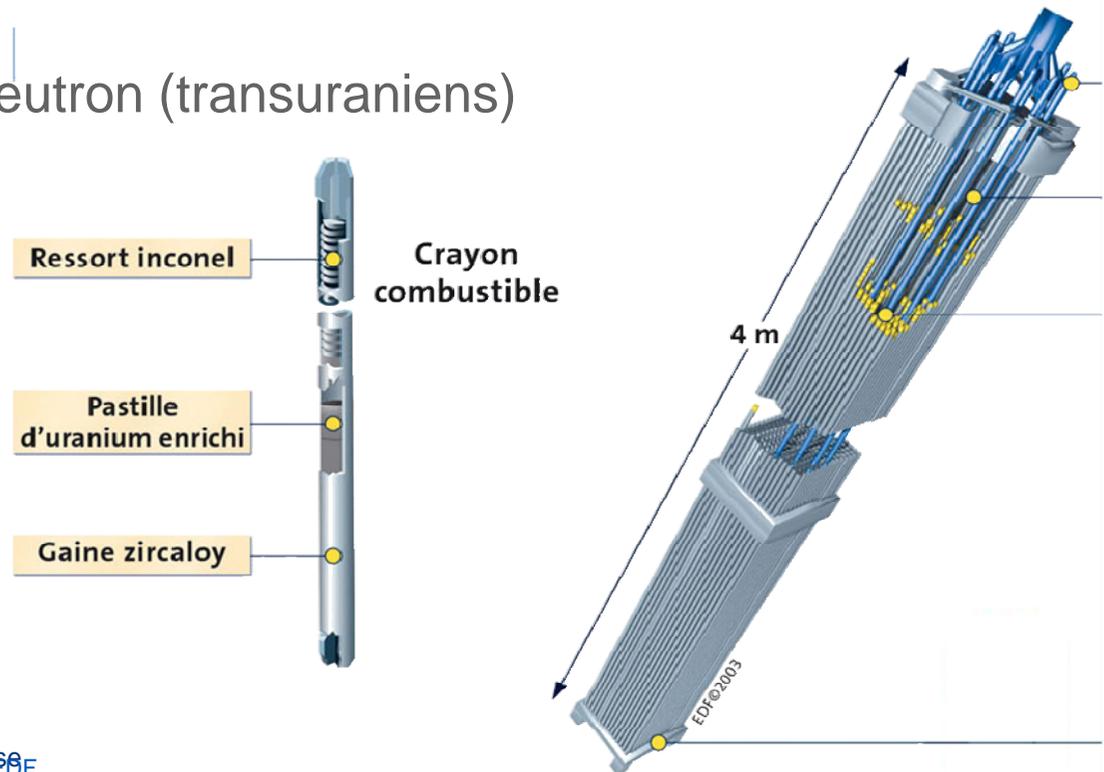
Temelin



La radio-chimie est au coeur de l'exploitation des centrales nucléaires d'EDF

II

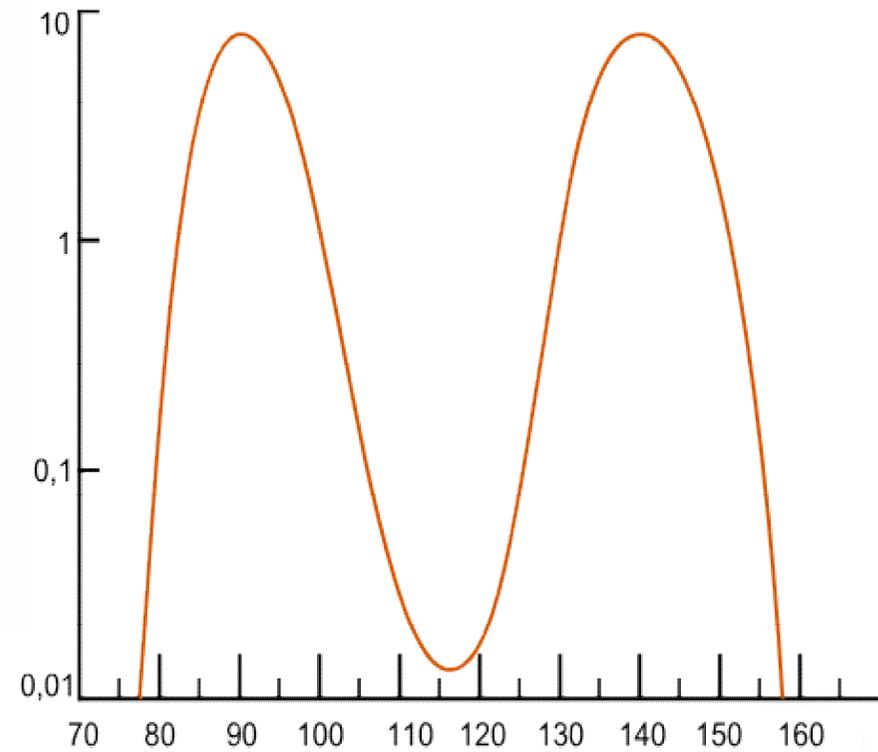
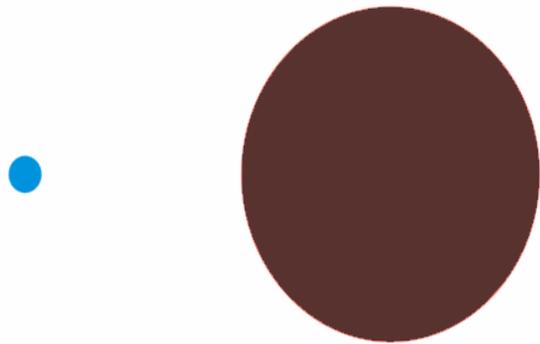
- ⊙ A l'œuvre dans le cœur des réacteurs, des mécanismes de Physique sub-atomique :
- ⊙ Produits de fission
- ⊙ Produits de capture de neutron (transuraniens)
- ⊙ Produits d'activation





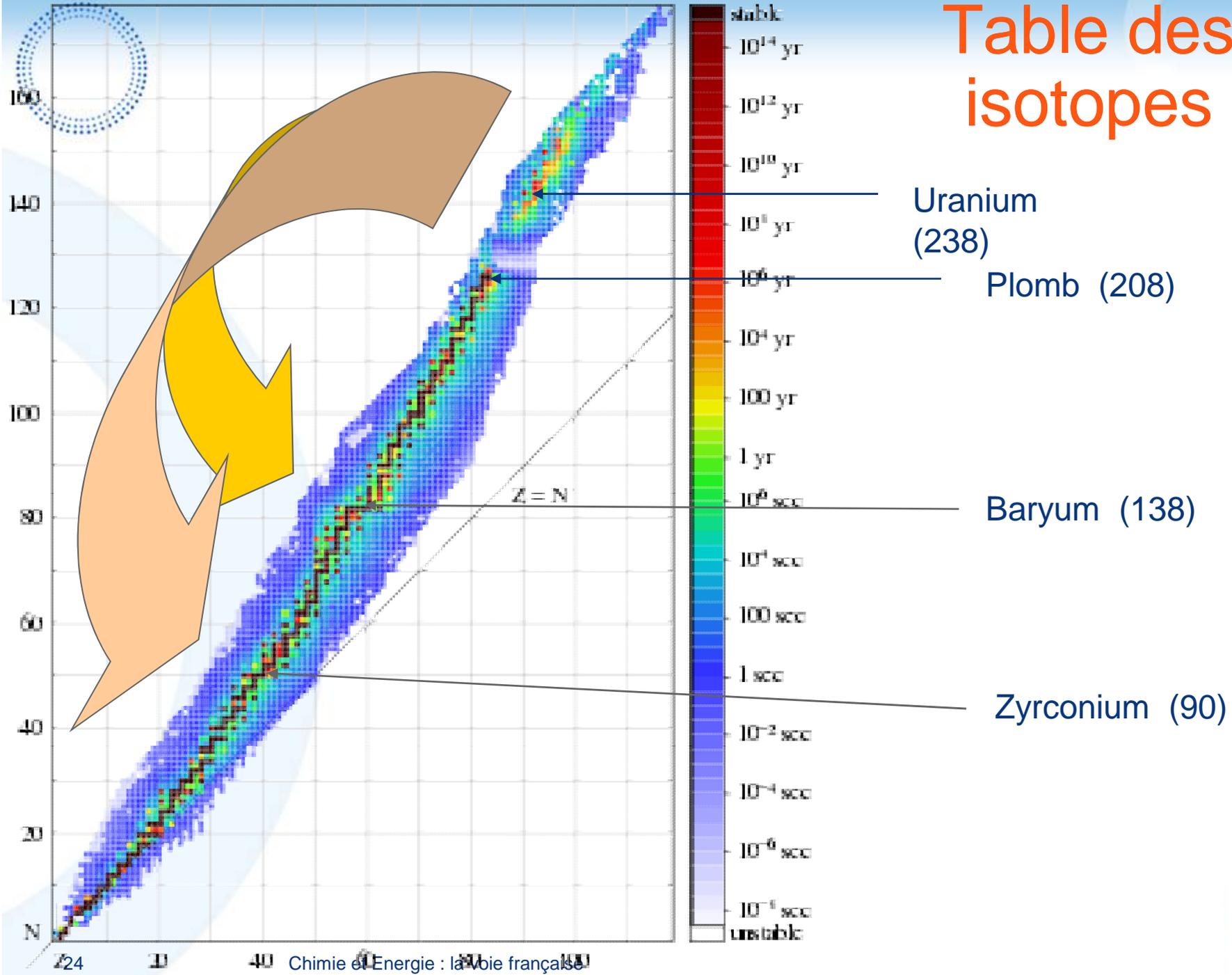
Produits de fission

La fission crée des noyaux de nombre de masse (nombre de nucléons) autour de $A=90$ (brome, krypton, zirconium) pour l'un des fragments et autour de $A=139$ (iode, xénon, baryum) pour l'autre.

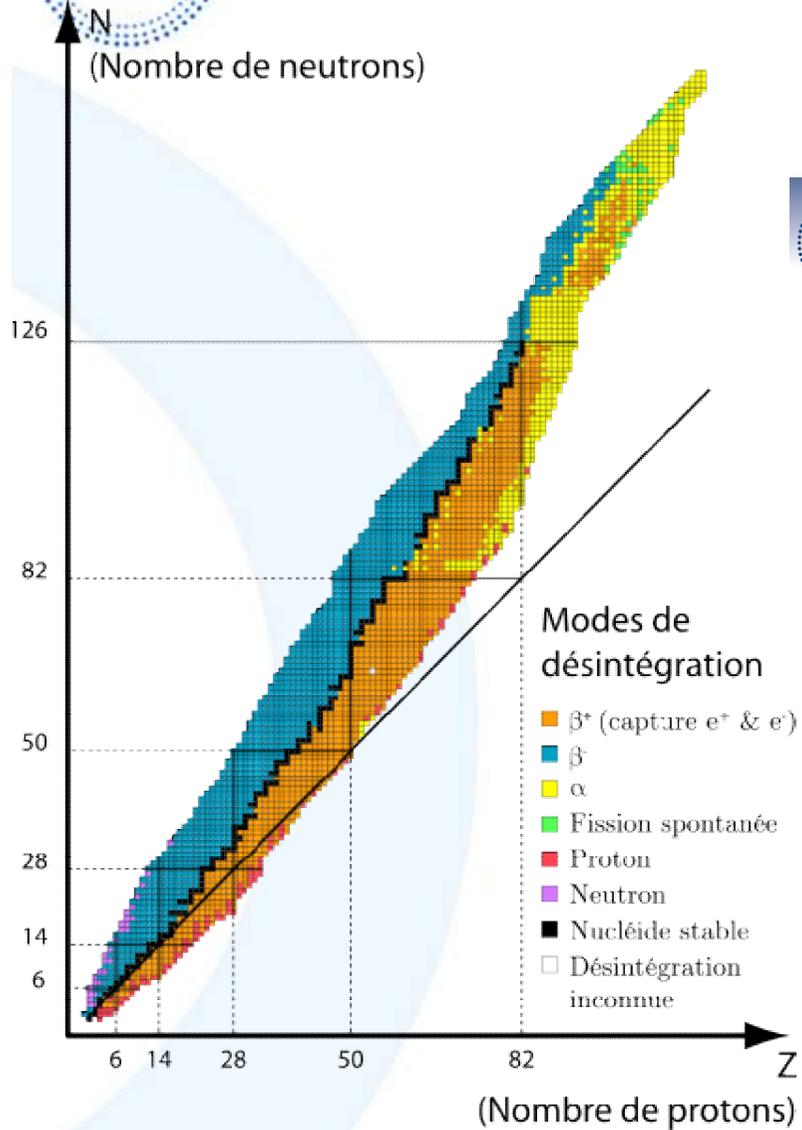


Distribution of Uranium-235 fission products (A)

Table des isotopes

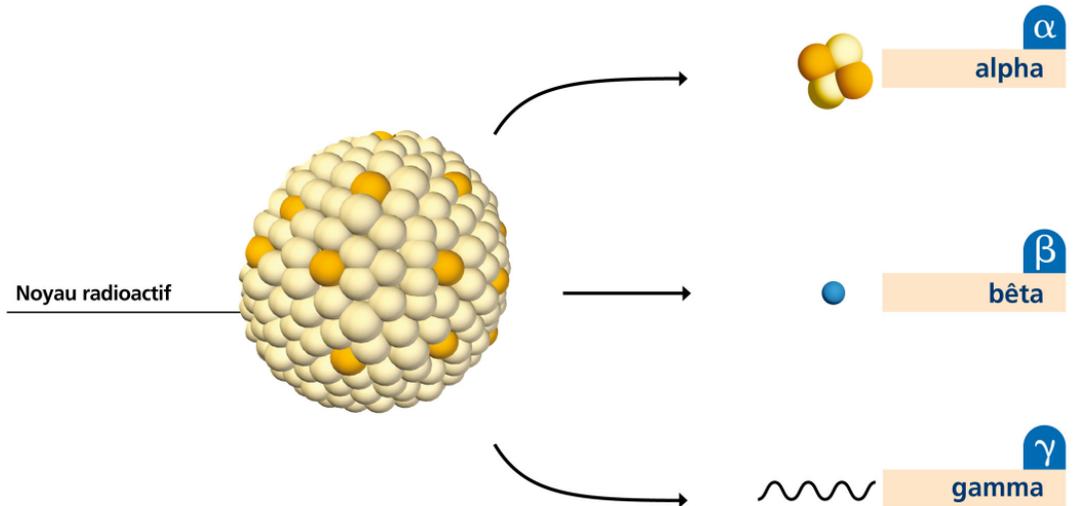


Mesures pour diagnostic



RADIOACTIVITÉ : RAYONNEMENTS ÉMIS

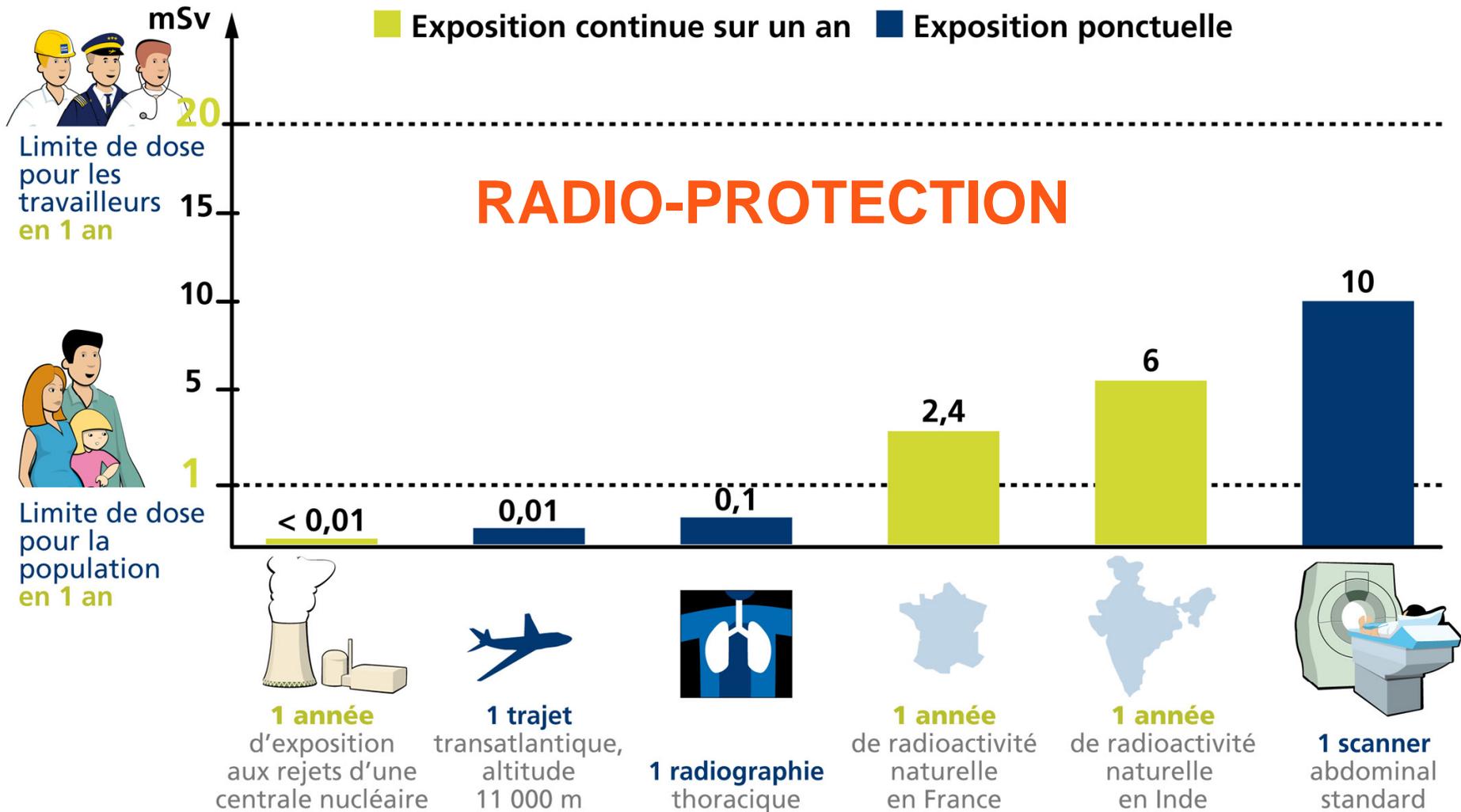
α (alpha), β (bêta), γ (gamma)





ECHELLE DES EXPOSITIONS

Seuils réglementaires





III

La chimie au coeur de l'exploitation des centrales nucléaires d'EDF



Service spécialisé dans la chimie d'exploitation

40 personnes

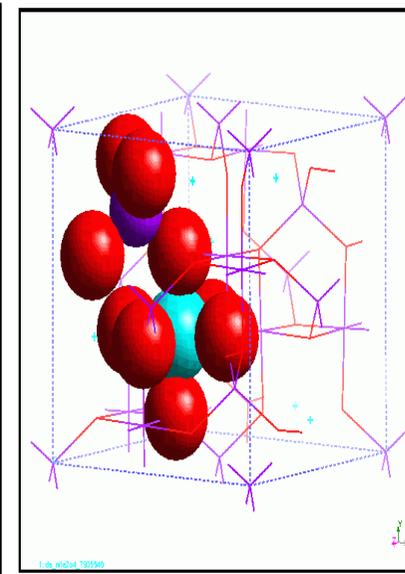
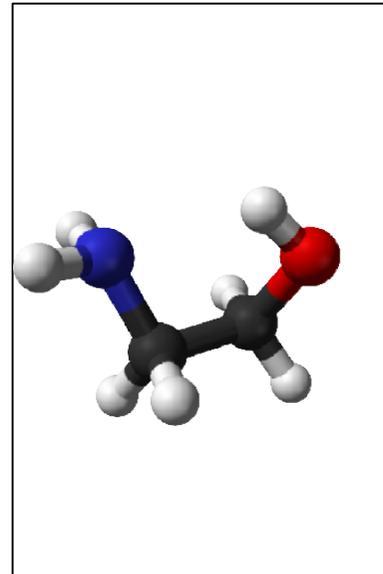
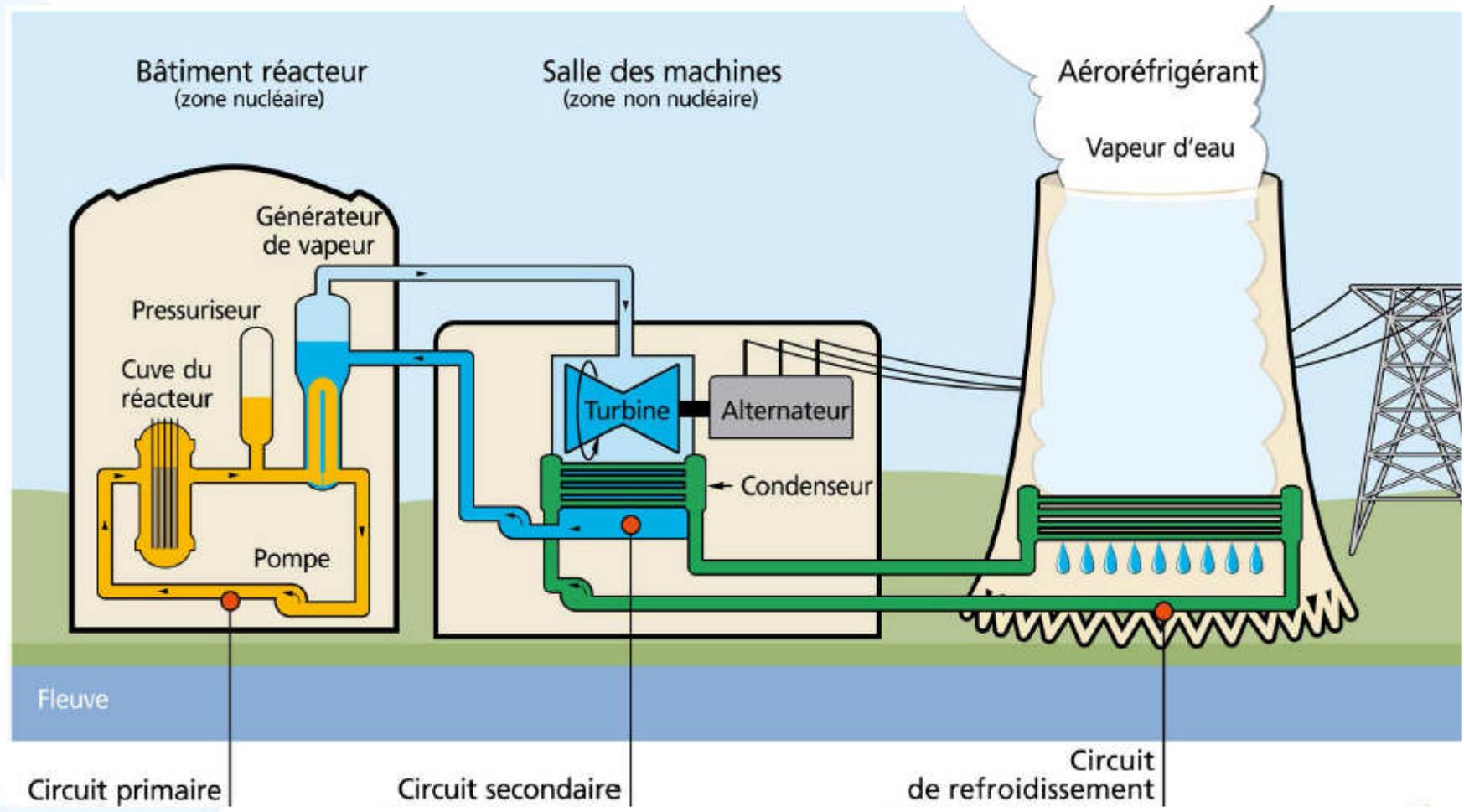


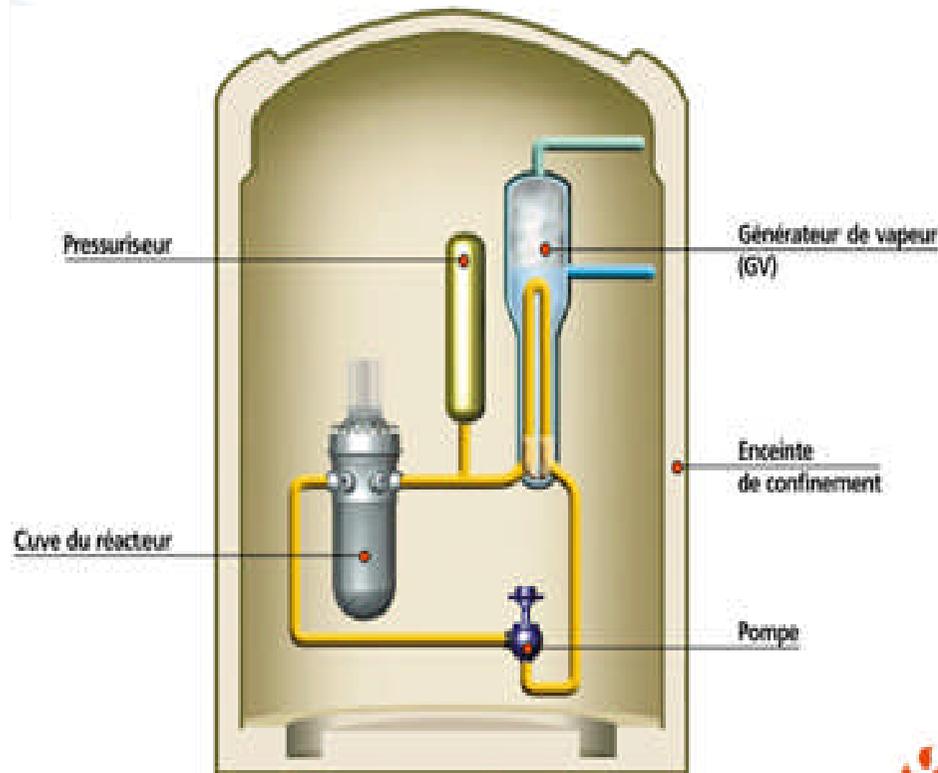


Schéma de principe d'une centrale nucléaire





1. Circuit primaire - caractéristiques



Caractéristiques physiques (palier 1300 MW)

- **Volume** : 394 m³
- **Température** : **293° C à 328° C**
- **Vitesse de l'eau** : 6 m/s
- **Pression** : **155** bar (imposée par le pressuriseur : milieu monophasique)
- **Surface gaines combustible** : 6.000 m²
- **4 GV** : 5300 tubes, 6900 m² par GV (*donc 4 terrains de foot*)

**Risques de formation et transport/déposition de produits de corrosion activés
+ CORROSION des métaux sous contrainte mécanique**

Matériaux

alliages de zirconium, alliages de cobalt, alliages inoxydables base nickel (600, 690), alliages inoxydables base fer (aciers)

1 - Circuit primaire – conditionnement chimique

► Conditionnement chimique :

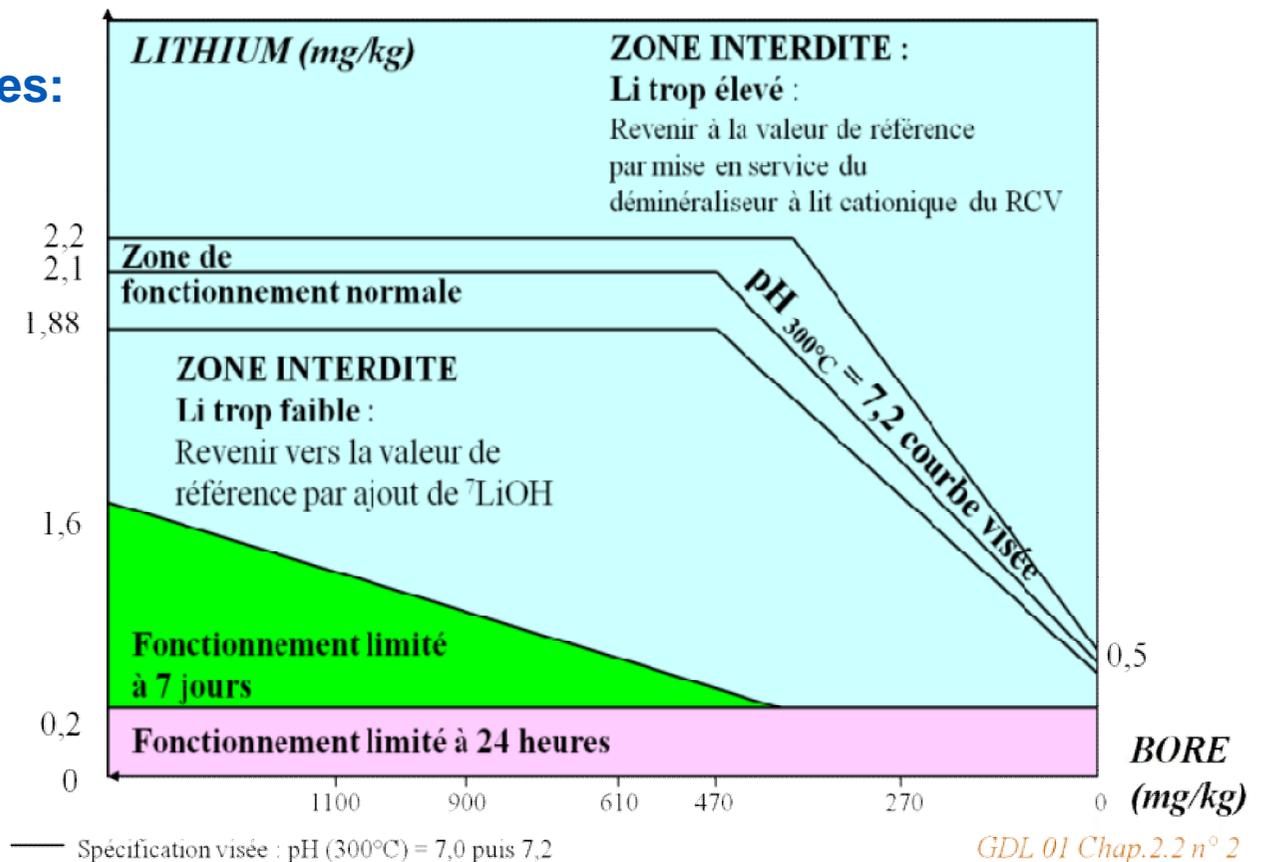
- H₃BO₃ : acide borique (contrôle de la réactivité), **le Bore est Neutrophage.**
- LiOH : base lithine (neutralisation acide borique, pH légèrement basique),
- H₂ : hydrogène H₂ (milieu réducteur, limitation de la radiolyse de l'eau et de l'O₂)

➤ Spécifications chimiques:

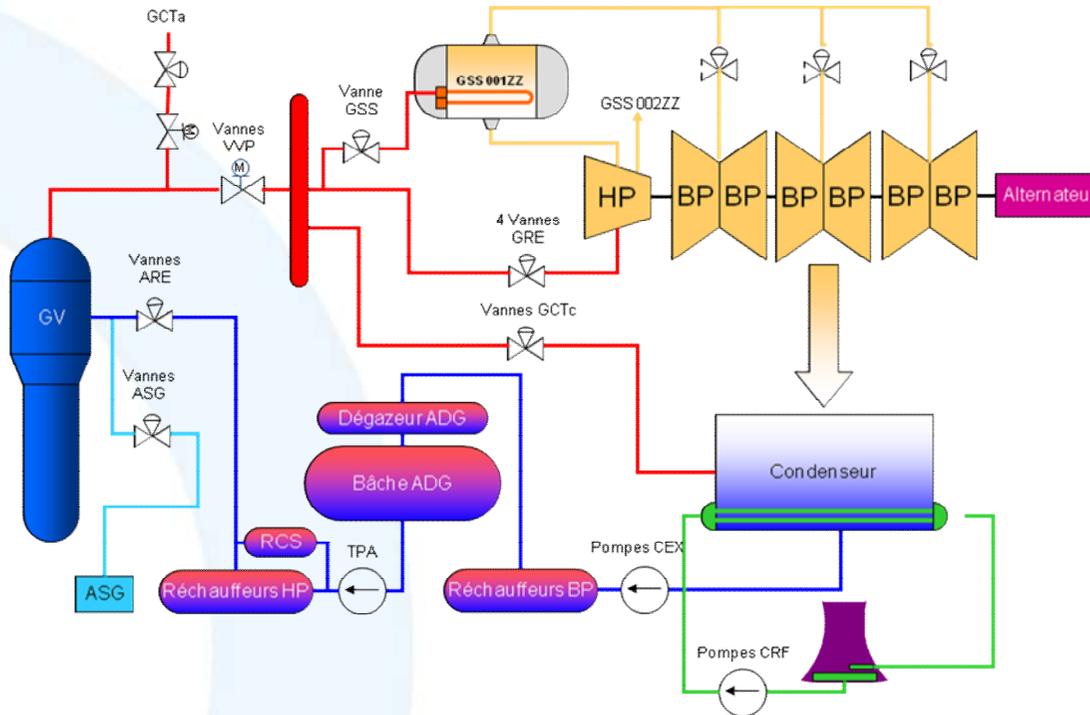
B/Li, H₂,

- limitation des espèces susceptibles d'être corrosives ou de former des dépôts

Filtration et surveillance permanente



2. Circuit secondaire - caractéristiques



Matériaux

alliages inoxydables base nickel (600 ou 690),
aciers inoxydables, aciers non alliés, alliages
cuivreux

Risques de corrosion, érosion,
d'encrassement et colmatage

Caractéristiques physiques (palier 1300 MW)

- Débit vapeur : 2,2 t/s
- Température : 289° C
- Variations importantes de température (250° C environ entre point chaud et point froid) et de pression (71,5 bar au GV, 59 mbar au condenseur)
- Condenseur : 82000 tubes, 70.000 m² (10 terrains de foot)
- 4 GV : 5300 tubes, 6900 m² par GV

3 – Circuit secondaire – conditionnement chimique

◆ Conditionnement chimique :

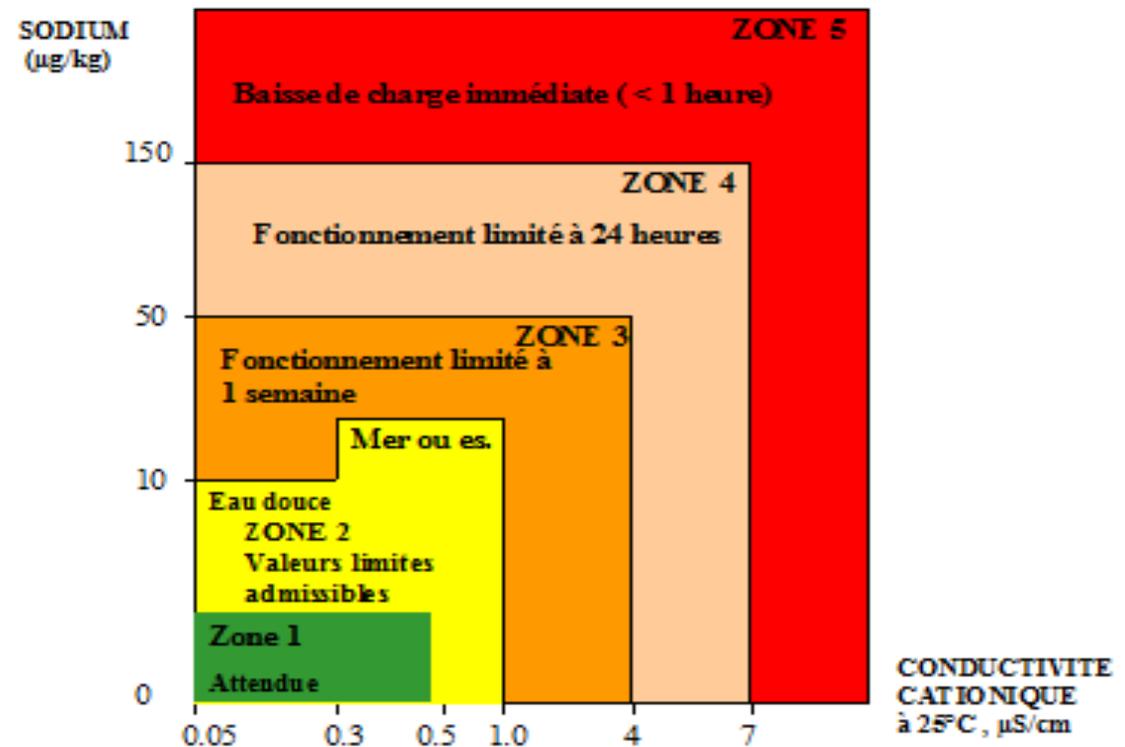
- base : amine de conditionnement volatile (morpholine C₄H₉NO, éthanolamine C₂H₇NO, ammoniacale NH₄OH),
- antioxydant : N₂H₄ hydrazine (milieu réducteur)

➤ Spécifications chimiques:

agent anti-corrosion : amine/pH,
teneur en hydrazine,
limitation des espèces corrosives
(Na, Cl)

**Surveillance des
micro-fuites au
condenseur**

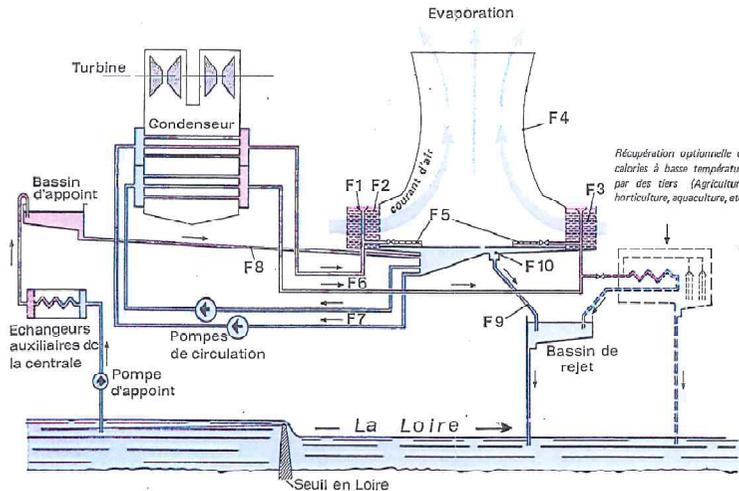
**Dé-colmatage des
tubes des GV**





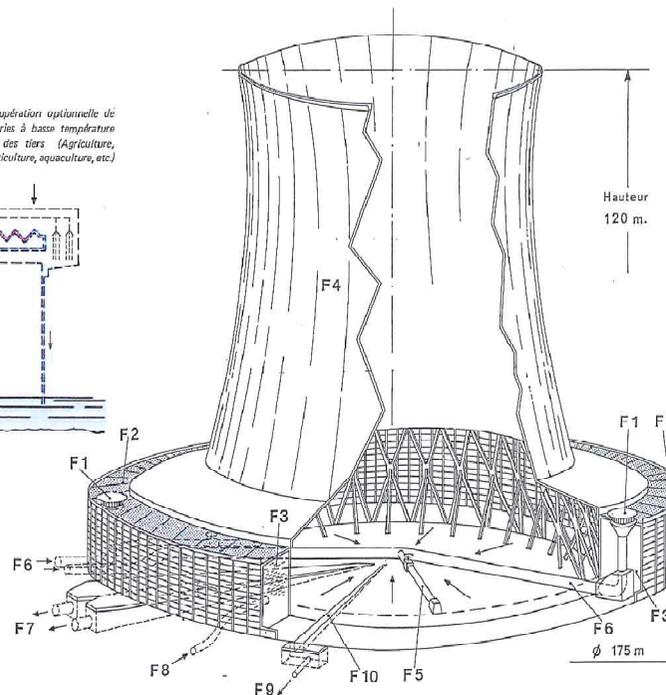
3. Circuit tertiaire - caractéristiques

SCHEMA SIMPLIFIE DU CIRCUIT D'EAU DE REFRIGERATION (circuit fermé)



- RÉFRIGÉRANT - F
- F 1 - Tulipes de déversement d'eau chaude
 - F 2 - Distribution d'eau chaude
 - F 3 - Echangeur air-eau
 - F 4 - Coque de tirage d'air du réfrigérant
 - F 5 - Contournement de démarrage
 - F 6 - Conduites d'eau chaude
 - F 7 - Conduites d'eau froide
 - F 8 - Conduite d'eau d'appoint
 - F 9 - Conduite de déconcentration
 - F 10 - Caniveau de vidange

REFRIGERANT ATMOSPHERIQUE



Matériaux

Alliages cuivreux, aciers inoxydables, acier noir, titane, bétons, polymères

Risques :
Entartrage et développement de micro-organismes

Caractéristiques physiques (palier 1300 MW)

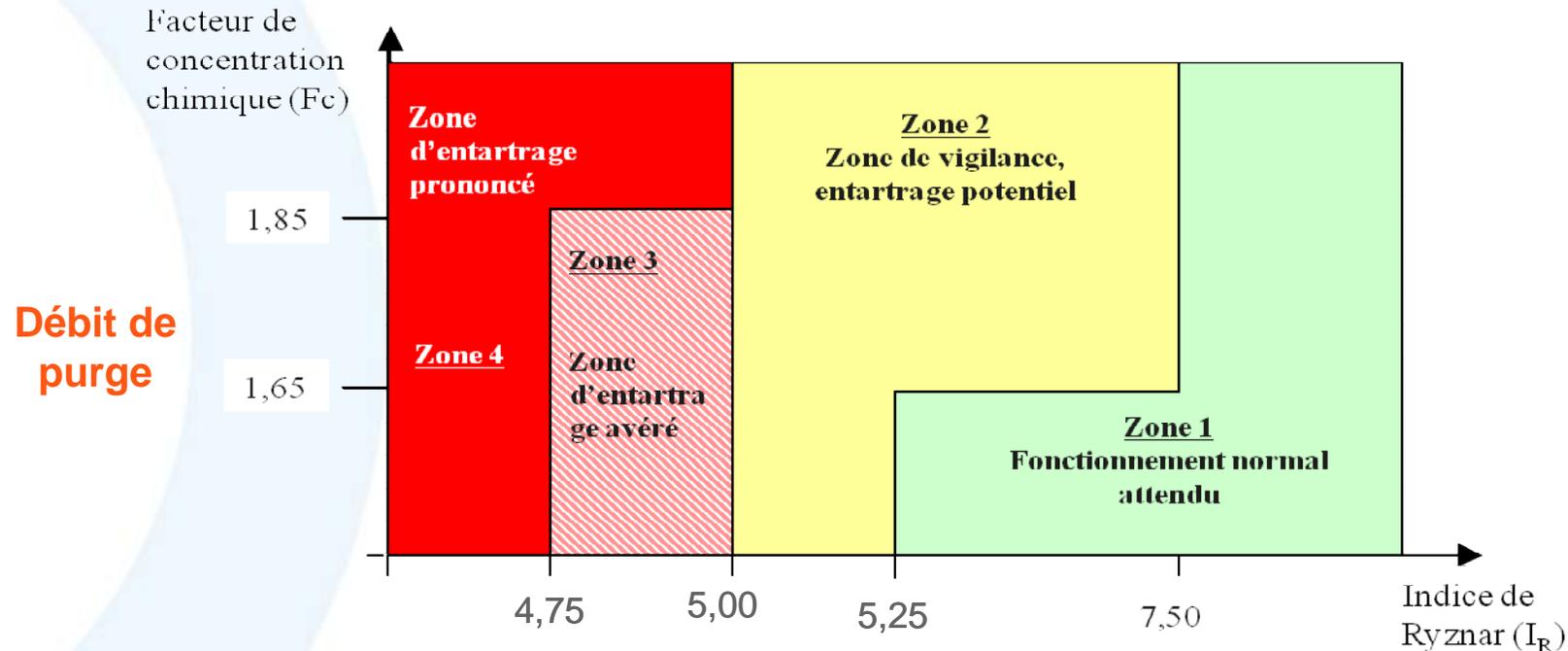
- Débit d'appoint : 2 m³/s Volume : 10000 à 50000 m³
- Temps de séjour : quelques heures
- Température : 30 à 40° C (faible différence entre point chaud et point froid)
- Condenseur : 82000 tubes, 70.000 m²



4. Circuit tertiaire – conditionnement chimique

► Conditionnement chimique :

- anti-tartre (acide chlorhydrique ou injection de CO₂, acide sulfurique),
- biocide (monochloramine ou CMA) selon les autorisations de rejet en vigueur



Surveillance du caractère entartrant de l'eau



IV

La CHIMIE au cœur des enjeux énergétiques actuels

Défi n°1

Continuer à disposer d'énergie pour le transport





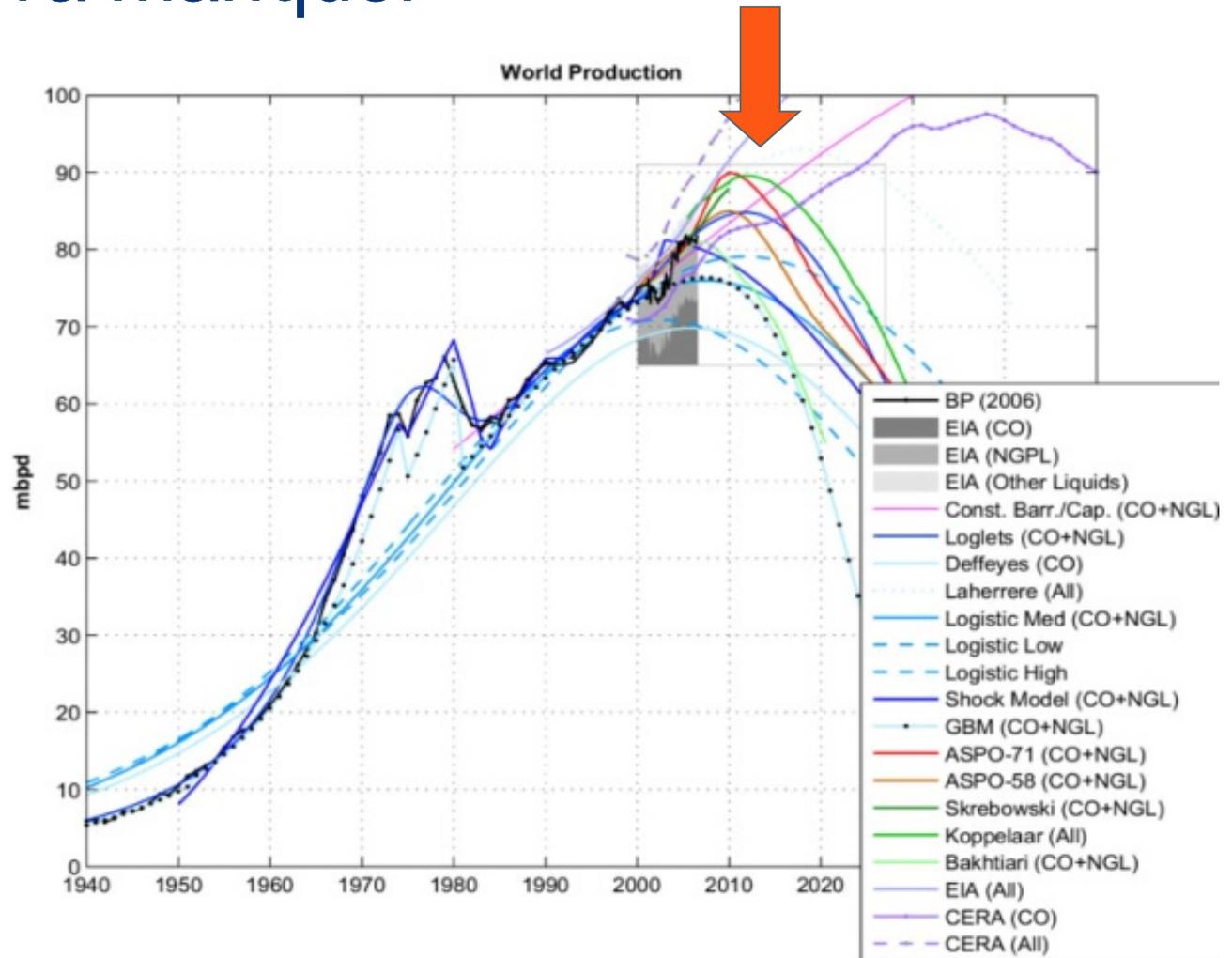
96%

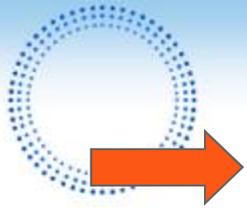




Mais ... le pétrole va manquer

le « débit » va être limité :
*le « **PEAK OIL** » est pour bientôt*
... et fragilité géostratégique des approvisionnements





Développement prévisible des carburants **liquides** alternatifs



GTL Gaz

CTL Coal

BTL Biomass



Yves CHAUVIN

Prix Nobel Chimie 2005

Chimie et Energie : la voie française

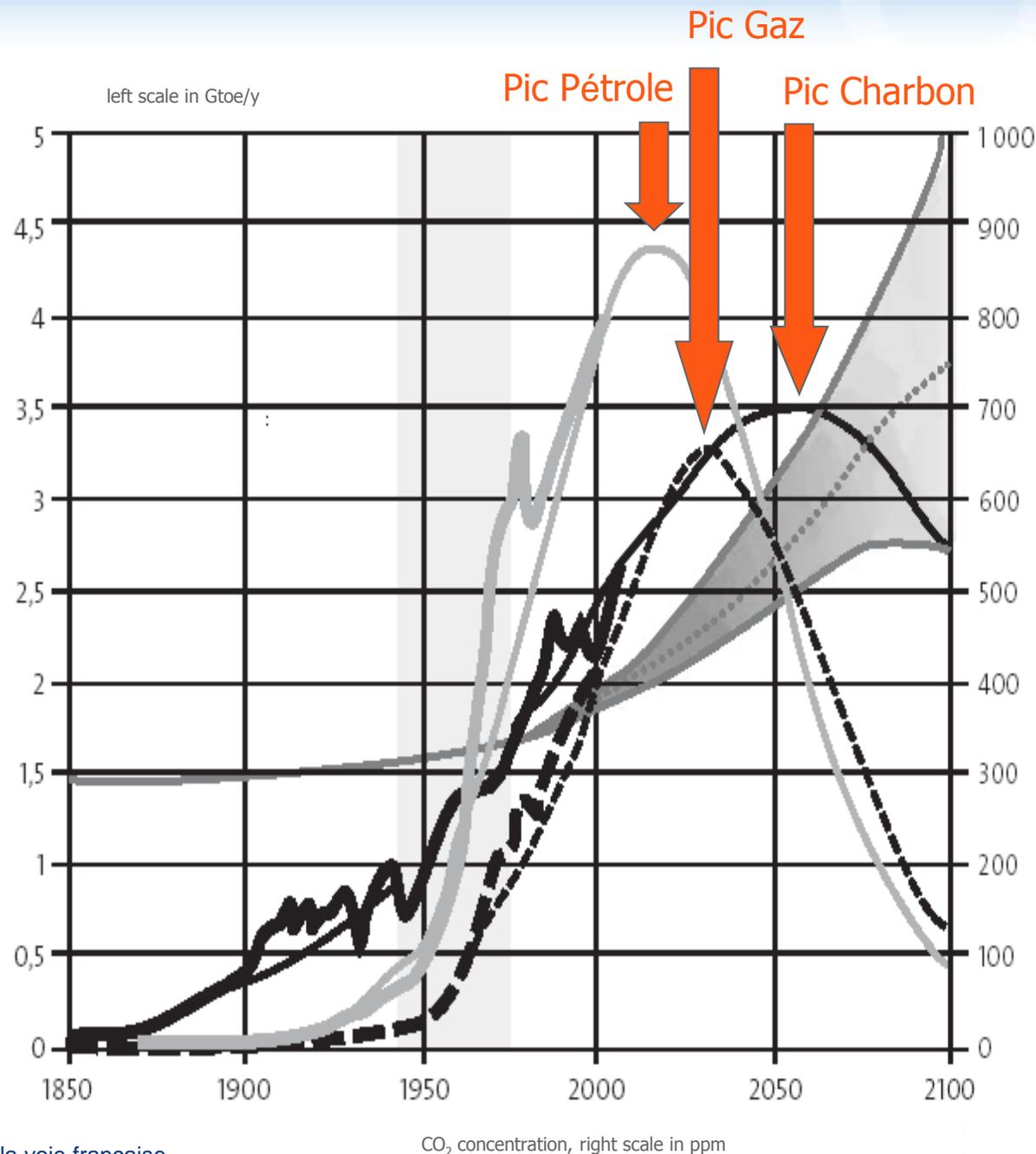




Mais ... « peak gaz » et « peak coal » et CO2 limiteront CTL et GTL

Oil, natural gas & coal peak oil versus CO₂ emissions

Source: Jacques Varet, La Géothermie. Orléans: BRGM (coll. Enjeu des géosciences), 2004.

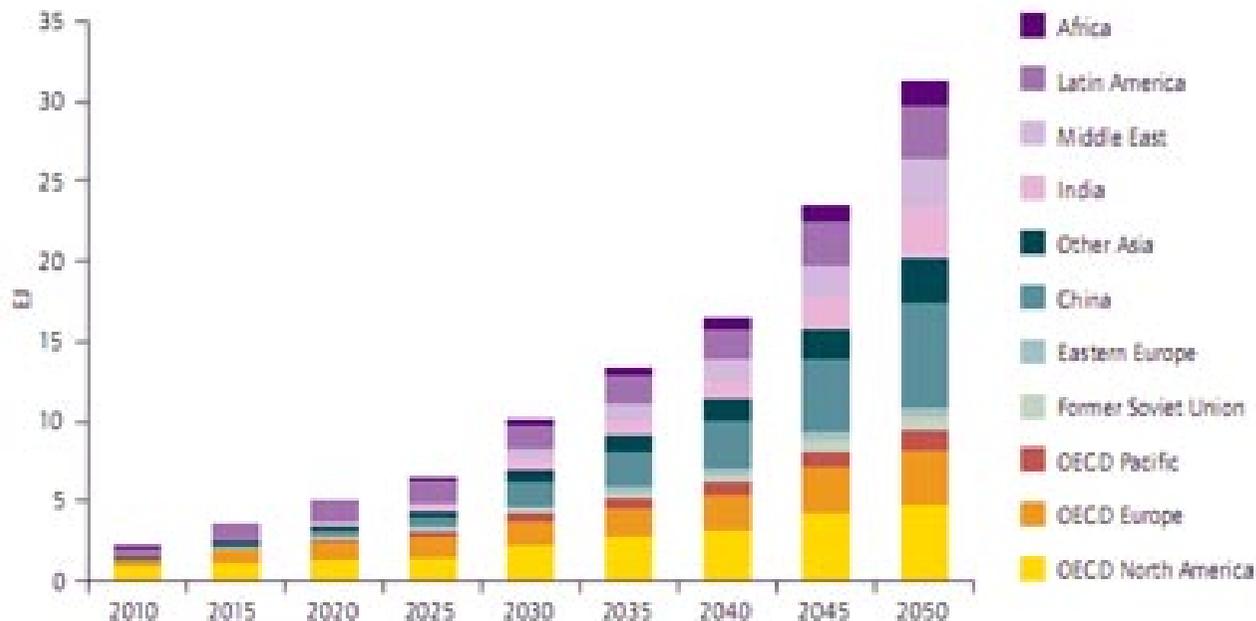




BTL : Bio-carburants

27% des besoins mondiaux en carburants à l'horizon 2050,
contre **2%** à peine, aujourd'hui. (AIE)

Figure 8: Biofuel demand by region 2010-50



Note: FSU is Former Soviet Union.

Source: IEA, 2010c.

Limitation liée aux surfaces agricoles



D'ici 2025, voitures électriques :

27% du marché français

Réduite jusqu'alors à des « marchés de niche », la filière des véhicules décarbonés est en train de changer d'échelle. De nombreux lancements sont prévus dès 2010-2012 par les grands constructeurs. A horizon 2025, **les véhicules décarbonés devraient représenter 27% du marché**, avec un marché européen estimé entre 50 et 90 milliards d'euros.



- UE -

2020 : 20 à 25%

2050 : **100%**



DAIMLER – SMART

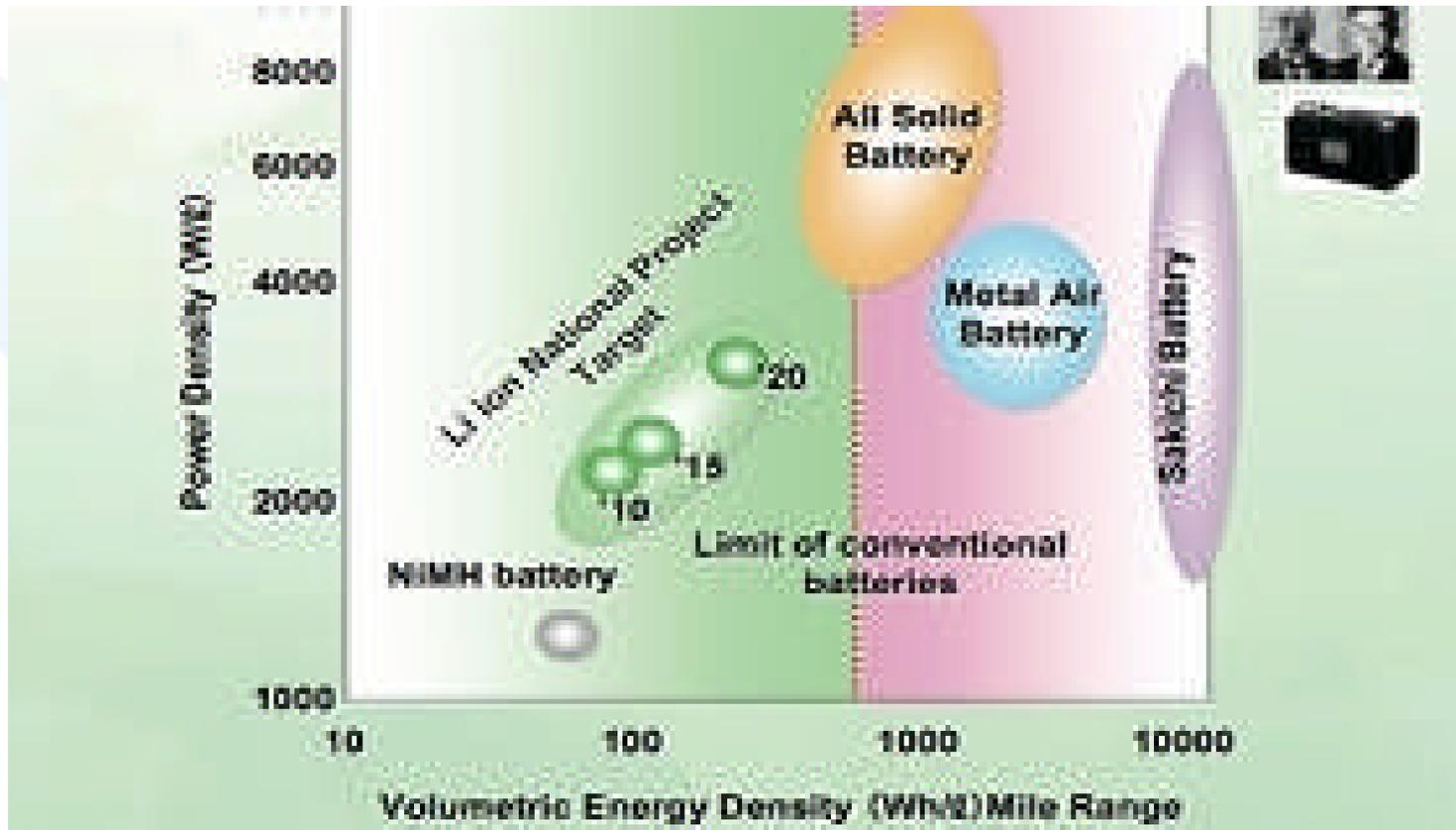
Smart ED

Fabriquée à Hambach,
en Lorraine





Enjeu majeur 1: Autonomie des batteries



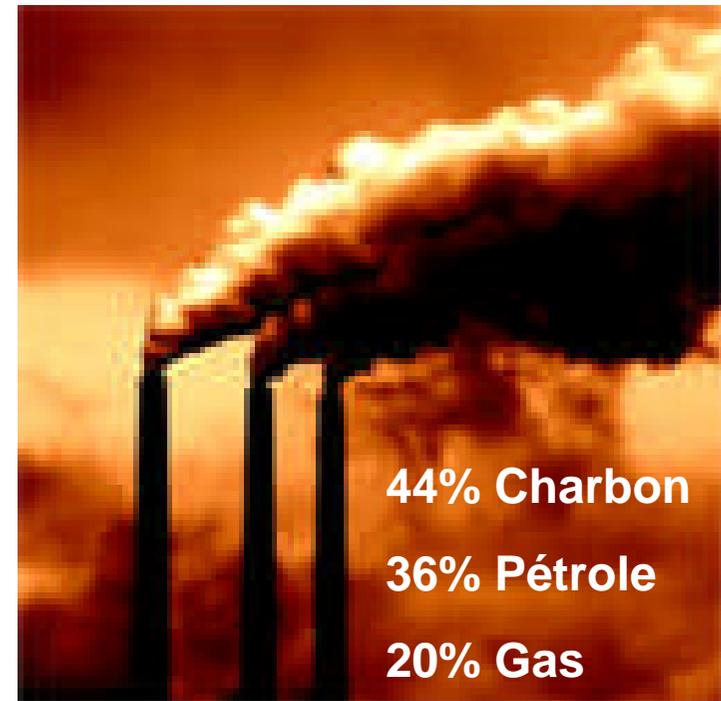
(électricité stockée sous forme
CHIMIQUE)

« Smart Grid »



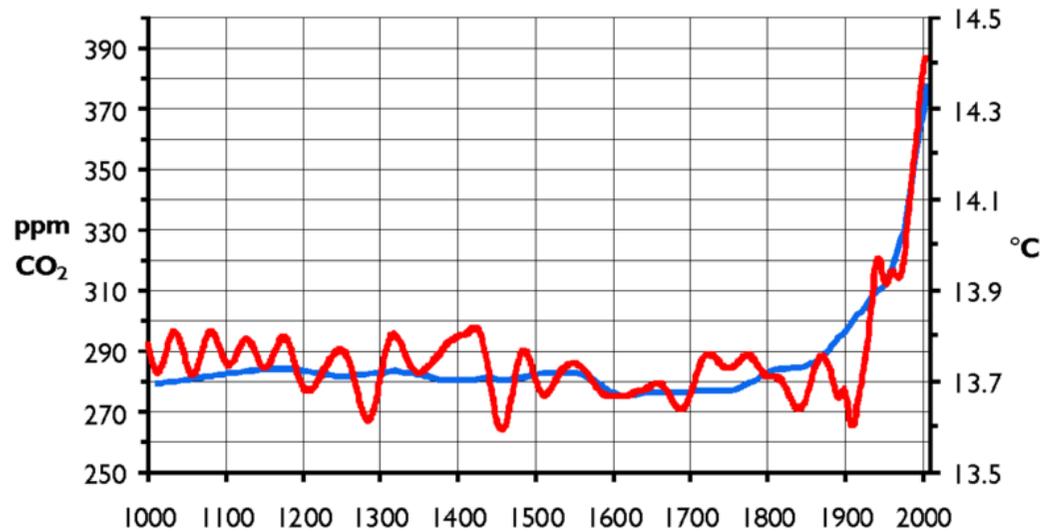
Enjeu majeur 2 : Comment produire de l'électricité sans émission massive de gaz à effet de serre ?

**Record historique des
émissions mondiales de
CO₂ en 2010 : 30,6Gt
(+0,5%)**



1896

Théorie de l'effet de serre

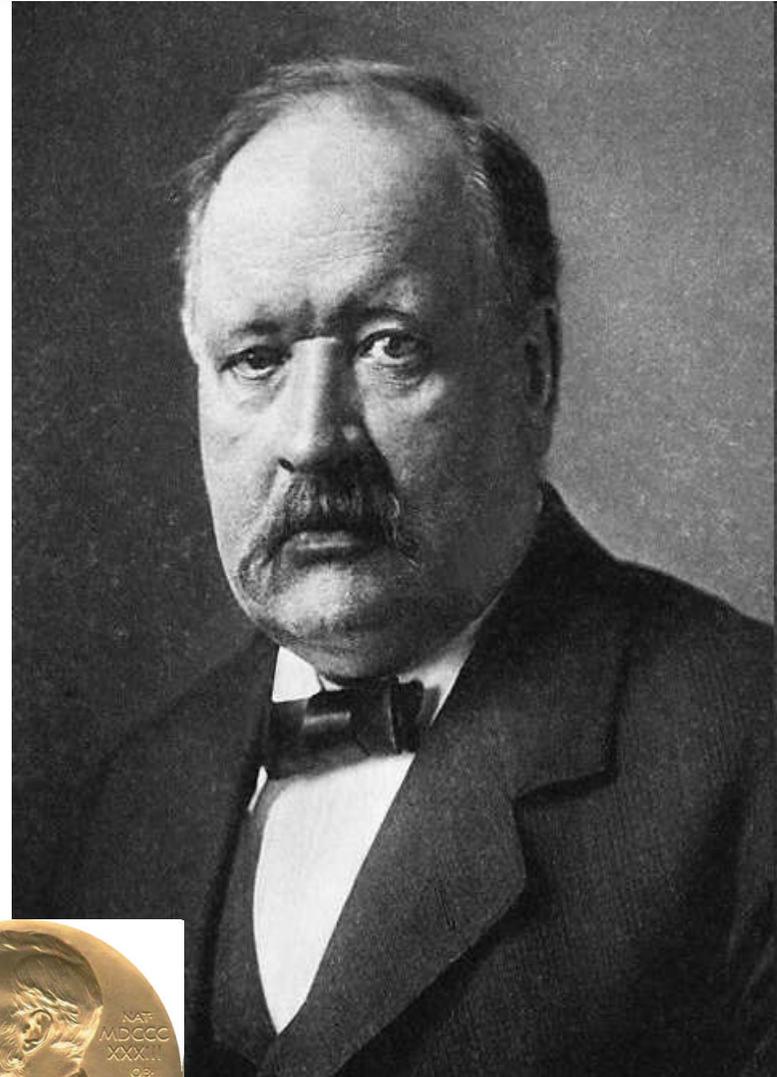


Bleu : concentration de CO₂ dans l'atmosphère

Rouge : température moyenne globale

1903 prix Nobel de chimie

Théorie dissociation électrolytique



Svante August
ARRHENIUS

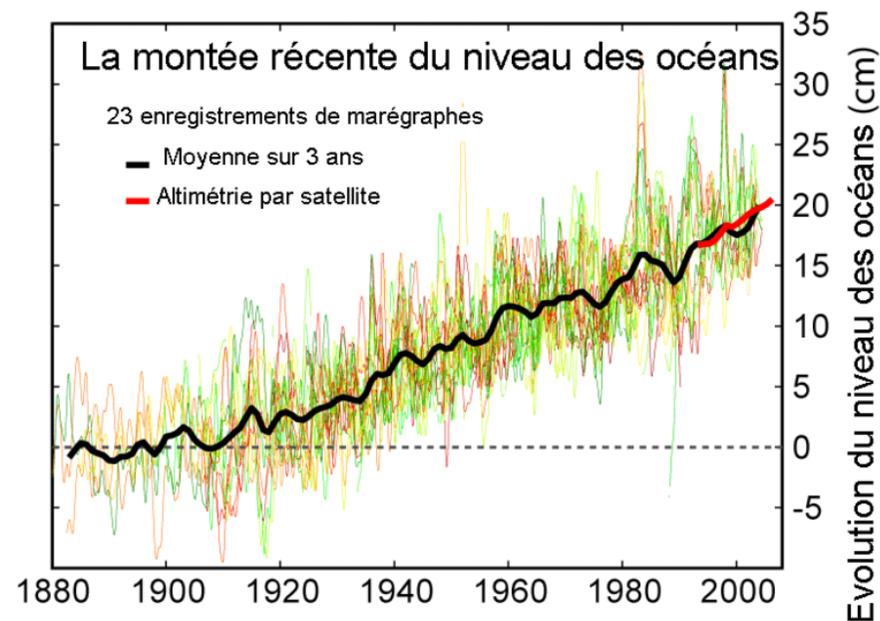
2007



Prix Nobel de la Paix



Printemps le plus chaud depuis 100 ans



➤ **Un réchauffement climatique lorrain estimé à + 1.2°**

(1899-2007) pour Metz-Frescaty

soit un glissement de 200 à 300 km vers le sud

(source : Préfecture de la Région Lorraine)

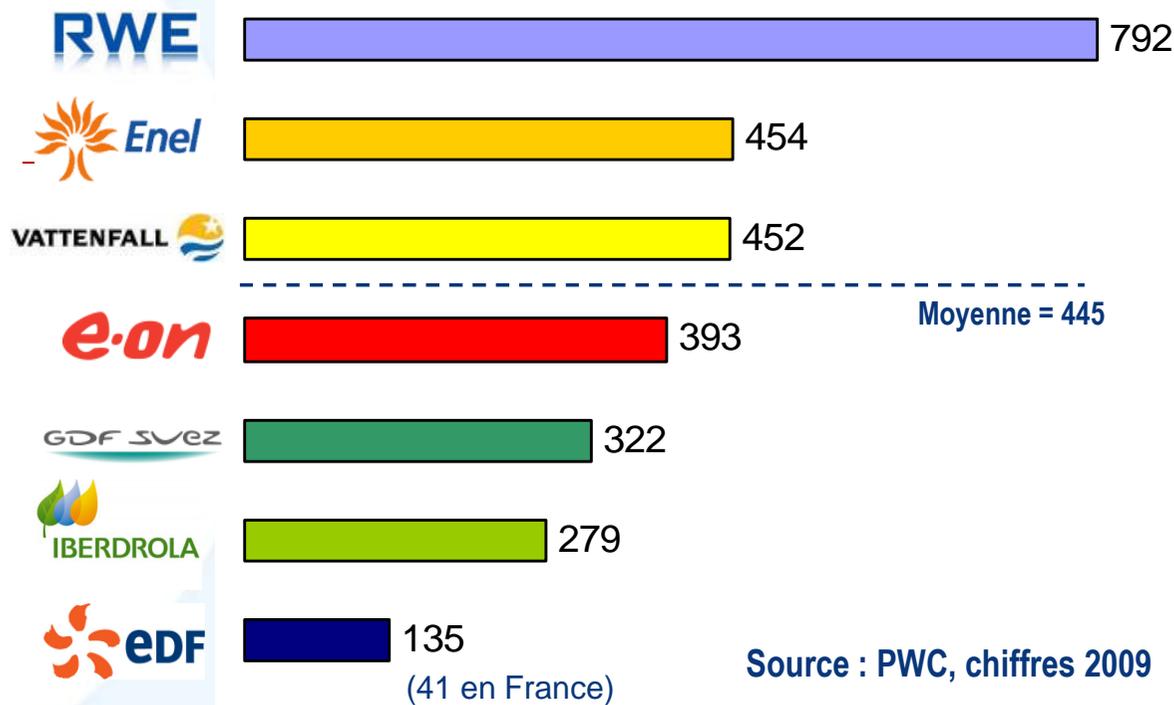




EDF, le premier producteur d'électricité renouvelable et le moins émetteur de CO₂

E = moins de CO₂

Emissions de CO₂ par kilowattheure produit en Europe (g de CO₂/kWh)



Source : PWC, chiffres 2009

	Electricien	TWh (2009)
1.	EDF	58.7
2.	Enel	52.7
3.	Statkraft	50.7
4.	Vattenfall	38.5
5.	Iberdrola	32.8
6.	E.ON	28
RWE		5

EDF, 5^e mondial en termes de capacités de production renouvelables

Classement des 7 plus gros producteurs d'Europe



CHARBON : une menace pour la planète

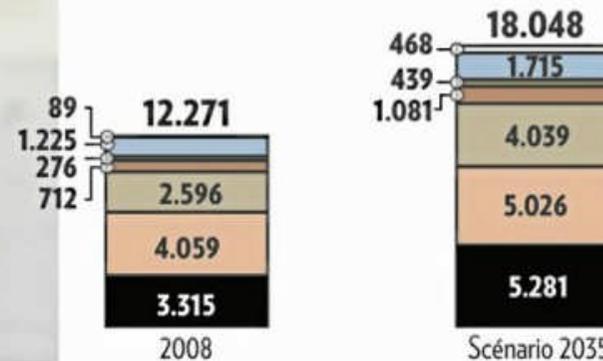


90%

du charbon sert
à produire de
l'électricité

Le charbon reste une ressource énergétique mondiale majeure parts par milliers/concentration de CO₂

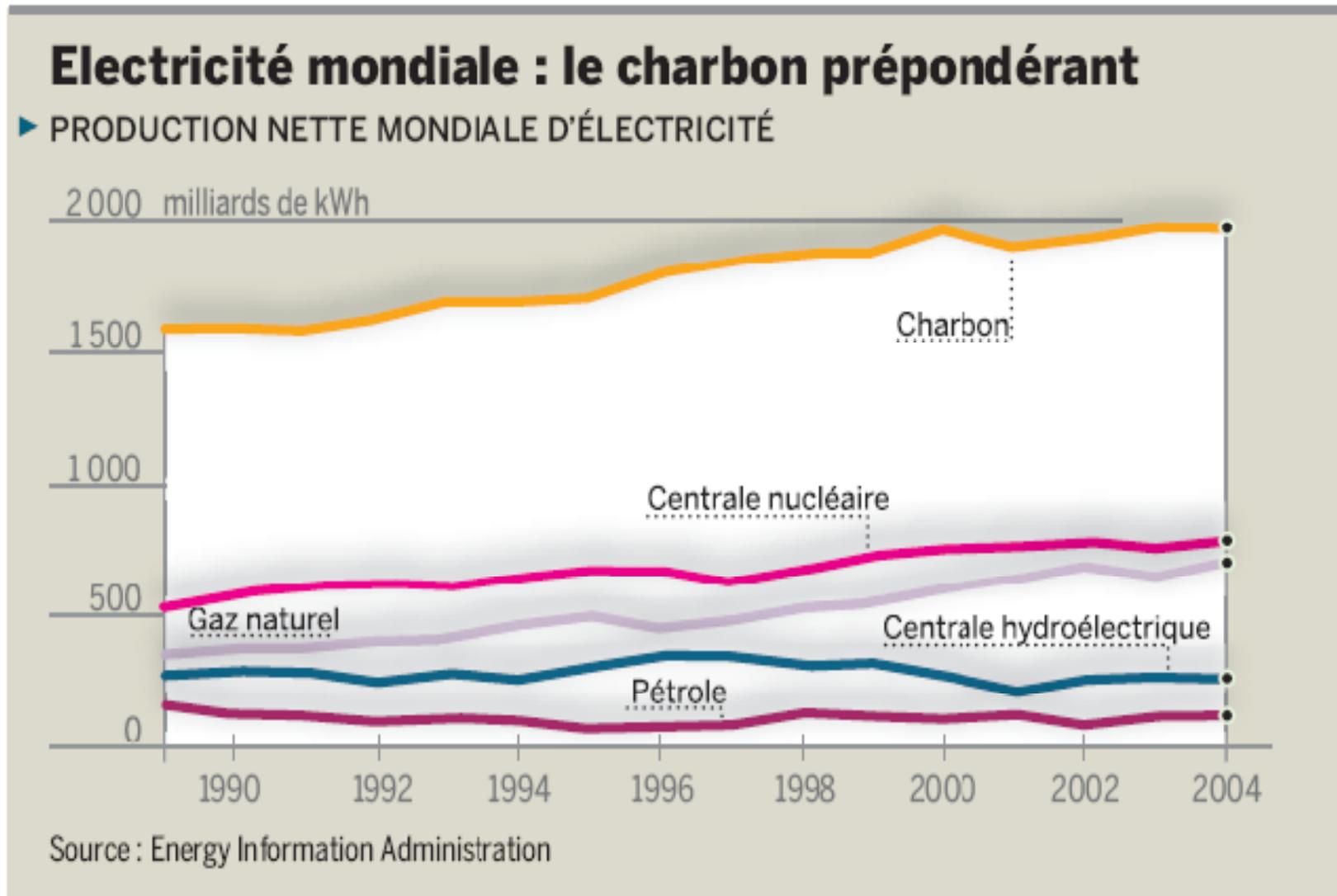
- Autres renouvelables
- Biomasse et déchets
- Hydro
- Nucléaire
- Gaz
- Pétrole
- Charbon



Source : AIE/Photo : Bloomberg



Tendance passée



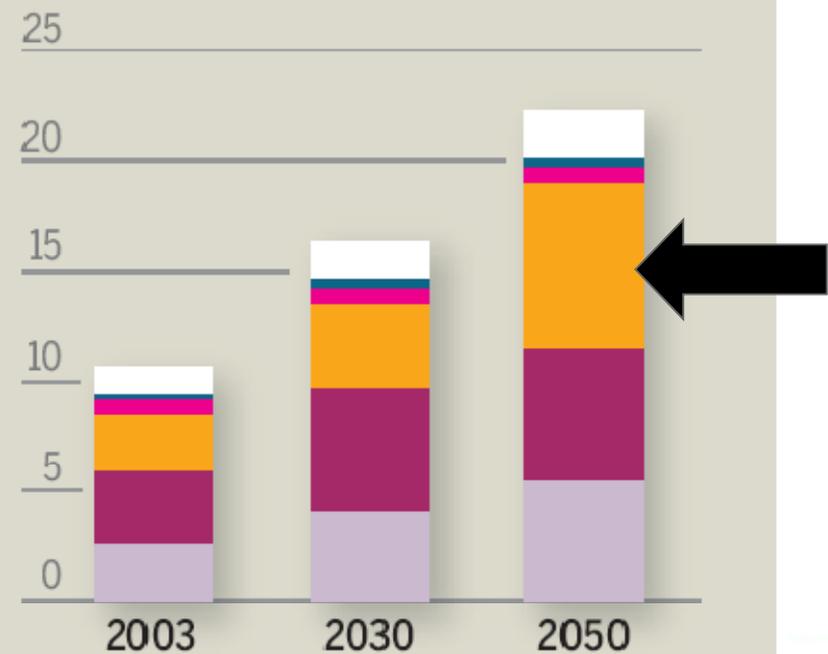


Prévision inquiétante : le plus fort développement

► **DEMANDE D'ÉNERGIE PRIMAIRE**
en milliards de tonnes équivalent pétrole

- Gaz
- Pétrole
- Charbon
- Nucléaire
- Hydroélectricité
- Autres énergies renouvelables

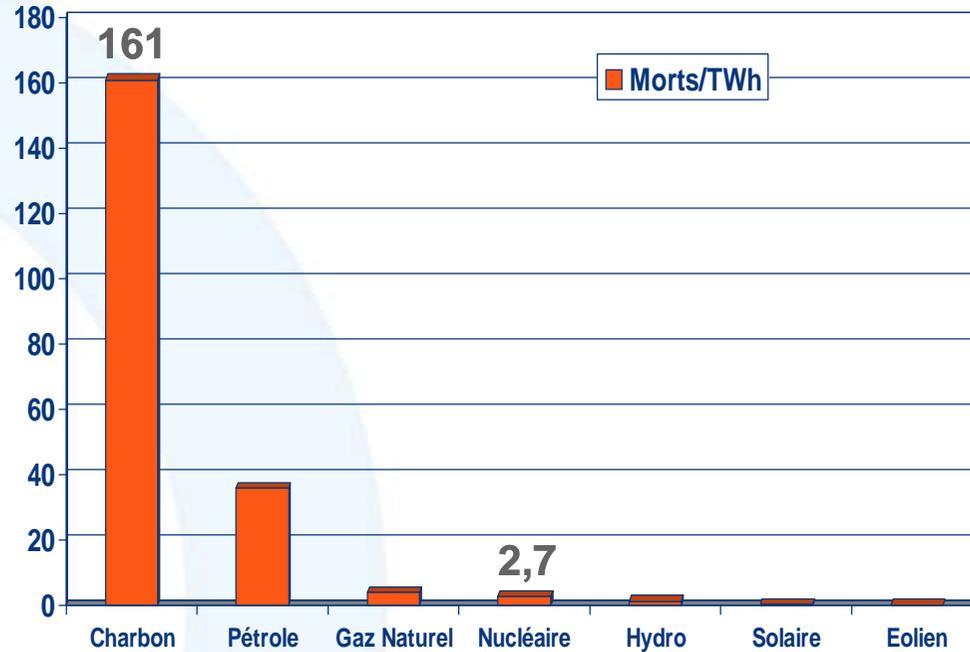
Source : AIE, juin 2006





CHARBON, première cause de morts

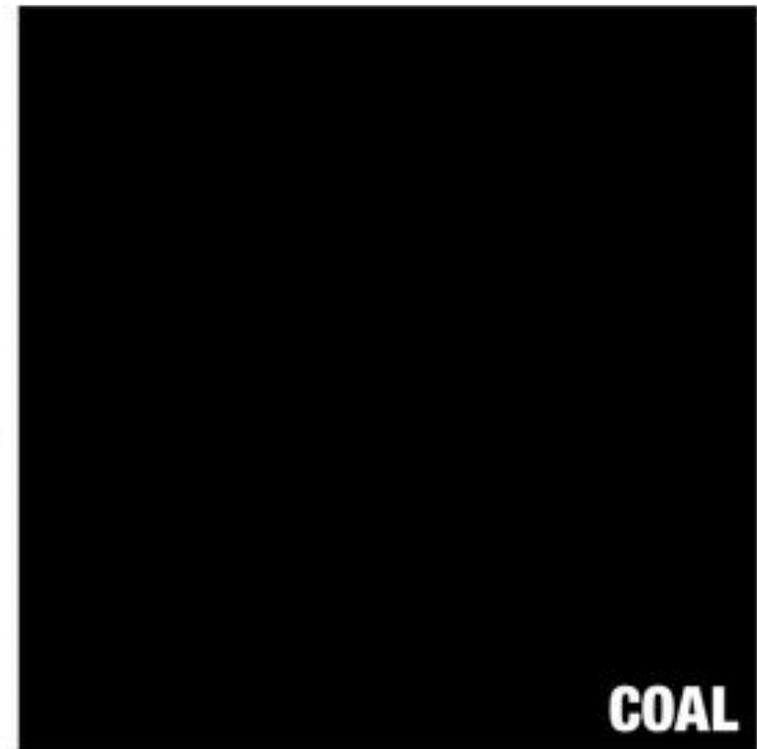
Source : AIEA (avec chiffre Greenpeace des effets de Tchernobyl)



NUCLEAR



OIL



COAL

death rate per watts produced



CHARBON, première cause de maladies respiratoires

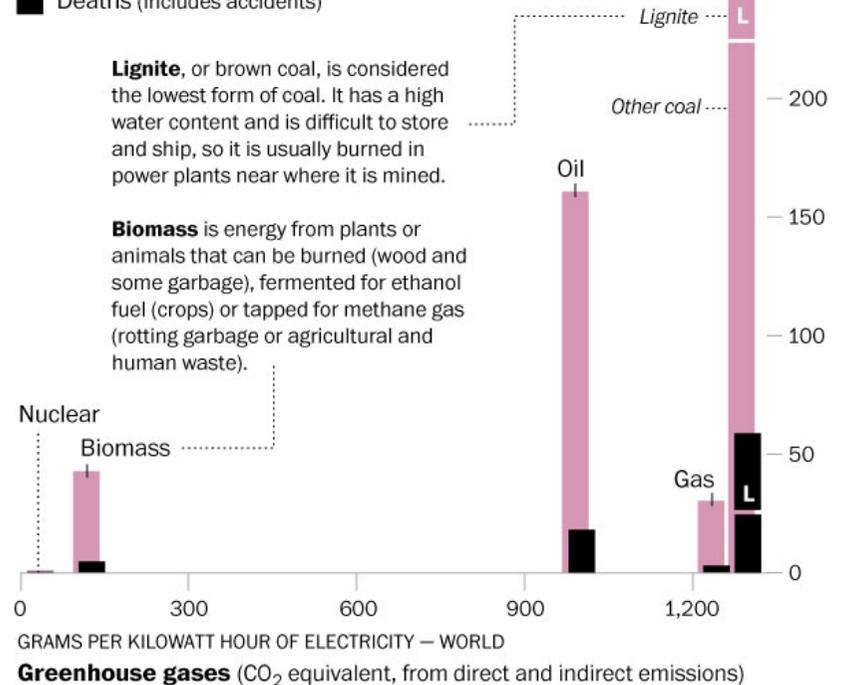
+ de 20 à 120 ppm de métaux radioactifs (uranium, thorium, radium...), qui se concentrent dans les tas de cendres

Note: Serious illnesses include respiratory and cerebrovascular hospital admissions, congestive heart failure and chronic bronchitis. For nuclear power, they include all non-fatal cancers and hereditary effects.

Air pollution-related effects

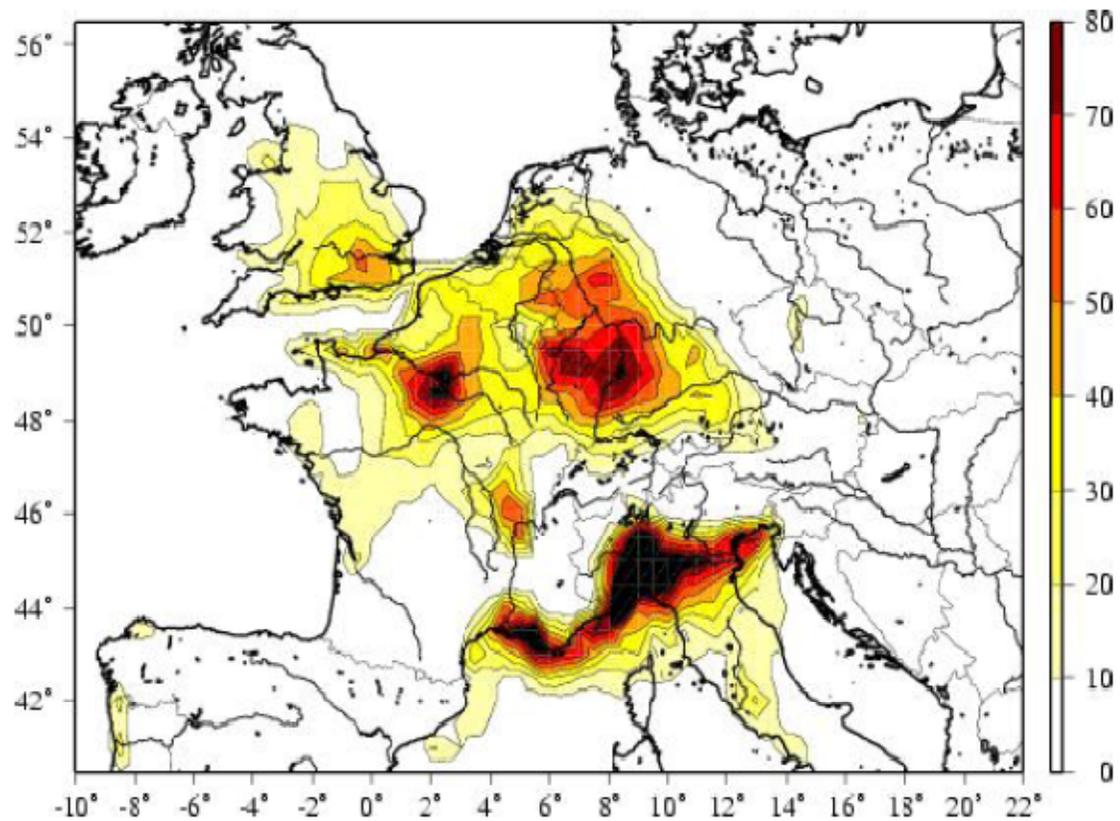
PER TERAWATT HOUR OF ELECTRICITY – EUROPE

- Serious illnesses
- Deaths (includes accidents)





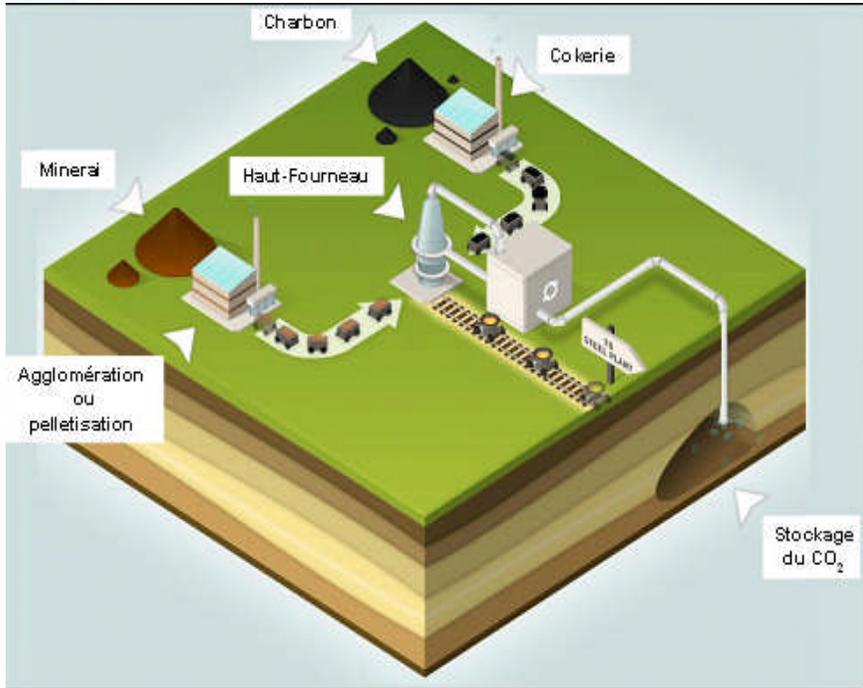
Impact Ozone



Situation de reference, été 2003
(nombre d'heures de dépassement du seuil 180 µg/m³)



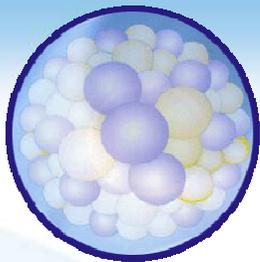
La capture du CO₂ : un enjeu pour la recherche en **CHIMIE**



The ULCOS Programme

ULCOS 623M€





Un coin de ciel bleu, au travers d'une tour de Cattenom

Merci pour votre attention