



# La problématique des déchets nucléaires : Traitement et stockage



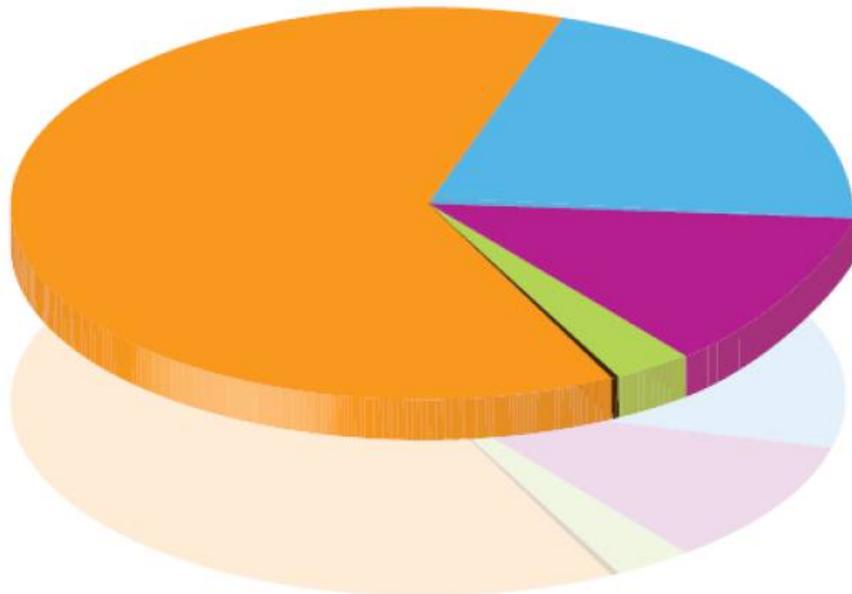
Nathalie Moncoffre

Directrice de Recherche au CNRS  
Institut de Physique Nucléaire de Lyon  
CNRS/IN2P3, Université Lyon 1

[moncof@ipnl.in2p3.fr](mailto:moncof@ipnl.in2p3.fr)

# Origines des déchets radioactifs

- ➔ **le secteur Electronucléaire** : principalement les centrales nucléaires de production d'électricité, les usines de l'amont du cycle du combustible (extraction et traitement du minerai, conversion, enrichissement et fabrication du combustible), et les usines de traitement du combustible usé
- ➔ **le secteur Recherche** : les activités de recherche nucléaire civile ;
- ➔ **le secteur Défense** : principalement les activités liées à la force de dissuasion et à la propulsion nucléaire de certains bâtiments, dont certaines activités de recherche ;
- ➔ **le secteur Industrie non-électronucléaire** : notamment l'extraction de terres rares, la fabrication et l'utilisation de sources scellées ;
- ➔ **le secteur Médical** : activités thérapeutiques, de diagnostic médical, et de recherche médicale.



 Industrie électronucléaire	<b>62 %</b>
 Recherche	<b>17 %</b>
 Défense	<b>17 %</b>
 Industrie non électronucléaire	<b>3 %</b>
 Médical	<b>1 %</b>

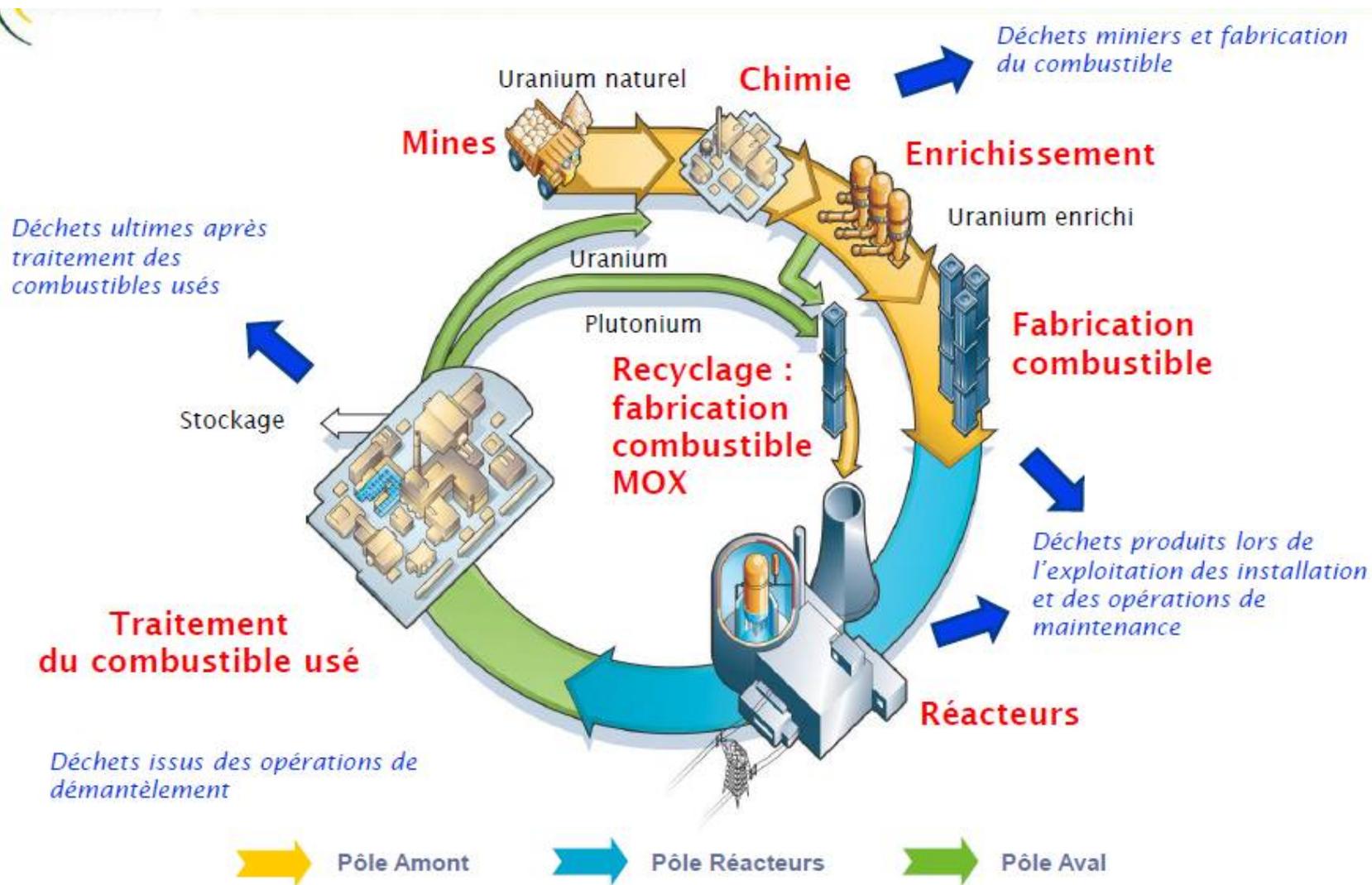
# L'énergie électronucléaire

Centrale de Bugey



# Le cycle du combustible nucléaire

De la mine au stockage



## En réacteur: fission de $^{235}\text{U}$



Réaction très exoénergétique > **200 MeV ! Beaucoup d'énergie!**

On utilise l'énergie dégagée lors des réactions de fissions des noyaux d'uranium pour produire de la vapeur d'eau qui va entraîner la turbine.

Les noyaux d'uranium jouent donc un rôle de « **combustible** ».

# Les 3 grandes familles de radioéléments produits en réacteur

## 1. Les produits de fission



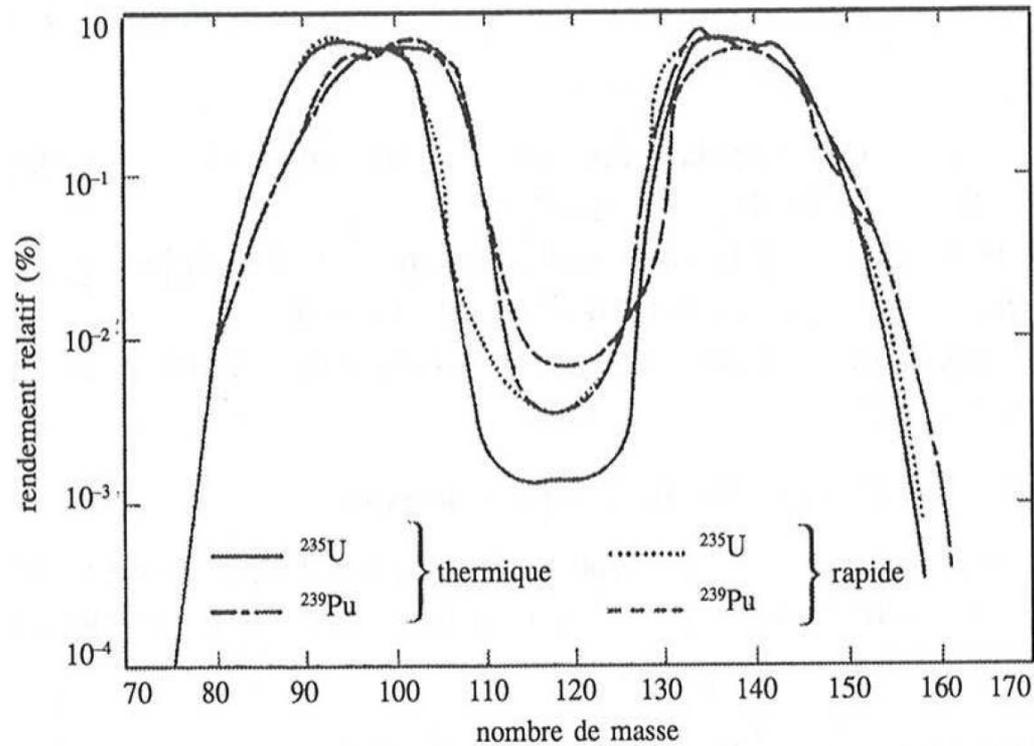
Produits de fissions (PF)  
Ils ont des durées de vie très différentes

1/3 de la classification périodique

Très grande diversité chimique  
Durées de vie très diverses  
Cs, I, Xe, ...

1<sup>ère</sup> famille  
de radioéléments:

Les produits de fission



**Environ 400 isotopes différents**

**Rendement des produits de fission en fonction de leur masse lors de la fission par des neutrons thermiques et rapides de  $^{235}\text{U}$  et  $^{239}\text{Pu}$**

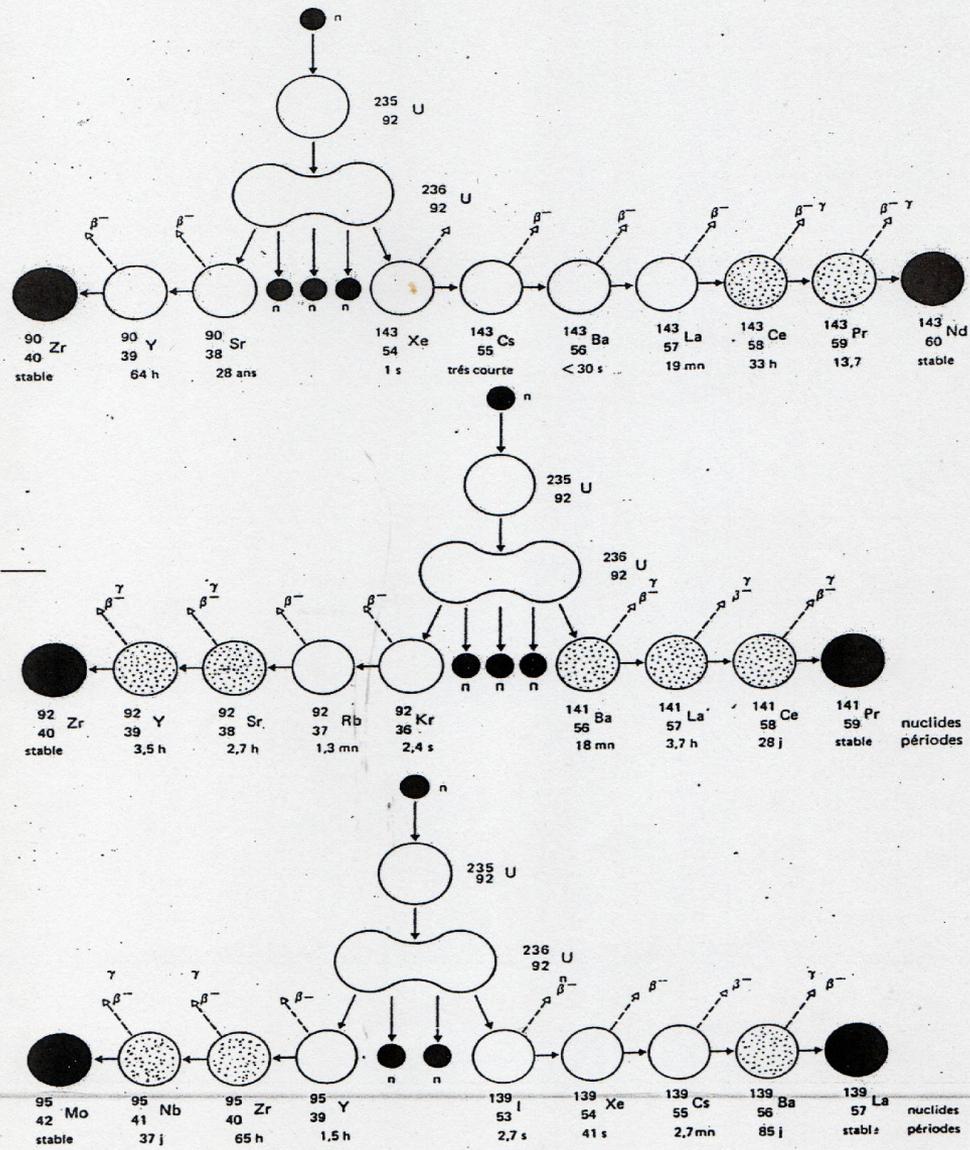


Figure III - 8 Schématisation de 3 types de fission de l'uranium 235 et des chaînes radio actives qu'en découlent

# Principaux produits de fission

Masse	N° Atomique	Élément	Rendement de fission %	Période	Energie de rayonnement en MeV	
					$\beta$	$\gamma$
85	36	Krypton	0,3	10,7 ans	0,69	-
87	37	Rubidium	2,49	5 10 <sup>10</sup> ans	0,27	-
89	38	Strontium	4,8	50,6 jours	1,49	-
90	38	Strontium	5,8	28 ans	0,55	-
90	39	Yttrium*	5,7	64 heures	2,28	-
91	39	Yttrium	5,4	58,5 jours	1,55	-
93	40	Zirconium	6,45	1,5 10 <sup>6</sup> ans	0,06 à 0,09	-
95	40	Zirconium	6,2	64 jours	0,4	0,75
95	41	Niobium*	-	35 jours	0,16	0,77
99	42	Molybdène	6,1	66 heures	1,21	0,74
99	43	Technétium*	-	214 000 ans	0,3	-
103	44	Ruthénium	3,0	39,3 jours	0,23	0,5
106	44	Ruthénium	0,4	373 jours	0,04	-
106	45	Rhodium*	-	30 secondes	3,54	0,5-0,6
129	52	Tellure	0,35	33,6 jours	1,6	0,7
129	53	Iode*	0,8	15,7 10 <sup>6</sup> ans	0,15	0,04
131	53	Iode	3,1	8 jours	0,61	0,36
133	53	Iode	6,9	20,8 heures	1,23	0,53
133	54	Xénon	6,6	5,2 jours	0,35	0,08
135	54	Xénon	6,3	9,1 heures	1,16	0,25
134	55	Césium	-	2,1 ans	0,65	0,6-0,8
135	55	Césium	6,4	2,3 10 <sup>6</sup> ans	0,205	-
137	55	Césium	6,2	30,2 ans	0,51	-
137	56	Baryum*	-	2,6 mn	-	0,66
140	56	Baryum	6,3	12,8 jours	0,45 à 1,0	0,16 à 0,2
140	57	Lanthane*	6,3	40,3 heures	1,2 à 2,2	0,3 à 2,2
141	58	Cérium	6,0	32,5 jours	0,4 et 0,6	0,14
144	58	Cérium	6,0	285 jours	0,32	0,13
144	59	Praséodyme*	-	17,3 mn	3,0	0,7 et 2,2
144	60	Néodyme	5,62	2,1 10 <sup>15</sup> ans	émetteur	alpha
147	60	Néodyme	2,7	11 jours	0,9	0,09 et 0,2
147	61	Prométhéum*	-	2,6 ans	0,22	-
147	62	Samarium*	2,38	1,06 10 <sup>11</sup> ans	émetteur	alpha
151	62	Samarium	0,45	90 ans	0,08	-

\* Les isotopes dont le nom est suivi d'un astérisque sont les descendants directs, par radioactivité, de l'isotope figurant juste au-dessus dans le tableau. Le "père" et le "fils" possèdent donc la même masse.

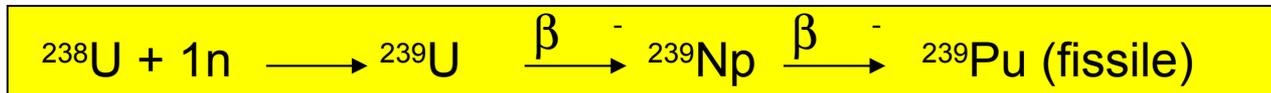
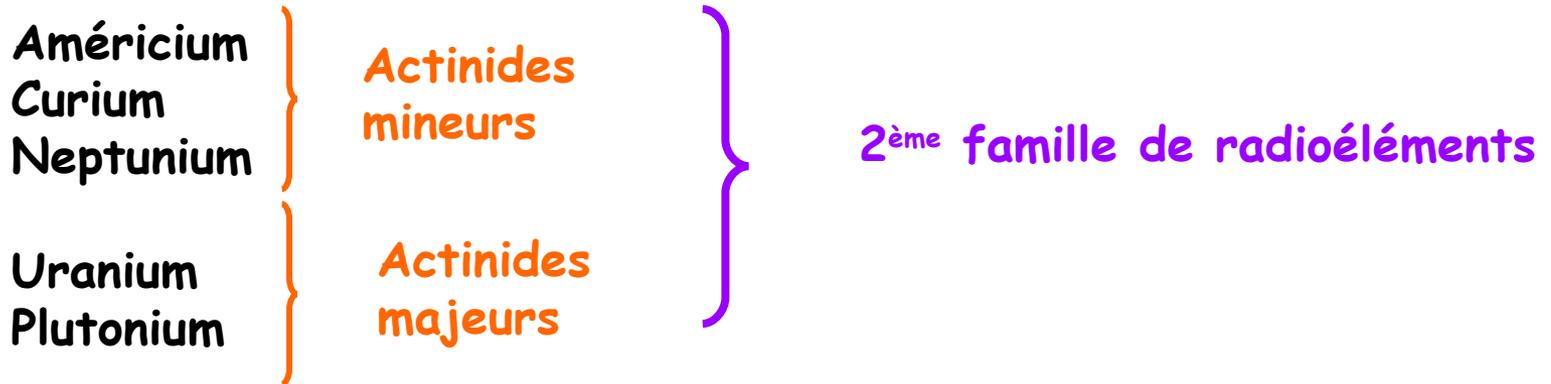
## 2. Les actinides

Lorsqu'il n'y a pas fission de  $^{235}\text{U}$ , des noyaux plus gros que l'uranium sont formés (transuraniens)

Ils sont radioactifs et artificiels.

Leur durée de vie est très grande (plusieurs millions d'années)

On les appelle les **ACTINIDES**



## 3. Les produits d'activation

Ils proviennent de l'activation par les neutrons des matériaux autour du combustible

Ex:  $^{60}\text{Co}$  Produits d'activation  $\longrightarrow$  3ème famille de radioéléments

# Entreposage en piscine de refroidissement

Après extraction du cœur du réacteur, le combustible usé est entreposé dans des

**piscines de refroidissement** afin de:

- diminuer de manière significative la radioactivité du combustible usé,
- diminuer la puissance thermique dégagée.



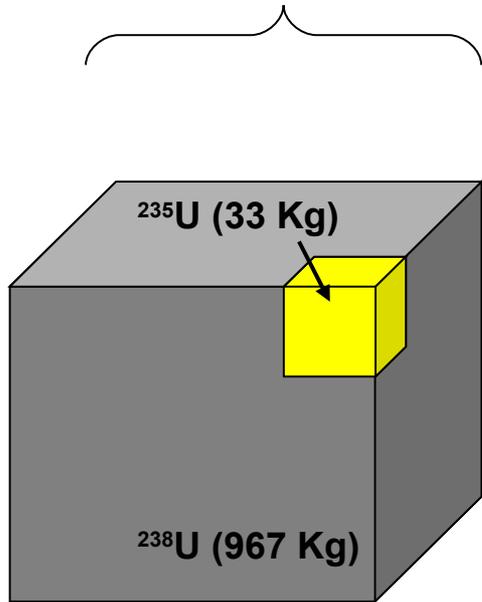
Entreposage du combustible usé en piscine (La Hague)

Après l'arrêt du réacteur: le flux de neutrons décroît rapidement et les réactions de fission cessent, mais:

La majorité des noyaux produits dans le combustible sont très radioactifs

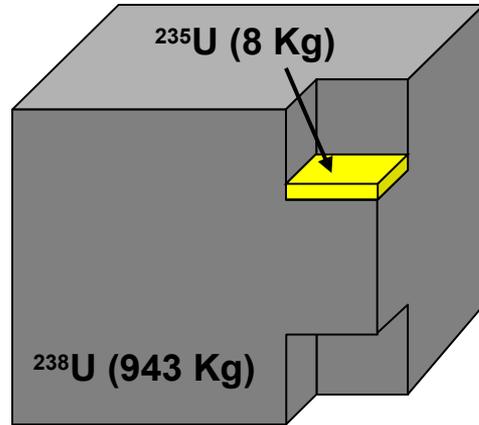
- Ces désintégrations produisent de l'énergie qui se transforme en chaleur dans le combustible: c'est ce que l'on appelle la **puissance résiduelle**

## Combustible initial (1000 Kg)

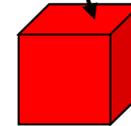


3 ans

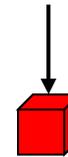
## Combustible irradié (1000 Kg)



Produits  
de Fissions  
(35 Kg)



Différents  
isotopes du  
Plutonium (9 Kg)



$^{236}\text{U}$  (4,5 Kg)



$^{237}\text{Np}$  (0,5 Kg)



$^{243}\text{Am}$  (0,12 Kg)



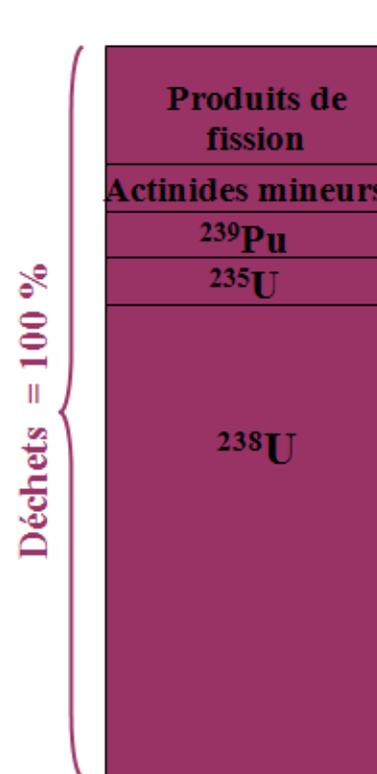
$^{244}\text{Cm}$  (0,04 Kg)



Caractéristiques d'un combustible irradié pendant 3 ans dans un réacteur à eau légère

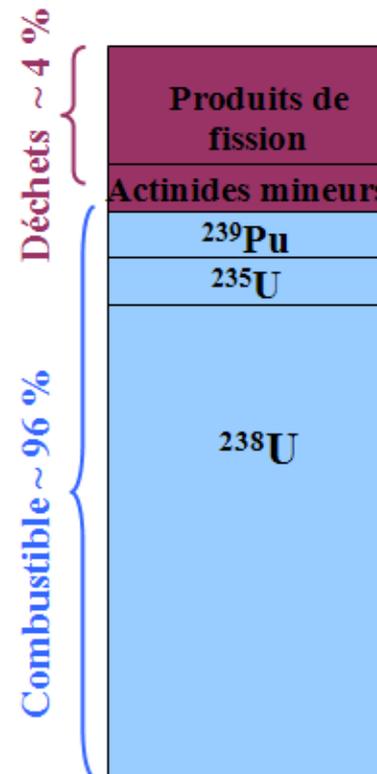
## 2 politiques possibles

On ne retraite pas  
le combustible utilisé



Etats-Unis,  
Suède

On retraite le  
combustible utilisé



France, Japon,  
Royaume-Uni

# Le retraitement du combustible usé

## Procédé PUREX

### (Plutonium Uranium Refining by Extraction)

#### Objectifs :

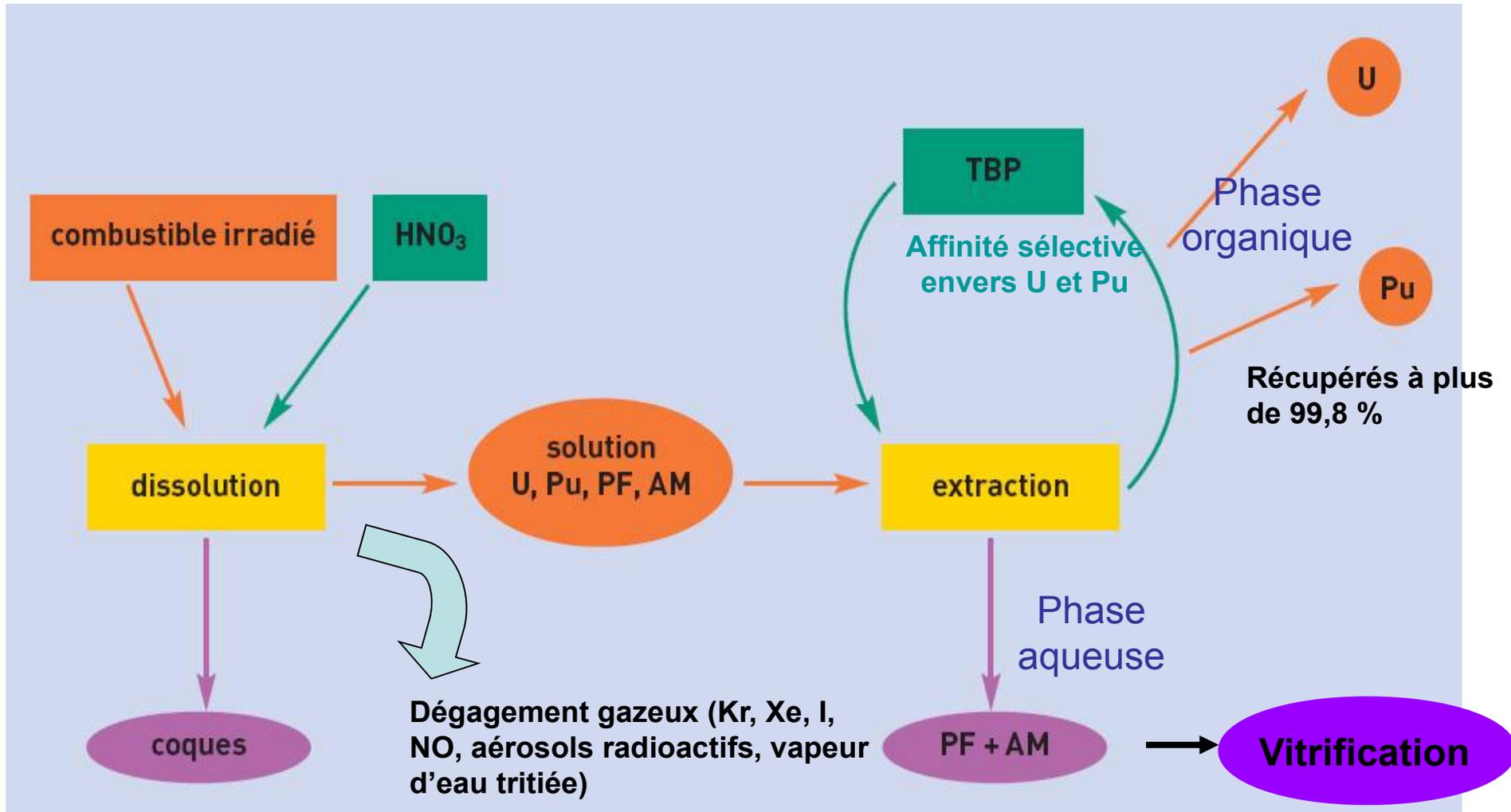
- Récupérer les éléments valorisables : Uranium et Plutonium pour les recycler => économie de combustible  
→ On fabrique le MOX (U, Pu)O<sub>2</sub>
- Conditionner les déchets ultimes

#### Principe de Base:

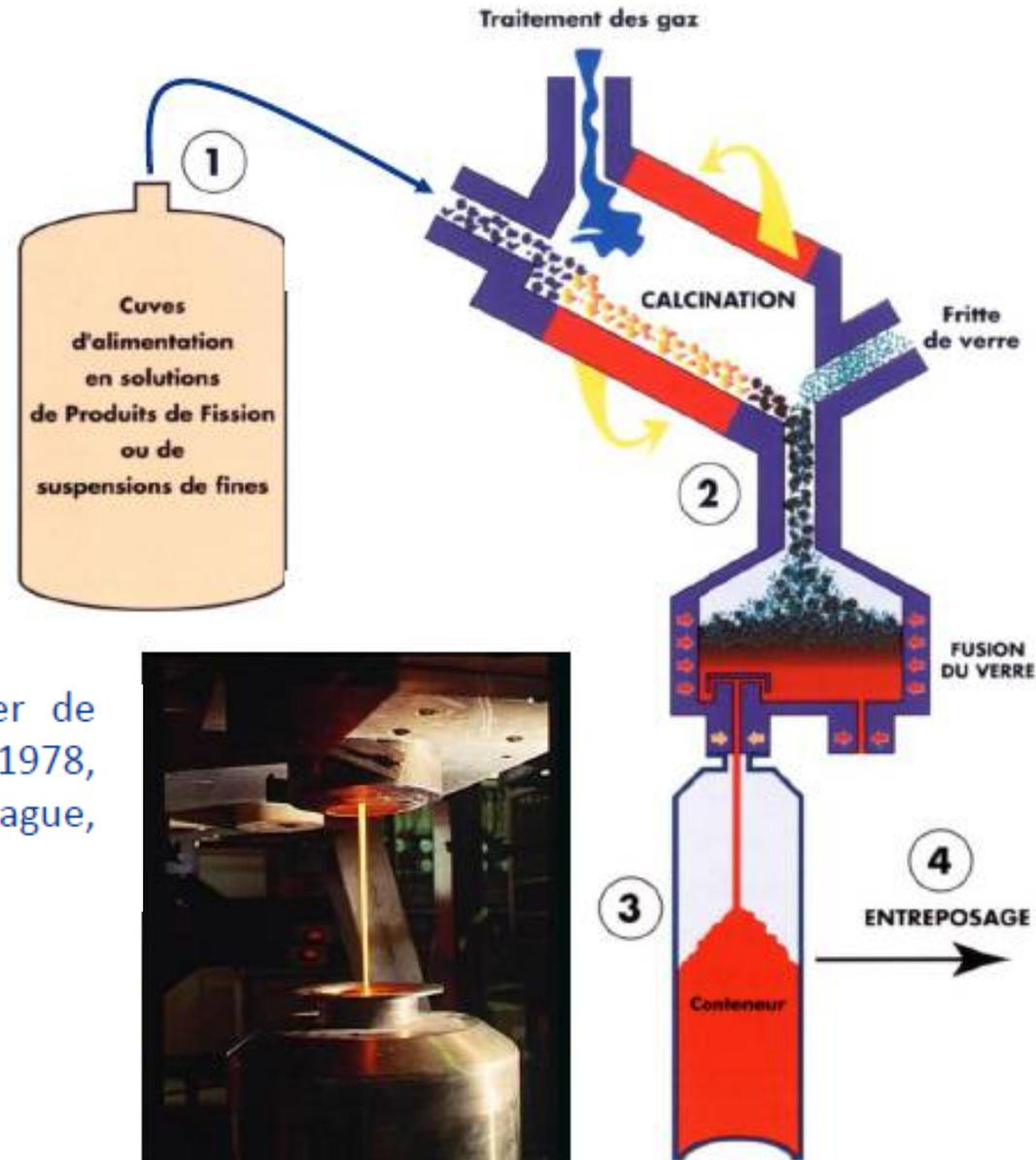
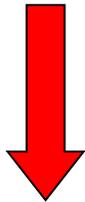
Extraction sélective de U et Pu par le TBP (Tributyl phosphate)

Actuellement 3 pays utilisent ce procédé : Royaume-Uni, Japon et France (mis en œuvre par AREVA à La Hague)

# Principe du procédé PUREX



## Procédé de vitrification

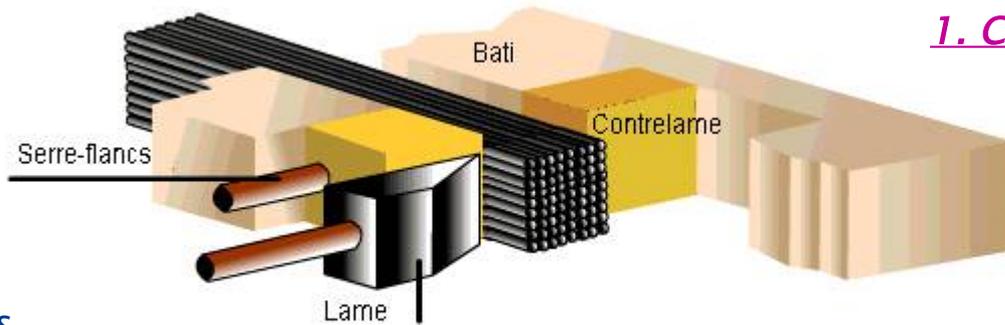


trois ateliers exploités par AREVA : Atelier de Vitrification de Marcoule (AVM), démarré en 1978, ateliers de vitrification R7 et T7 de La Hague, démarrés respectivement en 1989 et 1992.

# Les déchets MA-VL : les coques et embouts

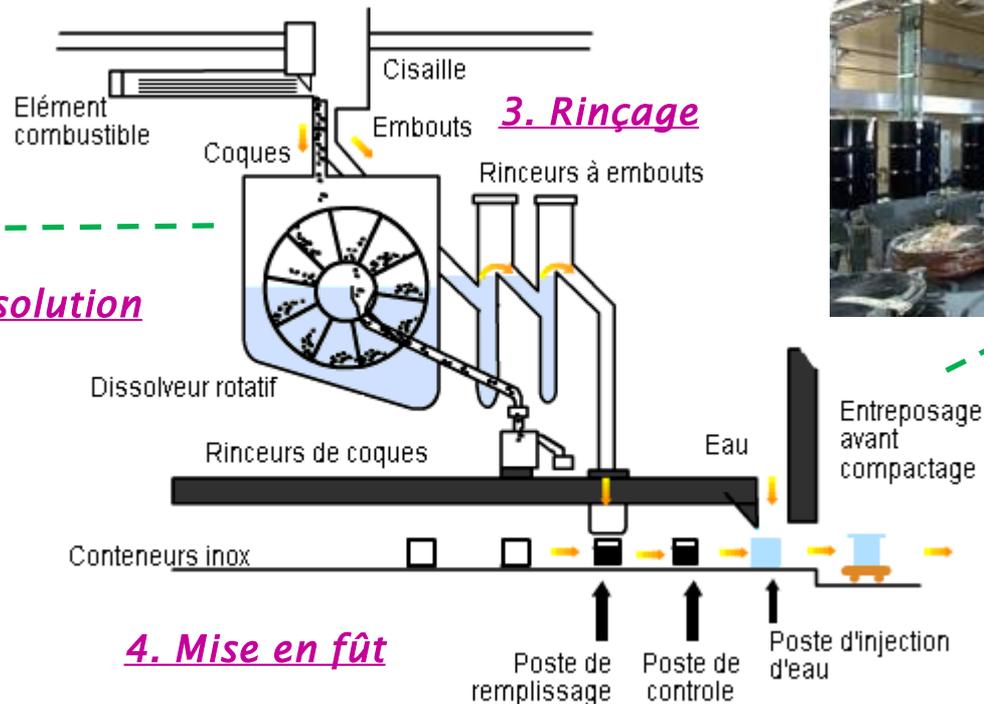
## Processus de traitement des coques et embouts avant compactage

### 1. Cisailage

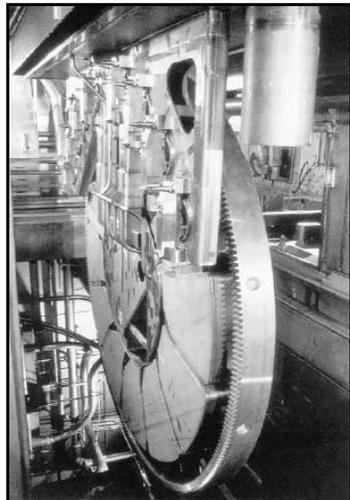


Arrivée du combustible après entreposage en piscine

### 3. Rinçage



### 2. Dissolution



### 4. Mise en fût

5. Entreposage (1995-2002) ou traitement en ligne

## Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

Les déchets radioactifs sont « des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ».

## Risques liés aux déchets radioactifs

- **A des doses naturelles:** la radioactivité n'est pas dangereuse pour l'homme.
- **A de fortes doses:** l'exposition aux rayonnements ou l'ingestion de substances radioactives peuvent constituer un risque pour la santé.
  - ➔ les déchets radioactifs sont dangereux et peuvent présenter un risque pour la santé.
  - ➔ Ils doivent donc être pris en charge de manière spécifique et isolés de l'homme et de l'environnement aussi longtemps qu'ils présentent des risques.
  - ➔ Ils sont conditionnés puis destinés à être stockés dans des centres adaptés à leur nature.

**L'ANDRA** (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) est chargé de la gestion à long terme de tous les déchets Radioactifs produits en France

Placée sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement, l'ANDRA est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC)

L'ANDRA est créé en 1979 au sein du CEA.

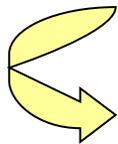
En 1991, le parlement décide d'en faire une agence publique indépendante.

### **Son rôle:**

- assurer la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs français,
- concevoir les centres de stockage adaptés à ces déchets.

## En matière de législation:

La loi de 1991 (loi Bataille) puis la loi de juin 2006



### 3 axes de recherche:

- Séparation et transmutation des éléments radioactifs à vie longue
- Le stockage réversible
- L'entreposage de longue durée

# Le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR)

visé à clarifier le cadre de gestion et à l'améliorer.

L'article 6 de la loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs définit plus précisément les objectifs du PNGMDR qui sont :

- dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs,
- recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage,
- préciser les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif.

## Quelques repères:

**1991** : loi relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (portant essentiellement sur les déchets de type haute activité et moyenne activité à vie longue)

**2005-2006** : débat public sur la gestion des déchets radioactifs

**2006** : loi relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (portant sur l'ensemble des matières valorisables et des déchets radioactifs), préparée après l'évaluation de l'ensemble des recherches menées dans le cadre de la loi de 1991

### Échéances à venir

**2013** : débat public sur le centre de stockage réversible profond, après proposition par l'ANDRA d'un site d'implantation

**2015** : loi fixant les conditions de réversibilité du stockage profond

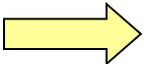
**2025** : début de l'exploitation du centre de stockage profond réversible

**Objectif de la gestion des déchets radioactifs: \_**  
Protéger l'homme et son environnement contre les risques radiologiques

**Les 3 grands principes de la gestion des déchets:**

- **Tri (classification)**
- **Réduction de volume (compactage)**
- **Sûreté (stockage)**

# Le tri : Classification des déchets

Tous les déchets n'ont pas la même « dangerosité »   
On les répertorie dans 5 différentes catégories en vue de leur conditionnement et de leur stockage.

**Critères de classification:**

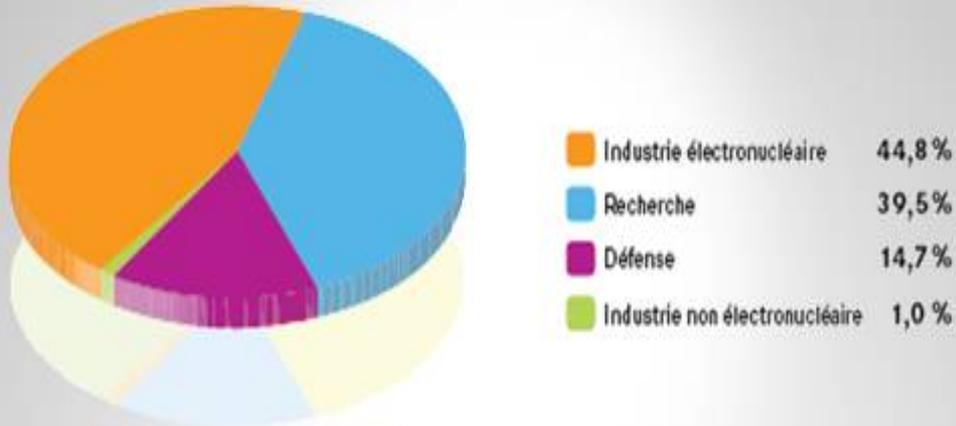
- Niveau d'activité, intensité et nature du rayonnement émis
- Durée de vie

 Classification établie par l'ANDRA

- les déchets de très faible activité (TFA)
- les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)
- les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)
- les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)
- les déchets de haute activité (HA-VL)

**Selon la catégorie à laquelle ils appartiennent, les déchets ne seront pas gérés de la même façon**

## Les déchets de très faible activité (TFA)

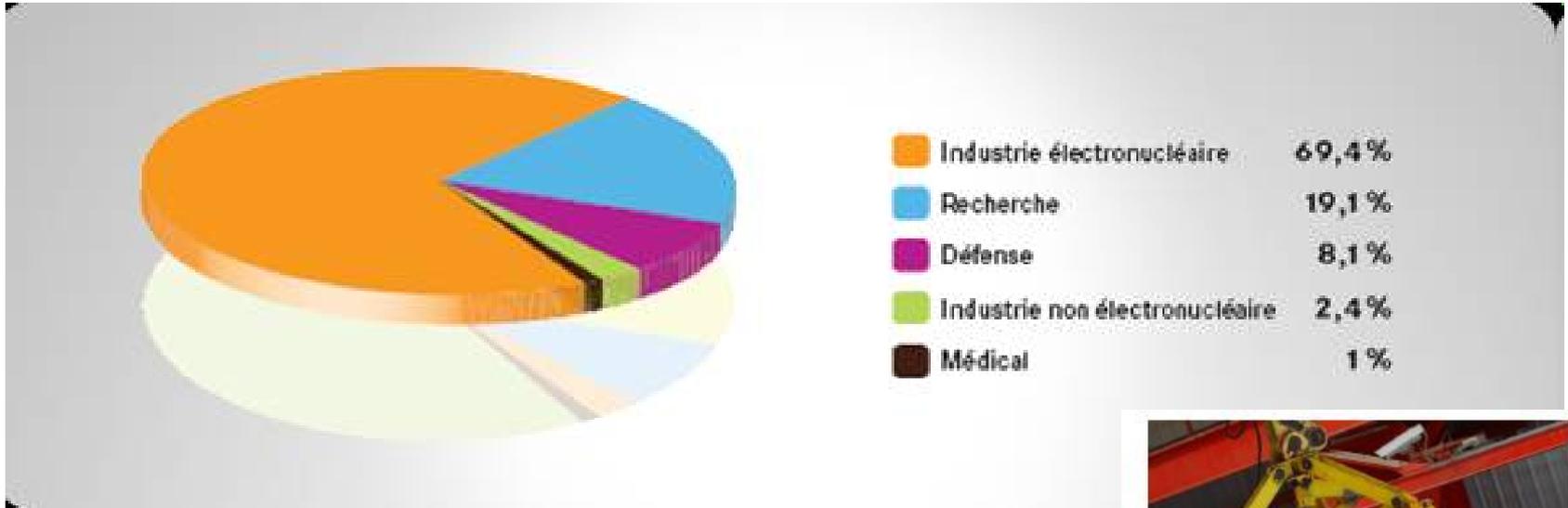


*Exemple de déchets TFA  
morceaux de métal  
et de plastique issus du  
démantèlement  
d'installations nucléaires.*

- » Ces déchets proviennent essentiellement du démantèlement d'installations nucléaires d'industries classiques utilisant des matériaux radioactifs : ferrailles, plastiques, gravats, terre
- » Ils sont conditionnés dans des fûts métalliques ou des big-bags, essentiellement afin de faciliter leur manutention



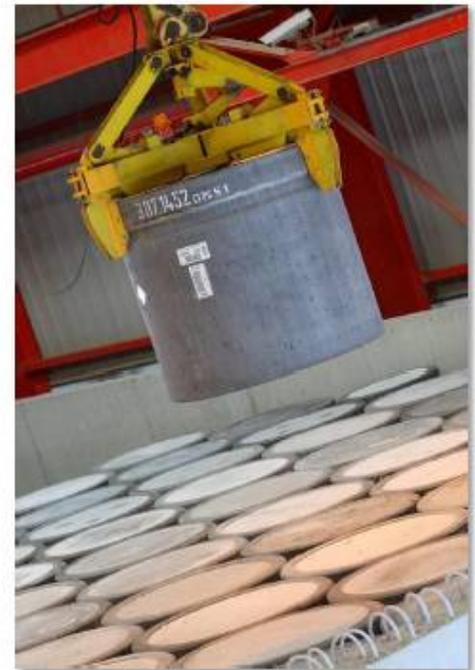
# Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)



Ce sont principalement des vêtements, des outils, des gants, ou encore des filtres

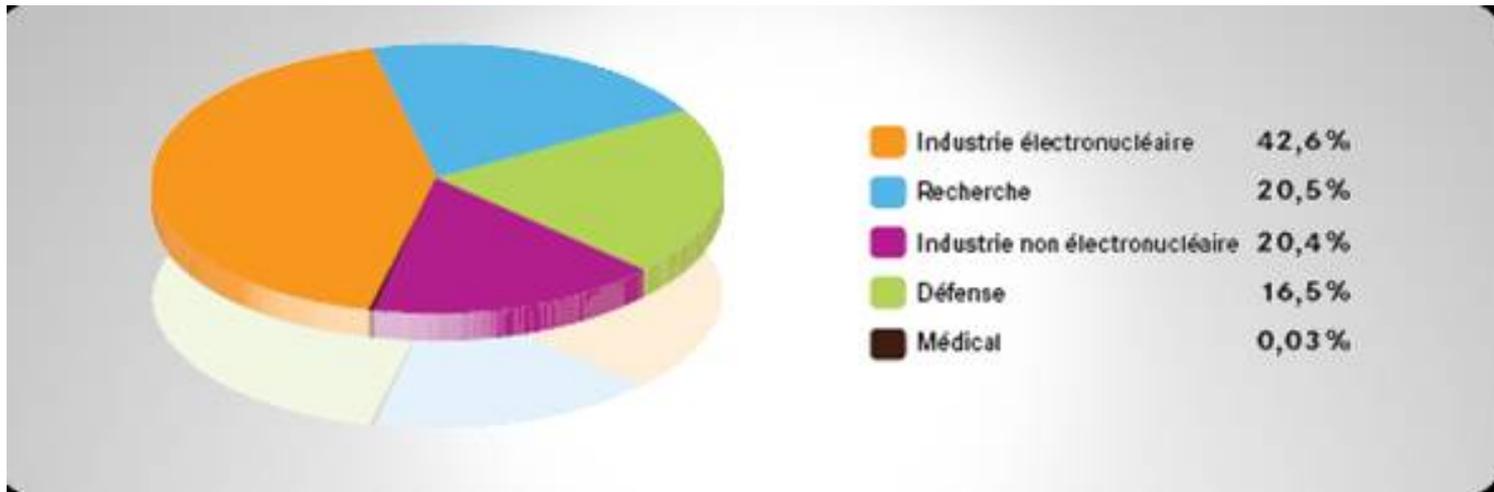


*Exemple de déchets FMA-VC*



Ils sont conditionnés dans un **conteneur en métal** ou en **béton** puis enrobés dans du **béton**

## Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)



Essentiellement déchets dits "radifères" ou "de graphites"

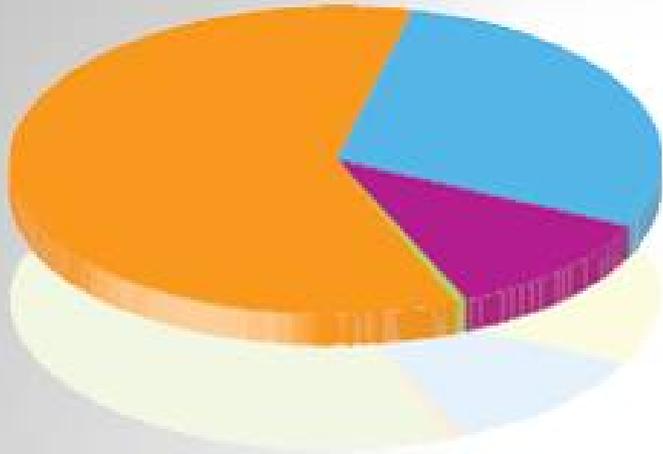


Ils sont **entreposés** dans l'attente de la création d'un centre de stockage adapté

Un Centre de **stockage à faible profondeur** actuellement à l'étude et pour lequel la démarche de recherche de site a été lancée en 2008

Chemise en graphite (UNGG)

# Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)



Industrie électronucléaire	59,9 %
Recherche	28,6 %
Défense	11,2 %
Industrie non électronucléaire	0,3 %

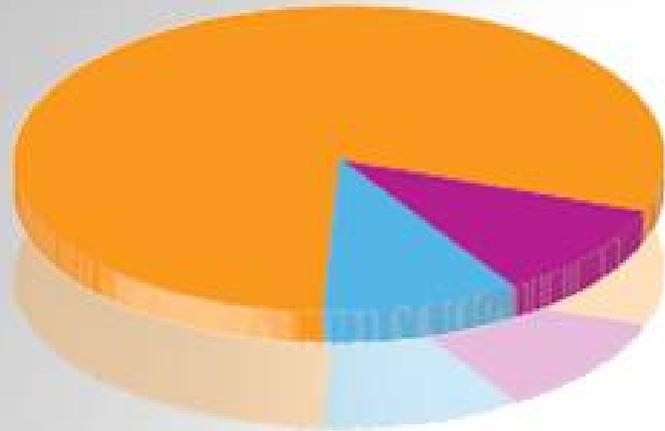
Ils sont constitués essentiellement par :

- » les débris des structures métalliques (coques, embouts, gaines) entourant les barres de combustibles utilisés pour faire fonctionner les réacteurs nucléaires,
- » les boues bitumées issues du traitement des effluents liquides des installations de traitement
- » les déchets technologiques issus du fonctionnement et du démantèlement des installations.

**Ils sont conditionnés dans des fûts métalliques et regroupés dans des conteneurs en béton**



## Les déchets de haute activité (HA-VL)



Industrie électronucléaire	80,1 %
Défense	10,3 %
Recherche	9,6 %

Essentiellement dus aux résidus hautement radioactifs issus du traitement des combustibles usés des centrales nucléaires.



Colis de déchets vitrifiés

## Ordres de grandeur des volumes

Catégorie de déchets	Volume	Pourcentage du volume total	Pourcentage de la radioactivité
TFA	231 688 m <sup>3</sup>	20,1 %	~ 0
FMA-VC	792 695 m <sup>3</sup>	69 %	0,03 %
FA-VL	82 536 m <sup>3</sup>	7,2 %	0,01 %
MA-VL	41 757 m <sup>3</sup>	3,6 %	3,87 %
HA-VL	2 293 m <sup>3</sup>	0,2 %	96 %

Type de Déchets	Activité
HAVL	milliards de Bq/g
MAVL	millions de Bq/g
FMA-VC	quelques 100 000 Bq/g
Graphites	100 000 Bq/g
Radifères	10 à 8000 Bq/g
TFA	10 Bq/g

# Réduction de volume :

## Le compactage permet un gain de volume important

Avant la mise en place du  
procédé de compactage



*Coupe d'un colis de déchets solides bloqués  
dans une matrice de ciment*

Réduction du volume  
d'un facteur 4



Avec le compactage des  
déchets



*Vue en coupe d'un CSD-C*

# Sûreté

## Le conditionnement des déchets

Selon la catégorie à laquelle ils appartiennent, les déchets vont être conditionnés différemment.

Un déchet conditionné est appelé **colis**.

Quel que soit le type de déchet, le colis est composé de 3 éléments:

- Le **déchet** lui-même
- Le **matériau de confinement (matrice)** ou enrobage qui stabilise et rend inerte le déchet
- Le **conteneur** ou l'emballage (fût, caisson métallique ou béton)

En volume, un colis est composé de 15 % de déchets et de 85 % d'enrobage et d'emballage.



## La sûreté: Le stockage

**Le stockage** consiste à mettre les colis de déchets radioactifs dans des installations appropriées sans intention de les retirer.

En France, ce mode de gestion définitif a été adopté il y a déjà plusieurs dizaines d'années par la mise en place, à l'échelle industrielle, de centres de stockage en surface pour les déchets faiblement ou moyennement radioactifs à vie courte, soit près de 90 % des déchets radioactifs.

Il s'agit des **centres de stockage de la Manche et de l'Aube** gérés par l'ANDRA.

Depuis 2003, il faut y ajouter les déchets très faiblement radioactifs qui sont, eux aussi, stockés en surface dans un centre dédié à **Morvilliers (Aube)**.

<i>Période radioactive</i>	<i>Très courte (&lt;100 jours)</i>	<i>Courte (<math>\leq 31</math> ans)</i>	<i>Longue (&gt; 31 ans)</i>
<b>Très Faible Activité</b> <i>0 à 100 Bq/g</i>	<i>Gestion par décroissance radioactive</i>	<i>Stockage dédié en surface (CSTFA) Filières de recyclage</i>	
<b>Faible Activité</b> <i>100 à 100 000 Bq/g</i>		<i>Stockages de surface CSFMA sauf certains déchets tritiés et certaines sources scellées</i>	<i>Filière à l'étude dans le cadre de l'article 4 de la loi de programme du 28 juin 2006 (stockage en subsurface)</i>
<b>Moyenne Activité</b> <i>100 000 à 100 000 000 Bq/g</i>			<i>Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs</i>
<b>Haute Activité</b> <i>~ 10 000 000 000 Bq/g</i>		<i>Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets Radioactifs</i>	

## Le stockage des TFA et des FMA: stockage de surface

Stockage des FMA au centre de l'Aube (Soulaines)

Stockage des TFA au centre de Morvilliers



1. **Centre de la Manche** exploité par l'ANDRA, fut le premier centre de stockage des déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte en France (1969). Ayant atteint la limite de ses capacités en 1994, c'est le centre de l'**Aube (Soulaines)** qui a, depuis, pris le relais.

Pendant 300 ans: Contrôle des eaux de ruissèlement, de l'air, ...



**2. Le centre de stockage des FMA de l'Aube (Soulaines d'Huys) est en exploitation depuis janvier 1992.**

Il sera exploité pendant environ 60 ans puis surveillé pendant environ 300 ans.

Sa capacité d'accueil: 1 millions m<sup>3</sup>



*Les déchets : gants, chiffons, outils...*

*Un enrobage pour stabiliser et rendre les déchets inertes : mortier, résine ou bitume*



*Bétonnage de colis à emballages périssables*

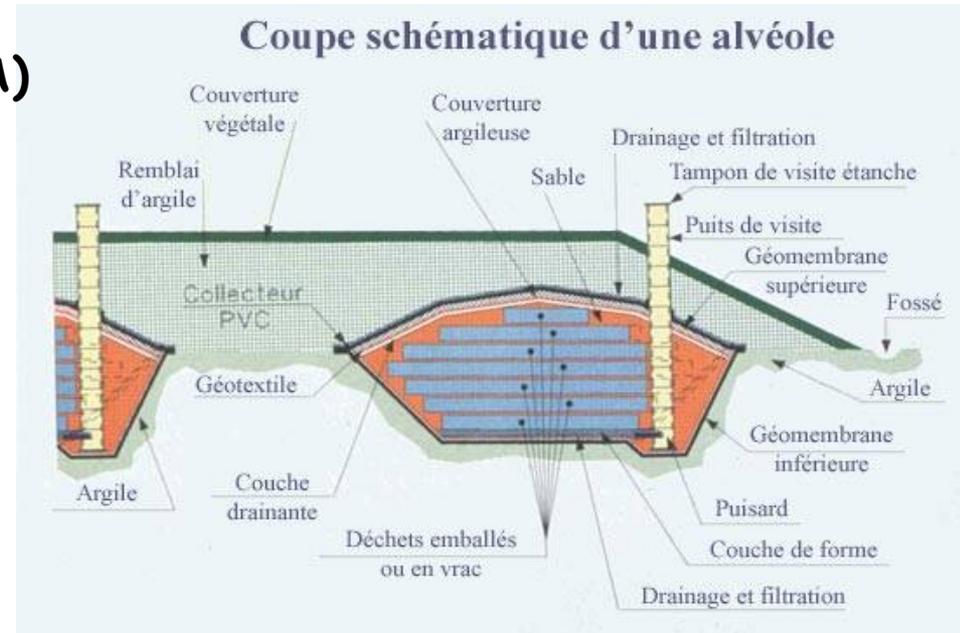


*Gravillonnage de colis à emballage durable*



**3. Le Centre de stockage TFA (CSTFA)** accueille depuis l'été 2003 les déchets dits "de très faible activité". Il couvre une superficie de 45 hectares, située sur la commune de Morvilliers.

Capacité d'accueil: 650000 m<sup>3</sup>



# CSTFA de Morvilliers



Creusement des alvéoles de stockage

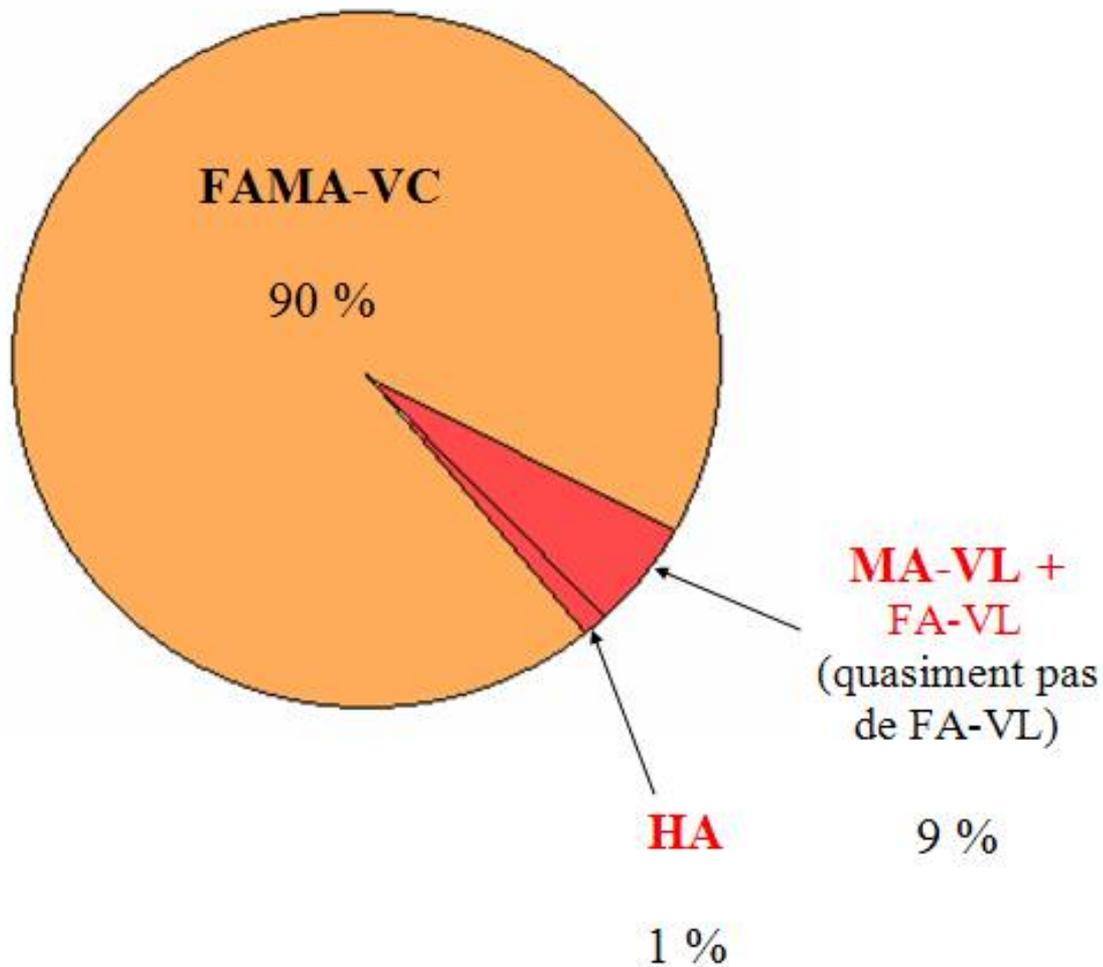


Recouvrement de terre



Emplacement de la couverture imperméable

## Proportion de chaque type de déchet



Les 10 % restants: les déchets moyennement et hautement radioactifs à vie longue.

→ **STOCKAGE EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE**

Ils sont aujourd'hui gérés industriellement par **entreposage** en surface, pour plusieurs décennies.



Actuellement les déchets HAVL sont entreposés à la Hague dans l'attente du stockage

Émise en 1991 par l'Autorité de sûreté nucléaire, la règle fondamentale de sûreté énonce **les critères** que doit respecter un site de stockage en profondeur :

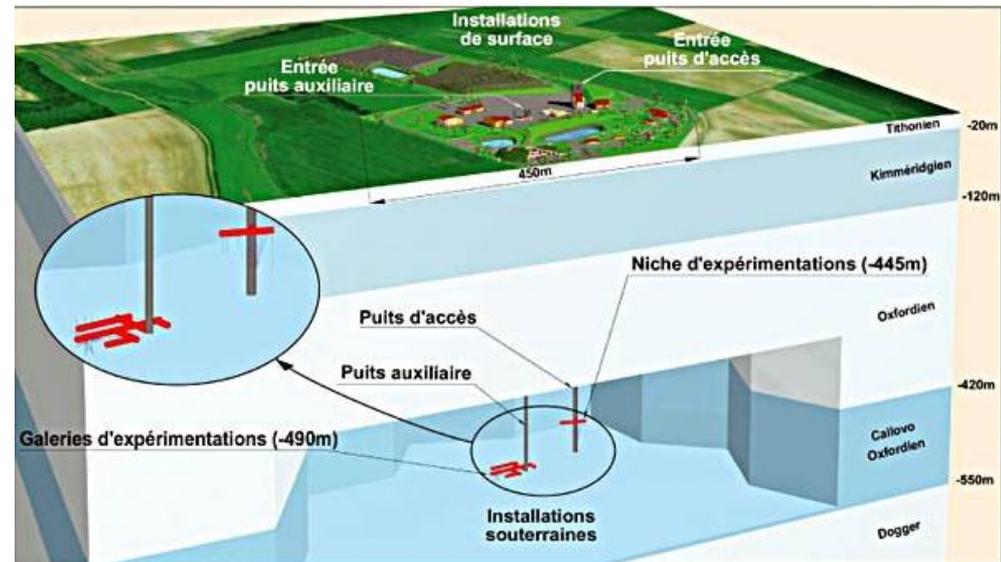
- ' - Absence de risque sismique à long terme,
- ' - Absence de circulation importante d'eau dans le stockage,
- ' - Roche permettant le creusement des installations,
- ' - Propriétés de confinement vis-à-vis des substances radioactives,
- ' - Profondeur suffisante pour mettre les déchets à l'abri des agressions diverses,
- ' - Absence de ressources exceptionnelles exploitables à proximité.

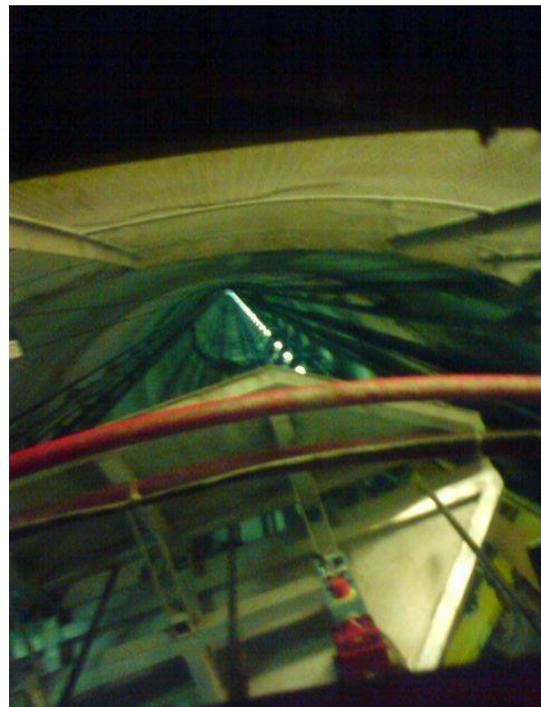
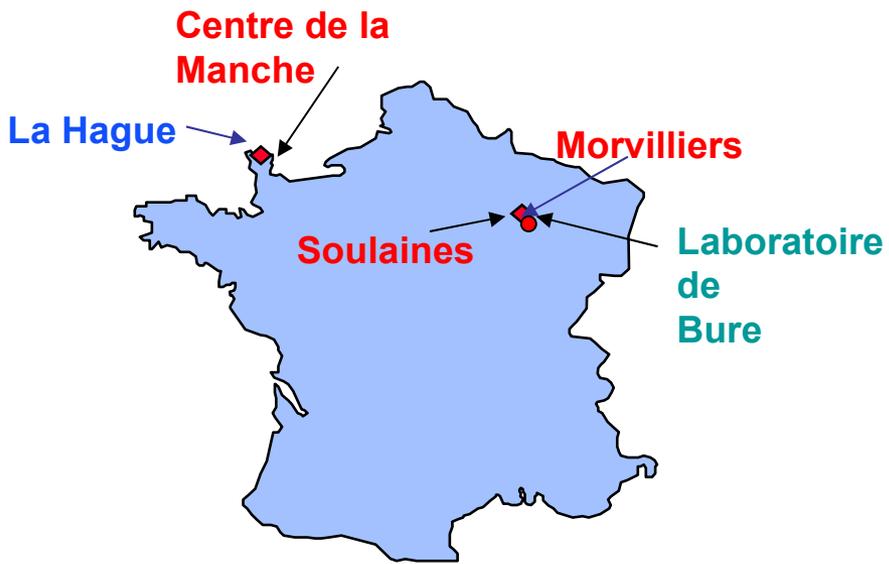
# Le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne



A la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, le gouvernement a autorisé l'ANDRA, par décret du 3 août 1999, la construction d'un laboratoire de recherche scientifique à 500 mètres de profondeur, dans une couche argileuse âgée de 150 millions d'années (Bure).

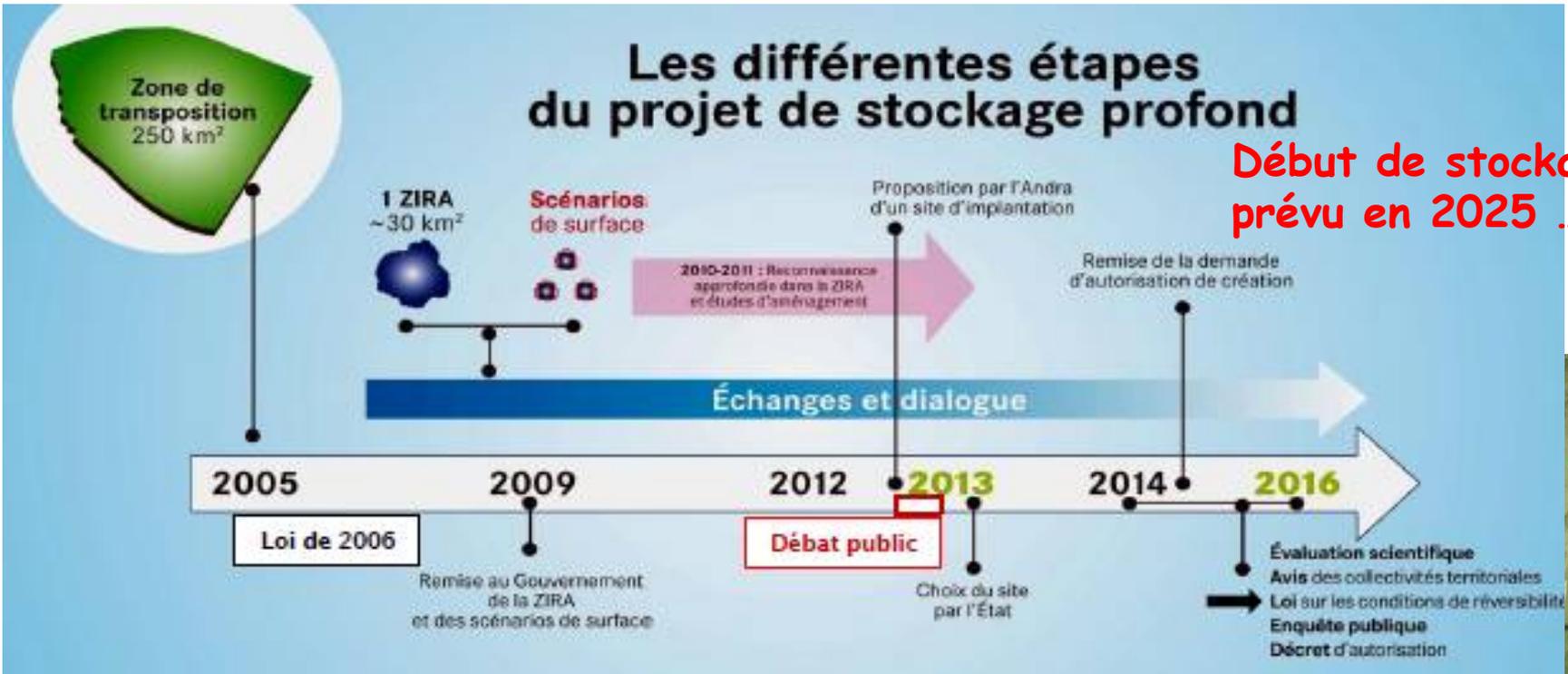
Roche argileuse stable et homogène, située entre 420 et 550 mètres de profondeur :  
Argilite du Callovo-Oxfordien.



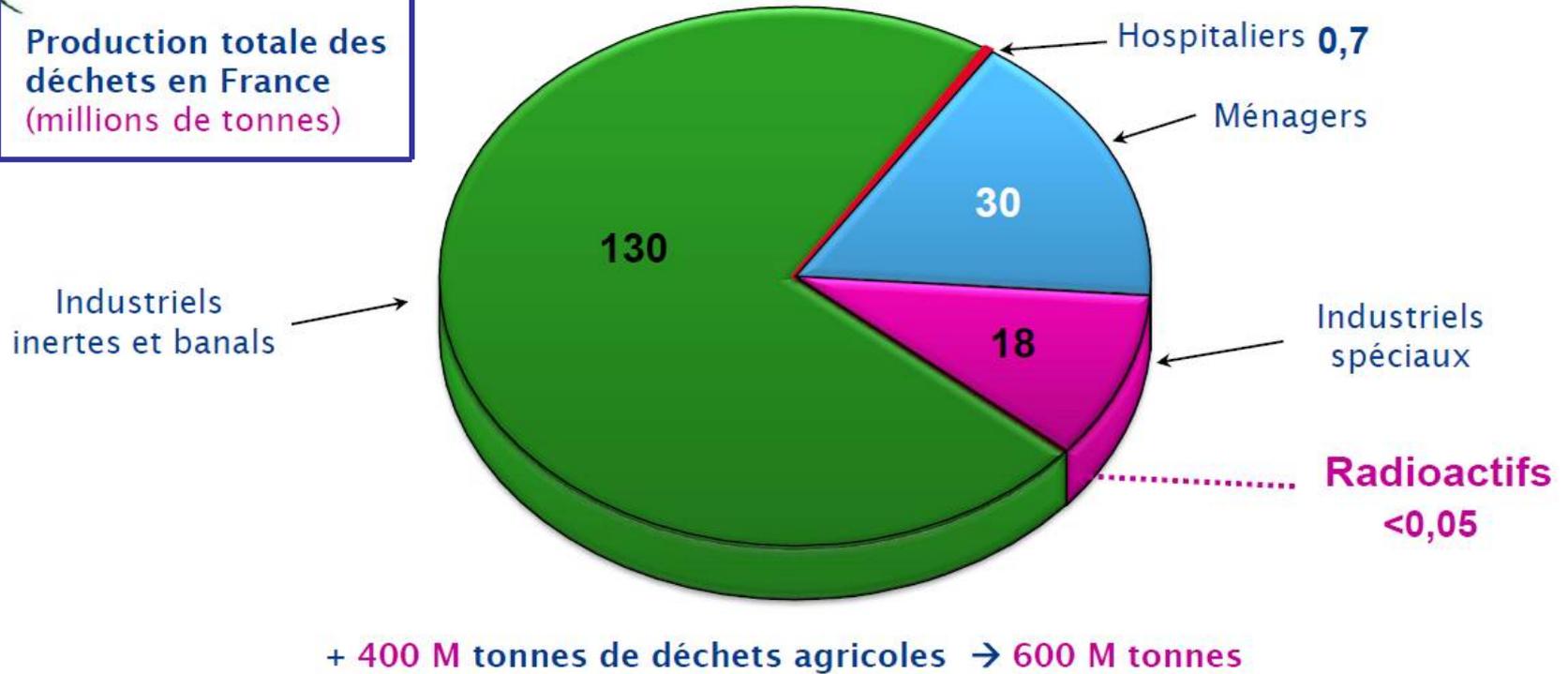


# Les différentes étapes du projet de stockage profond

Début de stockage prévu en 2025 ...



Production totale des déchets en France  
(millions de tonnes)



### Déchets produits en un an par habitant :

- » 2500 kg de déchets industriels, dont 100 kg de déchets chimiques et toxiques,
- » 450 kg de déchets ménagers
- » 2kg de déchets radioactifs, dont 5 g de déchets radioactifs à haute activité

# Principes généraux de la sûreté nucléaire

La sûreté n'est pas une notion absolue, figée, définitive  
Elle évolue en fonction de l'approfondissement des connaissances

- des installations et de leur mode de défaillance
- expérience des exploitations
- des REX des accidents graves

Les risques liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire sont connus depuis l'origine,  
mais la sûreté est une démarche de progrès qui évolue et s'approfondit au cours du temps

Trois grands accidents de réacteurs ont marqué l'histoire :

- Three Mile Island USA (1979 )
- Tchernobyl (1986 )
- Fukushima (2011)

*Comprendre ces accidents et beaucoup d'incidents mineurs*

 *Comprendre comment les éviter.*

## Dans une centrale nucléaire :

**Au niveau de la conception:** Notion importante des 3 barrières:

- Gaine
- Circuit primaire
- enceinte de confinement

**Au niveau de l'exploitation**

- Maintenance (rechargement de combustible)
- Visite partielle
- Visite décennale
- Contrôles internes et externes (ASN)
- Campagne de prévention et de communication (tous les 2 ans avec les communes aux alentours)

**Protection des personnes**

Catégories A (20 mSv), B, grand public  
Dosimètres (passifs et opérationnels)

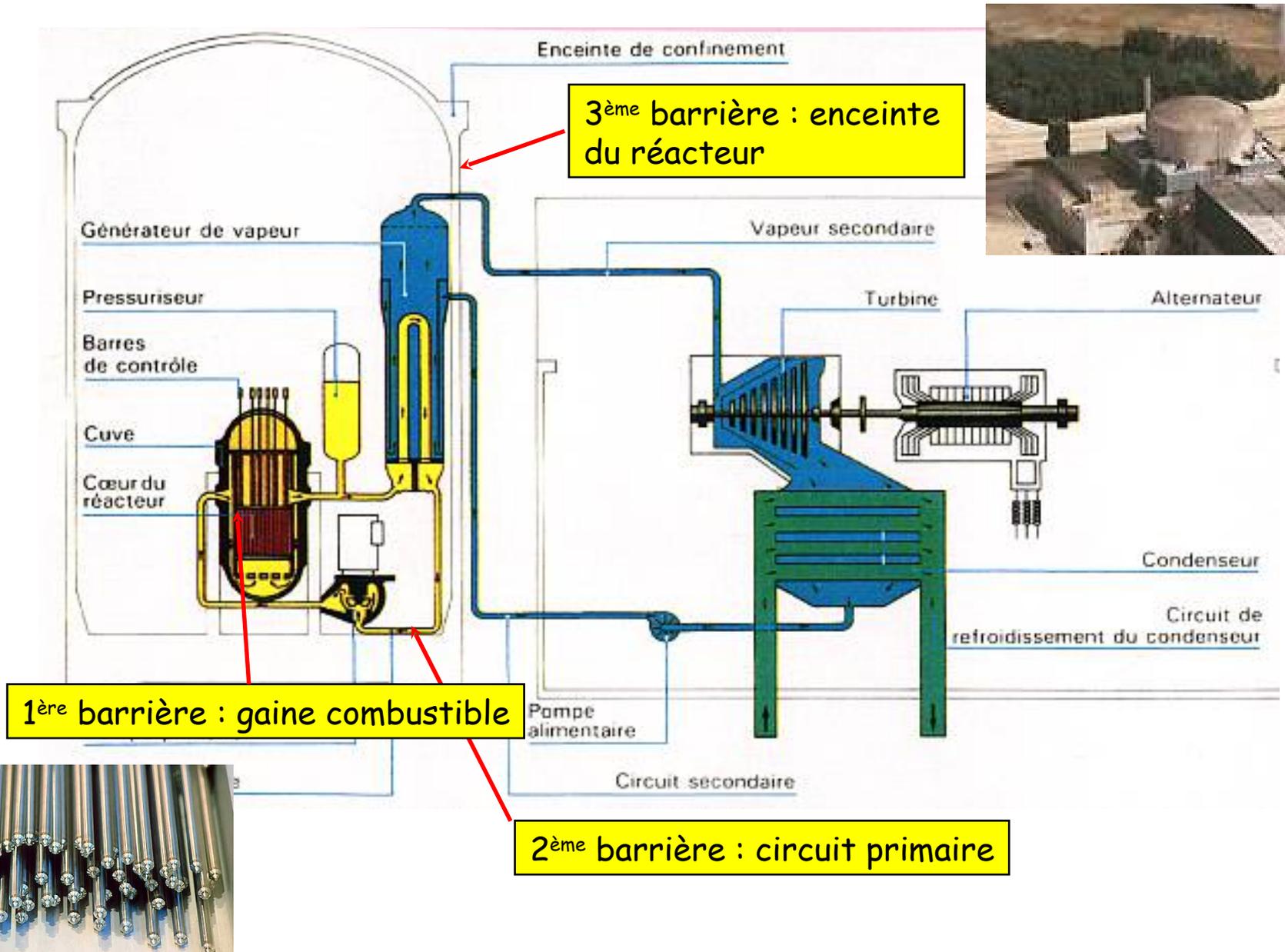
**Contrôle de l'environnement**

- enjeu de société incontournable,
- nouvelle réglementation de plus en plus contraignantes (rejets radioactifs, chimiques, thermiques, bruit...).

**L'ASN** assure, au nom de l'État, le **contrôle** de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire. Elle contribue à l'information des citoyens

**L'IRSN** est l'**expert** public en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques.

# Barrières de confinement pour limiter les risques environnementaux





Dose moyenne **naturelle** reçue en France par un individu: **2,4 mSv/ an + 1,5 mSv/an**

La limite réglementaire de dose d'exposition est de:

**1 mSv/an** par individu pour le public.

**20 mSv/an** pour les travailleurs du nucléaire,

**100 mSv/an** pour des interventions techniques d'urgence

**300 mSv/an** pour une intervention de secours à victimes.



**A Fukushima**, une exposition de **250 mSv** a été autorisée pour les interventions en cours.

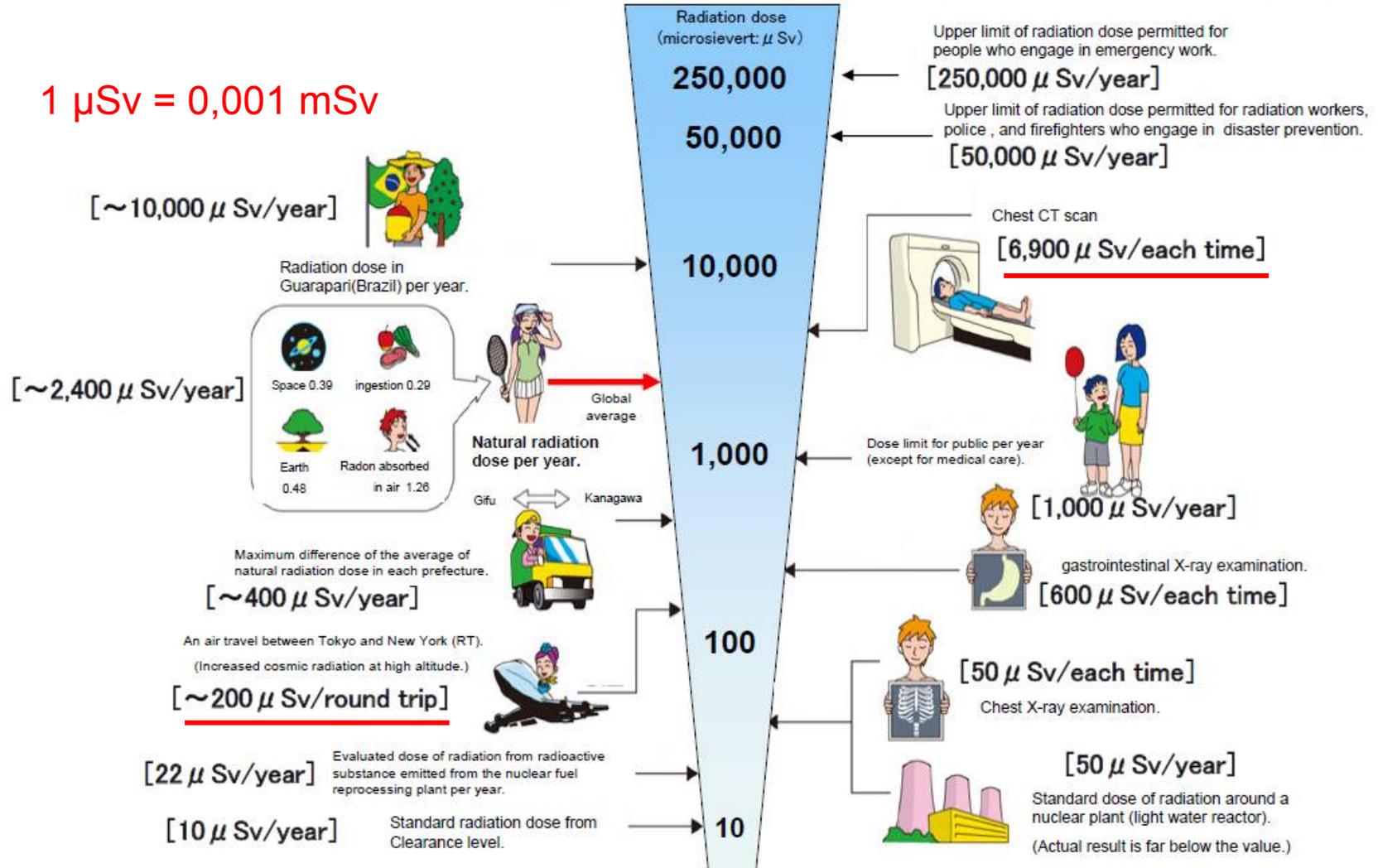
L'exposition aux radionucléides **d'origine naturelle** peut varier de plus d'un ordre de grandeur selon les régions du monde : de 2,4 mSv/an en moyenne en France à plus de 50 mSv/an dans certaines parties de l'Inde ou du Brésil.

# Quelques doses dans la vie quotidienne

## Radiation in Daily-life

※Unit :  $\mu\text{Sv}$

1  $\mu\text{Sv}$  = 0,001 mSv



# Les Effets de l'exposition à la radioactivité sur l'organisme varient en fonction :

## \* De la dose de radioactivité de la durée d'exposition :

Doses fortes  **effets immédiats dits déterministes** : ils apparaissent **automatiquement** au-delà d'un certain seuil d'exposition (brûlures, nausées...).

Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme. La probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose.

 **effets à long terme dits aléatoires ou stochastiques** : ils ne sont pas automatiques.

## \* Du type d'exposition.

Toute exposition excessive  modification, destruction de l'ADN des cellules  
une **irradiation externe localisée**  brûlures cutanées  
une **irradiation externe à très forte dose** de tout l'organisme, même brève, peut être mortelle car elle détruit un grand nombre de cellules

une **contamination interne**

- mortelle si elle touche des organes vitaux (cœur, foie, poumon, système nerveux central)
- **cancérigène** (si l'ADN n'a pu être réparé par l'organisme)

## 2 types de risques liés à la radioactivité: Contamination interne et irradiation externe

en cas d'inhalation ou d'ingestion de substances radioactives, issues de déchets, qui se retrouveraient dans l'air ou les aliments.

en cas de proximité avec les rayonnements émis par les substances contenues dans les déchets.

### Pour se protéger des rayonnements:

- s'éloigner de la source radioactive
- diminuer le temps d'exposition
- mettre des écrans

### \* Du type de radionucléide

Seuls les radionucléides les plus solubles (tritium, l'iode ou le carbone...) passent dans le sang après avoir été avalés ou inhalés.

Soit répartition homogène dans l'ensemble de l'organisme (tritium, césium).

Soit concentration dans un ou plusieurs **organes de rétention** (organes cibles).

**Exemple** : Le radium se fixe plutôt sur le squelette, alors que l'iode se fixe sur la glande thyroïde.

### \* De la radiosensibilité de chacun.

De même que nous ne réagissons pas tous identiquement face à la pollution atmosphérique, nous n'avons pas tous la même sensibilité devant une exposition à la radioactivité.

La notion de **culture de la sûreté**  **évaluer les risques**  
**est issue du secteur nucléaire.**

Elle a ensuite été adoptée par toutes les industries technologiques à risques.

Jusqu'à l'accident de Three Mile Island (1979),  
« les questions d'ingénierie » dominant la sûreté nucléaire ;  
le facteur de risque principalement appréhendé est le **facteur technologique**.

**Après l'accident de Three Mile Island**, les aspects humains sont vraiment considérés :  
**le système technique est piloté par des hommes**, ceux-ci doivent pouvoir efficacement  
identifier l'état de ce système.

L'interface homme-machine, particulièrement défailante lors de l'accident de Three  
Mile Island fait l'objet de nombreuses améliorations ; elle devra dorénavant transmettre  
efficacement l'information pertinente aux opérateurs.

**Après l'accident de Tchernobyl (1986),**

Le **facteur organisationnel** apparaît comme un troisième facteur de risque.  
Le système technique et les hommes qui le pilotent opèrent au sein d'une organisation  
complexe qui comprend, notamment, les autorités, les experts et l'industrie nucléaire.  
Cette organisation détermine l'attitude des acteurs directs et donc la sûreté des  
opérations.

**Après Fukushima (2011) ...**

## Remerciements

Stefan Schumacher et Laurence Petit (ANDRA)  
Nelly Toulhoat (IPNL)

## Sites de références

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

<http://www.andra.fr/>

<http://www.cea.fr/>

<http://www.irsn.fr>

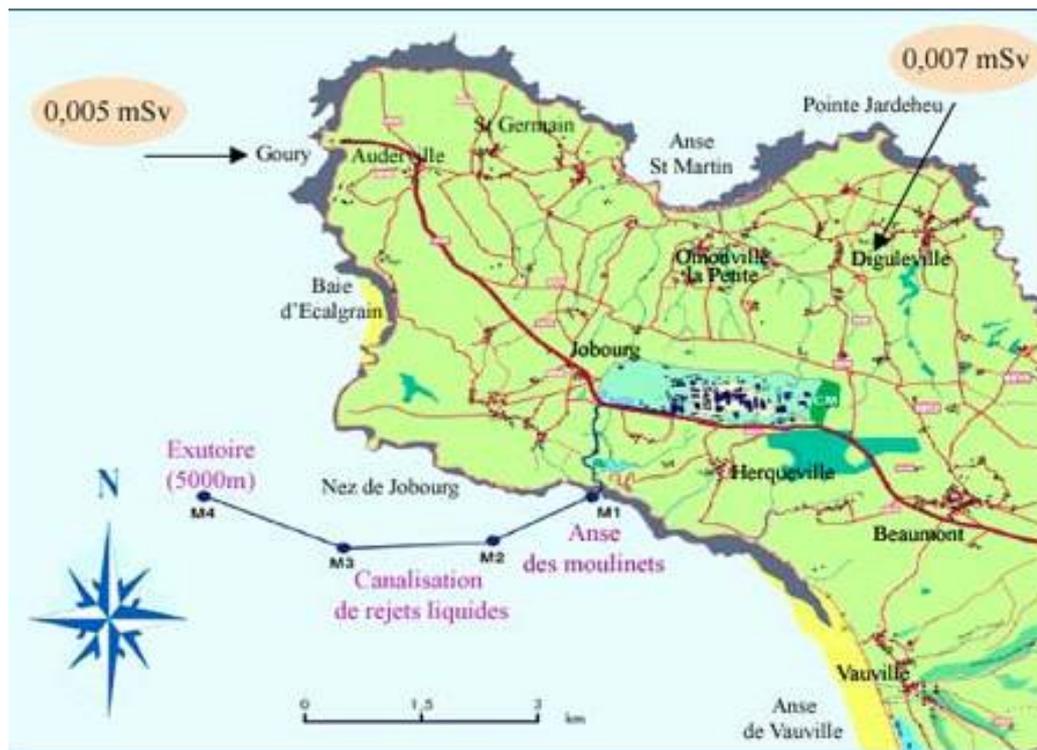
Les clefs du CEA, n° 53 (déchets radioactifs)



au delà de 10 Sv	très fortes doses
2 Sv à 10 Sv	fortes doses
200 mSv à 2000 mSv (2 Sv)	doses moyennes
20 à 200 mSv	faibles doses
0 à 20 mSv	très faibles doses

© OMIRIS 2004

Le comité scientifique sur l'effet des radiations de l'ONU



Rejets en mer à la Hague (principalement T,  $^{85}\text{Kr}$ )