

Que faire des **déchets** radioactifs ?

Conférence du professeur Jacques FOOS



Professeur Jacques FOOS

lundi 3 juillet 2006



Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

« *Tout matériau qui contient ou est contaminé par des **radioéléments** à des concentrations ou niveaux **d'activité** supérieurs aux valeurs définies par les autorités compétentes de réglementation et pour lequel aucune utilisation n'est prévue* »

Agence Internationale de l'Énergie Atomique

Nota : il n'y a pas de seuil défini par les Autorités en France : les déchets radioactifs sont classés en fonction de leur niveau **d'activité massique et de la **période** des **radionucléides** qu'ils renferment.**



La radioactivité

La radioactivité est une propriété physique, naturelle, qui permet aux noyaux de certains atomes, instables, de revenir vers la stabilité en émettant vers le milieu extérieur des rayonnements.

On les appelle des radioéléments ou radionucléides.
Émettant des rayonnements, ils sont *radioactifs*.



Historique : une découverte française

Phénomène découvert par Henri
Becquerel sur des minerais
d'uranium en **1896**

Les premiers radioéléments ont
été isolés par Pierre et Marie
Curie en **1898**

La radioactivité artificielle a
été découverte par Frédéric et
Irène Joliot-Curie en **1934**



Activité

Un noyau instable modifie sa structure pour revenir vers la stabilité. Il se transforme ainsi en un autre noyau, stable ou moins instable : on dit qu'il se désintègre.

L'**activité** d'un radioélément traduit donc sa vitesse de désintégration (nombre de désintégrations par seconde).

Son unité est le **becquerel**

1 becquerel (Bq) = 1 désintégration par seconde

Ancienne unité : le **curie (Ci)** $1\text{Ci} = 37$ milliards de Bq

Activité massique : activité par unité de masse **Bq/kg**

Ou par unité de volume pour les liquides **Bq/L** L : litre



Période

Combien de temps faut-il à un radioélément, instable, pour revenir vers la stabilité ?

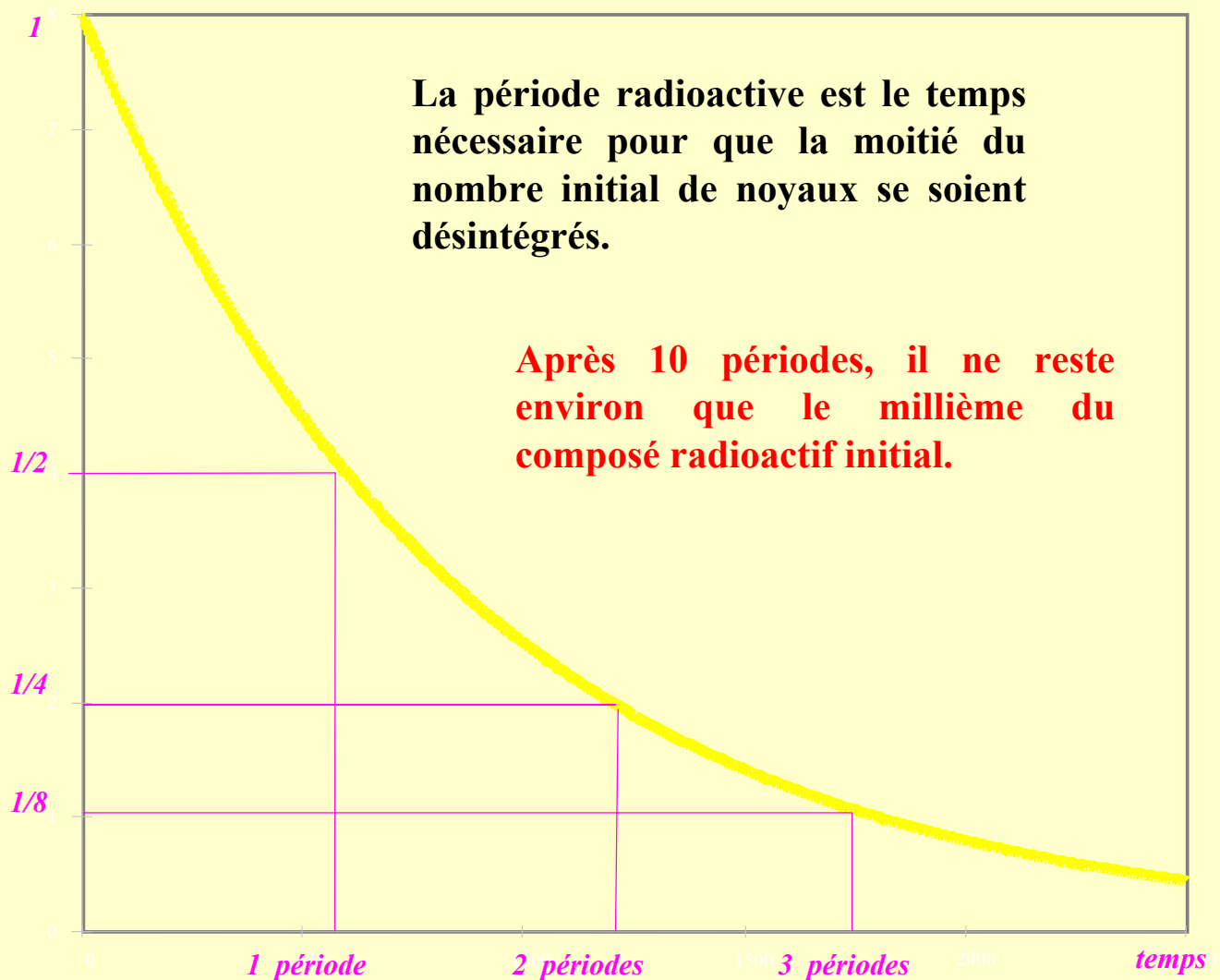
Cette durée est très variable, de quelques millièmes de seconde à des milliards d'années.

Elle est reflétée par la période radioactive (ou période) :

La période d'un radioélément est le temps au bout duquel la moitié de celui-ci a disparu.



La radioactivité est un processus qui décroît avec le temps



La radioactivité naturelle

Les radioéléments naturels ont trois origines

*** Ils sont présents sur la planète depuis la création de celle-ci
(leur durée de vie est donc supérieure à 4,5 milliards d'années)**

→ uranium, thorium, potassium-40 etc.

*** Ils sont les descendants de l'uranium et du thorium**

→ radium, radon, polonium ...

*** Ils sont produits par les rayons cosmiques et tombent sur la
planète, entraînés par les eaux de pluie**

→ carbone-14, tritium

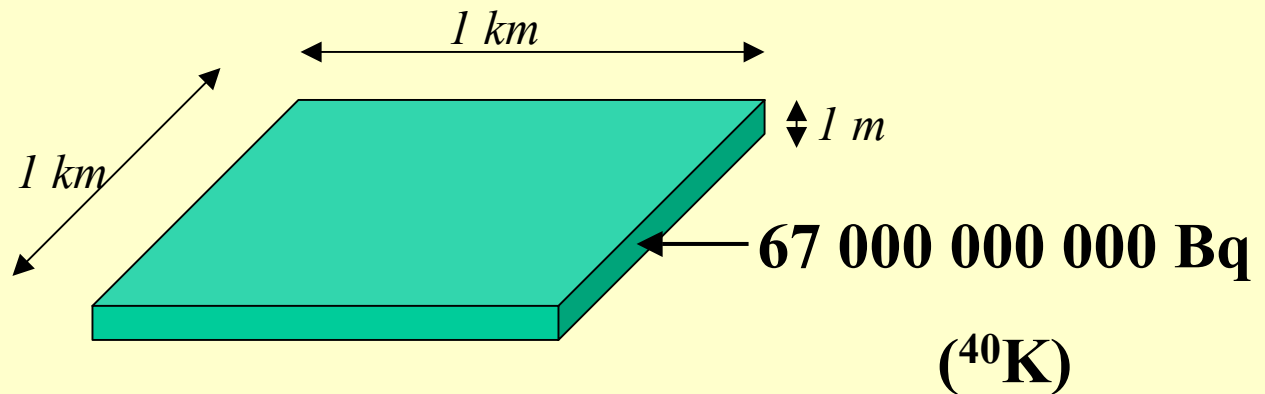


Quelques valeurs

1 gramme d'oxyde d'uranium : **22 000 Bq**

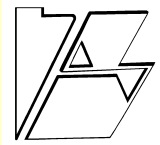
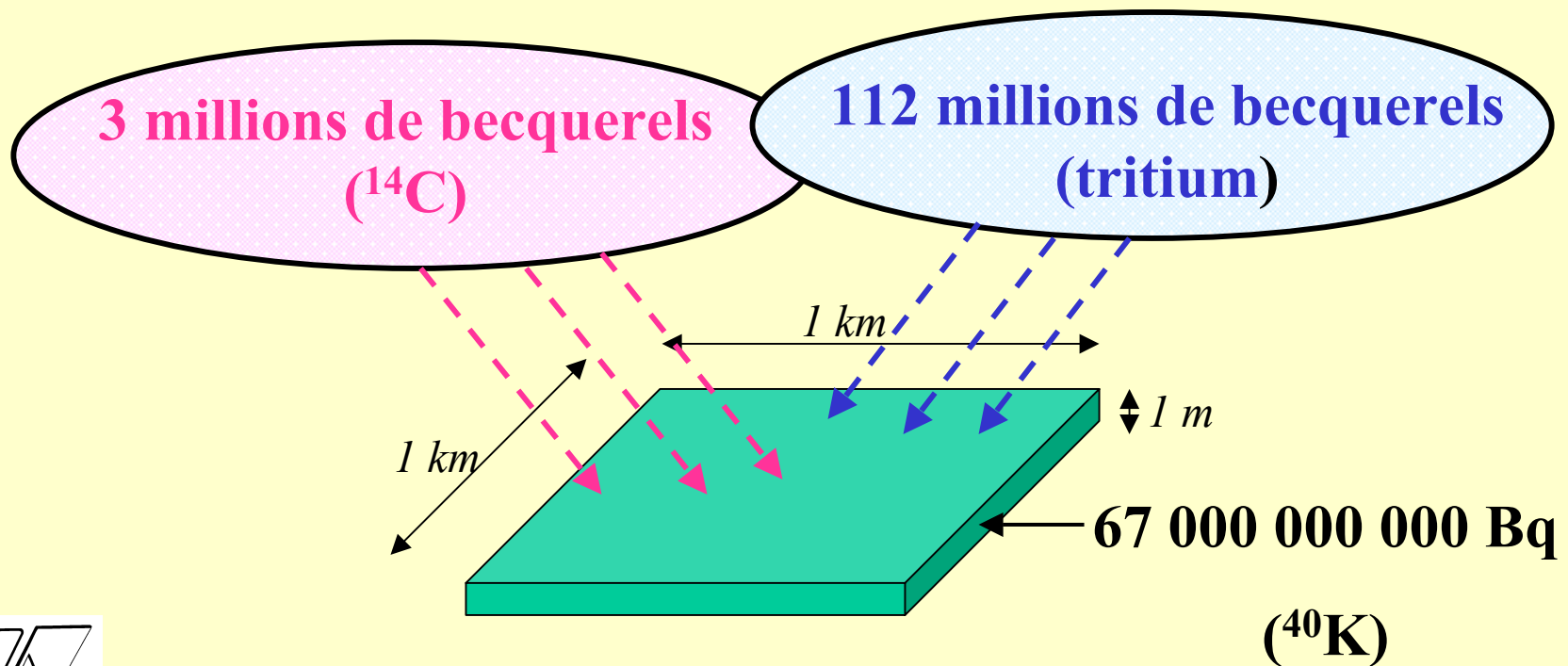
1 km² de la surface de la France, sur 1 m de profondeur

67 milliards de becquerels de potassium-40



Quelques valeurs

Sur ce même km^2 , tombent chaque année du **carbone-14** et du **tritium** dont les activités ont pour valeurs respectives :



Pourquoi des valeurs aussi élevées ?

**En raison du très grand nombre d'atomes (donc de noyaux)
par gramme de matière :**

entre (2 500 et 50 000) milliards de milliards !

50 000 000 000 000 000 000 000



Quelques autres valeurs

Homme : 0,17 Bq/g entre 8 000 et 18 000 Bq

Pomme de terre : 150 Bq/kg

Fruits de mer, poissons : 100 Bq/kg

Eau de mer : 13 Bq/L

Lait : 80 Bq/L

Engrais phosphatés : 4 000 Bq/kg

Béton : 500 Bq/kg

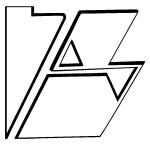
Brique : 800 Bq/kg



Zéro becquerel ?

Dans la nature, cette valeur n'a aucun sens et est impossible à trouver.

La référence ne peut être que la **radioactivité naturelle**, qui nous entoure ou que nous possédons à l'intérieur de nous-même.



Trois principaux types de rayonnements :

α β γ

Les **rayons α** ont un pouvoir de pénétration très faible : ils sont arrêtés par une feuille de papier ou par les couches superficielles de la peau.

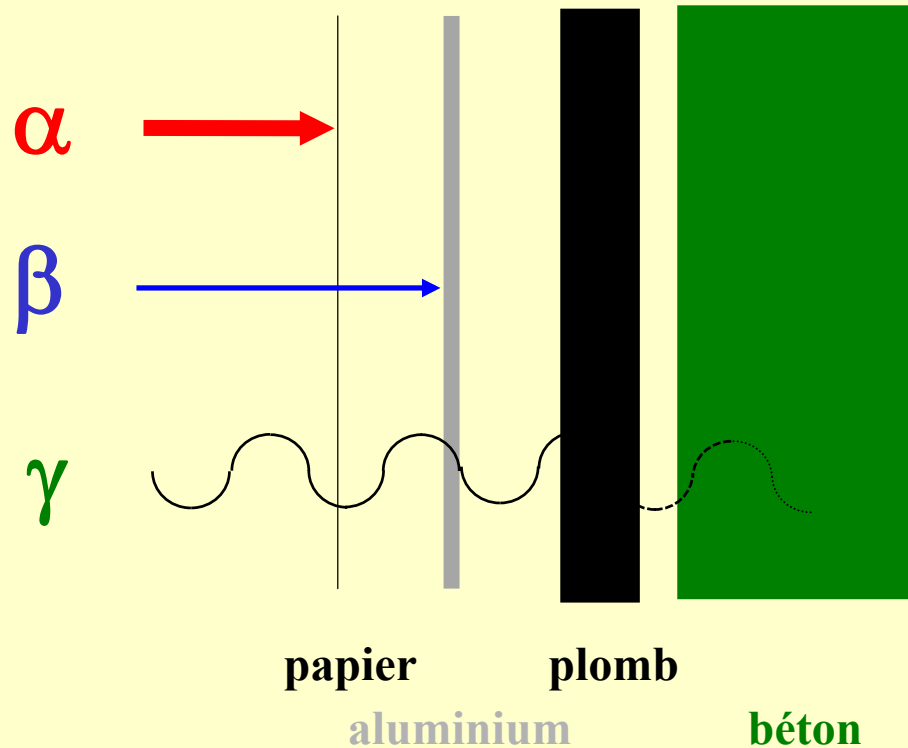
Les **rayons β** ont un pouvoir de pénétration un peu plus important, mais une feuille d'aluminium les arrête.

Les **rayons γ** ne sont pas des particules et sont donc très pénétrants. *Il faut une épaisseur importante de béton ou de plomb pour atténuer leur flux afin qu'il ne constituent plus un danger pour l'homme.*



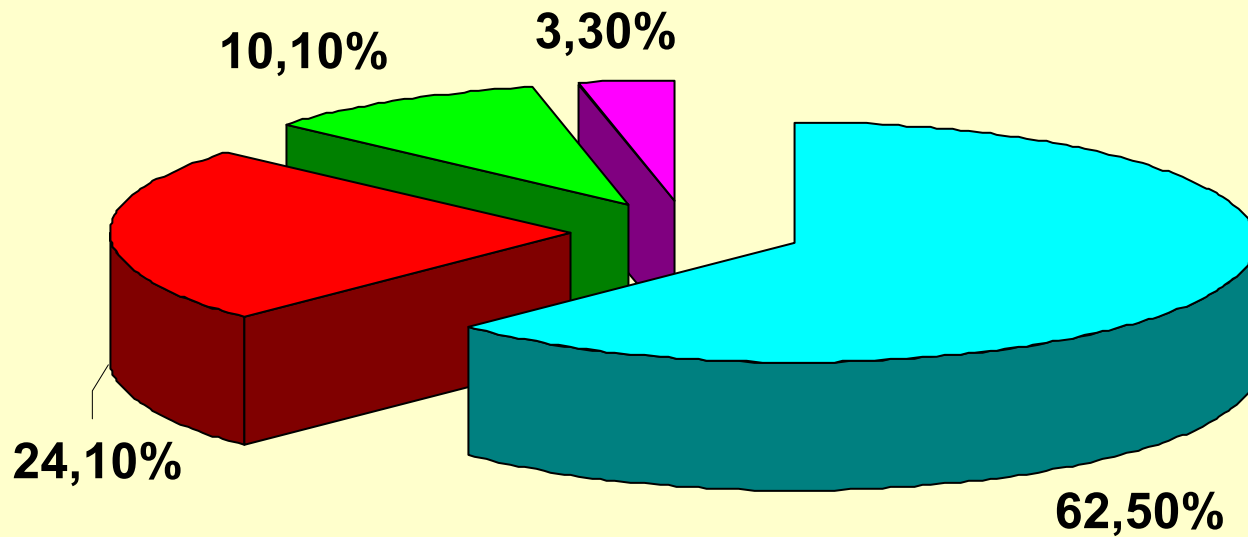
Trois principaux types de rayonnements :

α β γ



Origine des déchets radioactifs

- * Industrie électronucléaire
- * Recherche
- * Défense
- * Industrie non électronucléaire



Production annuelle de déchets

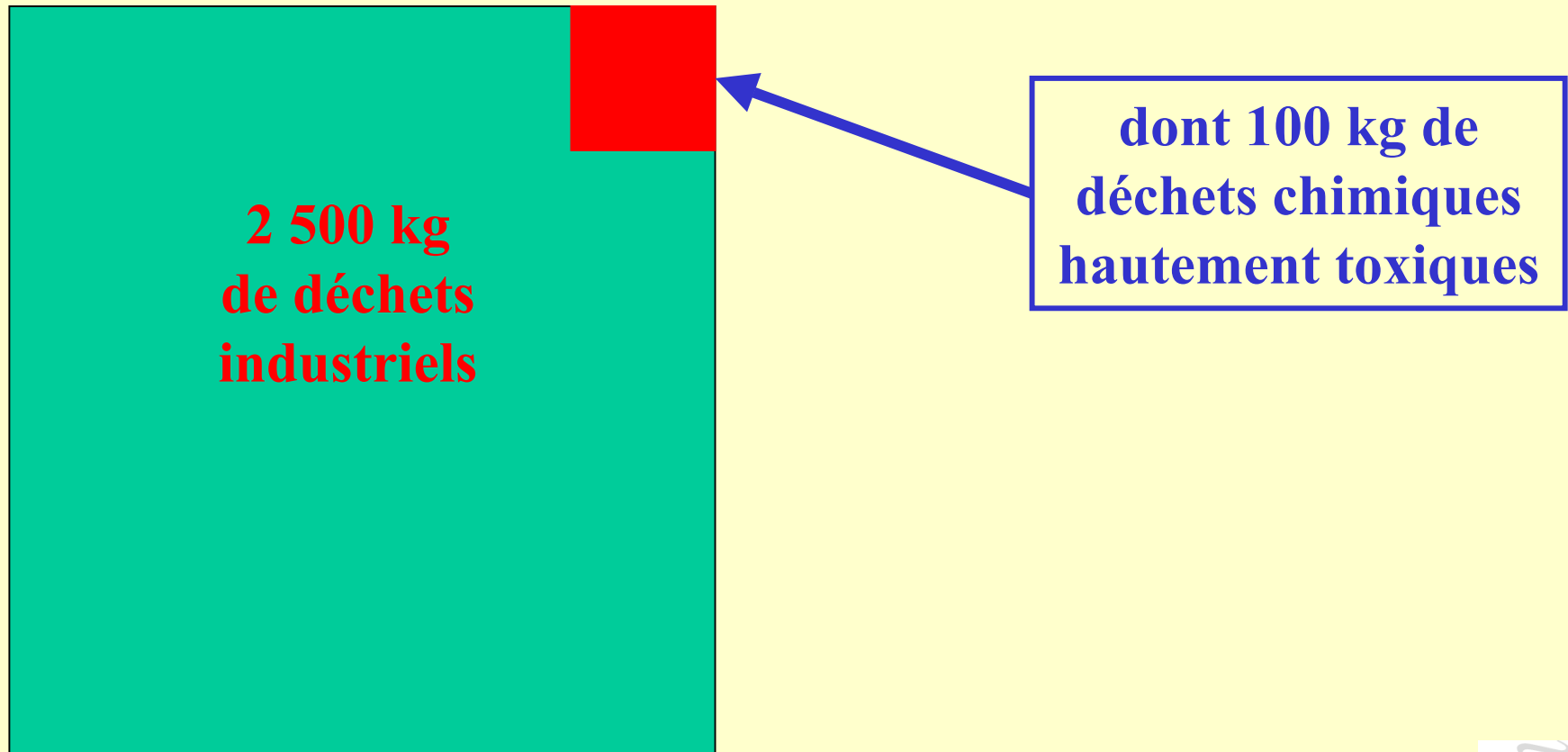
En France, par habitant :

**2 500 kg
de déchets
industriels**



Production annuelle de déchets

En France, par habitant :



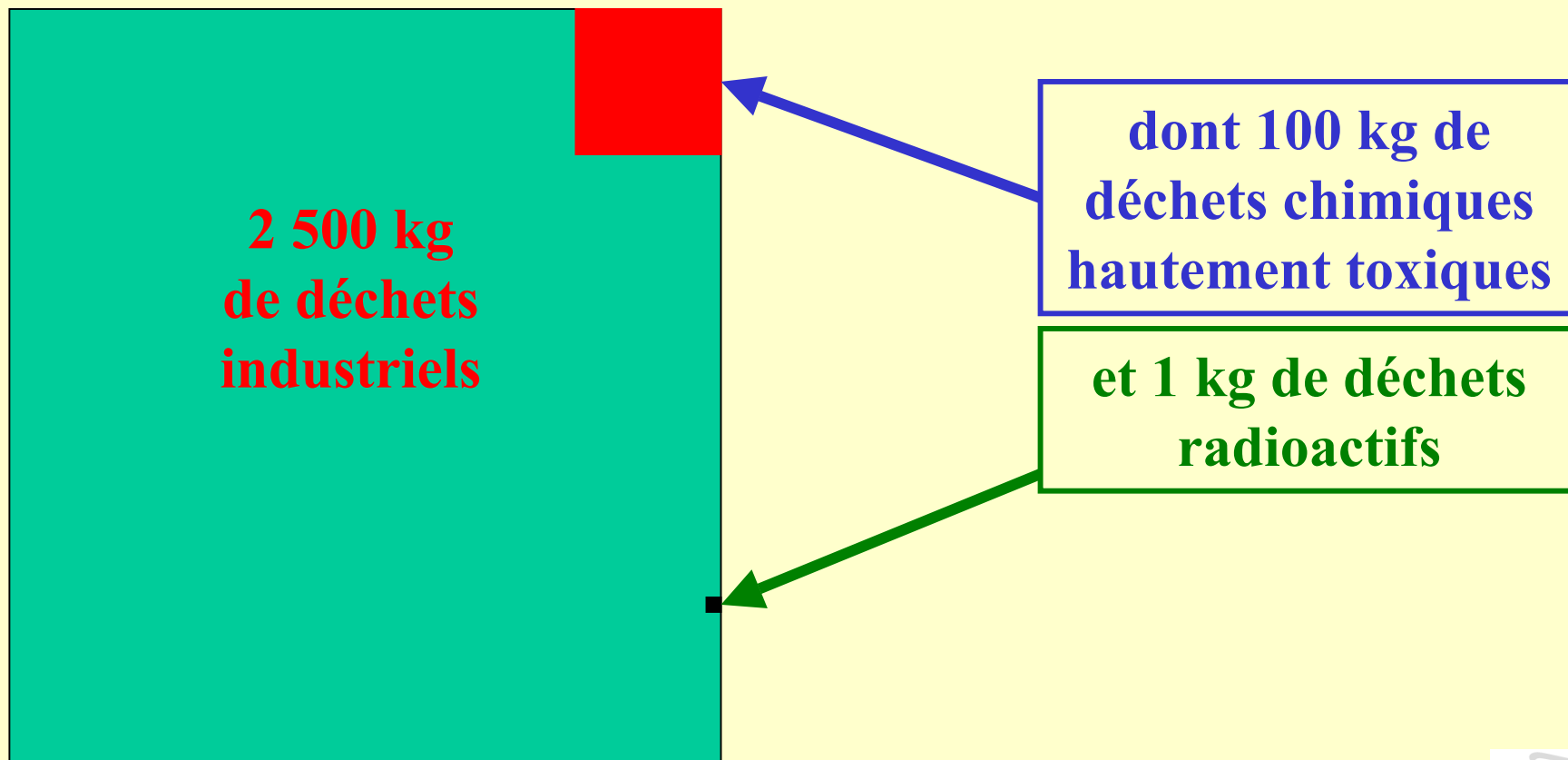
**2 500 kg
de déchets
industriels**

**dont 100 kg de
déchets chimiques
hautement toxiques**



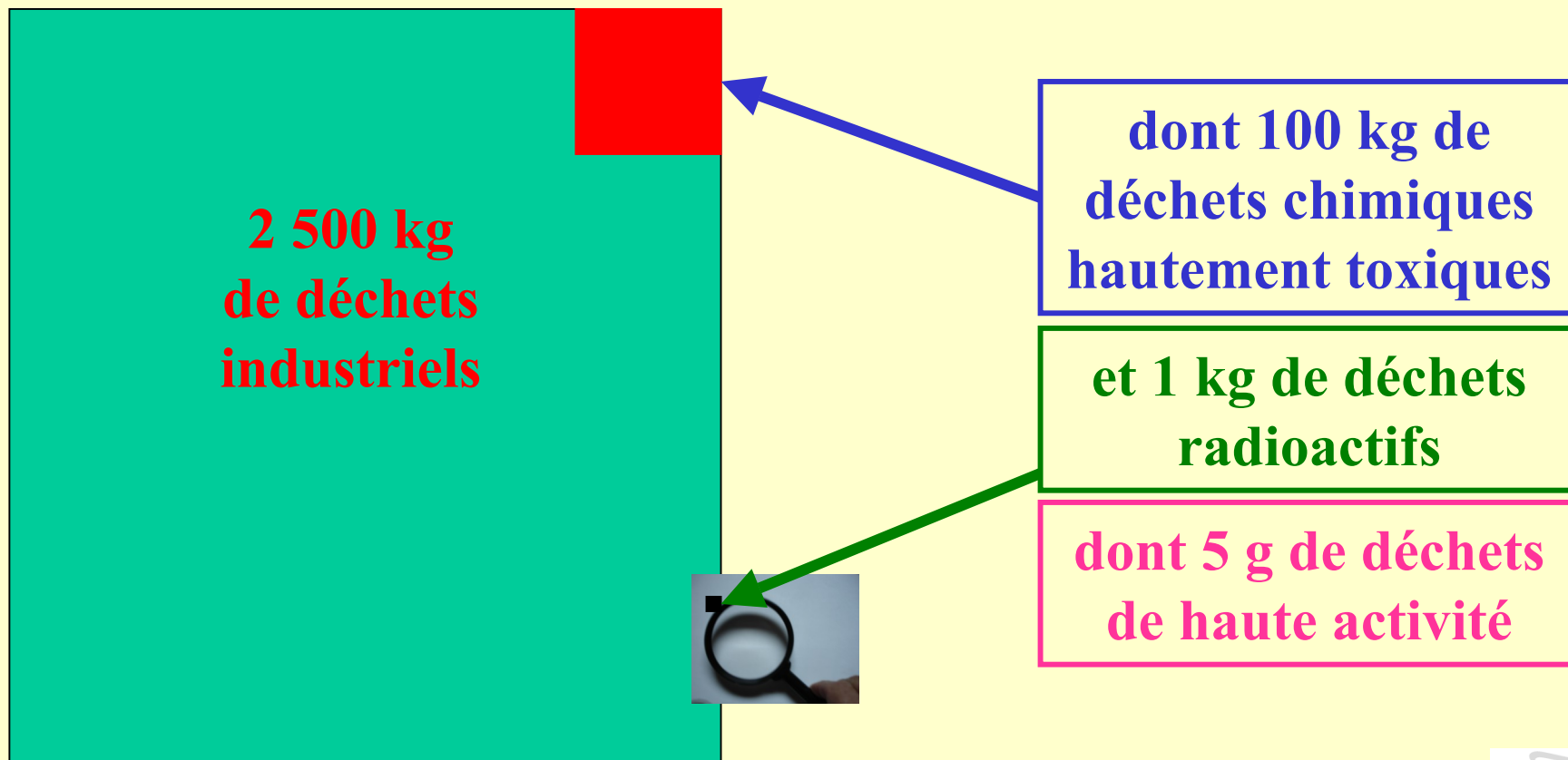
Production annuelle de déchets

En France, par habitant :



Production annuelle de déchets

En France, par habitant :



Les quantités de déchets radioactifs



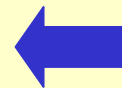
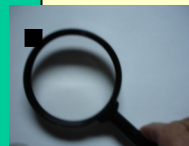
**ne représentent que
0,04% des déchets
industriels**



Les quantités de déchets **hautement radioactifs**



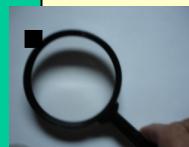
ne représentent que
0,0002% des déchets
industriels



Les quantités de déchets **hautement radioactifs**

ou **0,005%** des déchets
hautement toxiques

ne représentent que
0,0002% des déchets
industriels



Classement des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont classés en fonction de leur **activité** et de leur **durée de vie** (période)

activité	durée de vie
TFA	très faible activité 1 à 100 Bq/g
FA	faible activité 100 à 100 000 Bq/g
MA	moyenne activité 100 000 à 100 millions Bq/g
HA	haute activité 10 milliards Bq/g

VC | VL

VC : Vie Courte
(période inférieure à 30 ans)

VL : Vie Longue
(période supérieure à 30 ans)

Classement des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs sont classés en fonction de leur **activité** et de leur **durée de vie** (période)

		durée de vie	
activité		VC	VL
TFA	très faible activité 1 à 100 Bq/g	Centre de stockage TFA	
FA	faible activité 100 à 100 000 Bq/g	Centre de stockage de l'Aube	Recherche sur des projets de stockage
MA	moyenne activité 100 000 à 100 millions Bq/g		Recherches menées dans
HA	haute activité 10 milliards Bq/g	le cadre défini par les Lois du 30 décembre 1991 et du 15 juin 2006 transcrites dans le Code de l'Environnement	

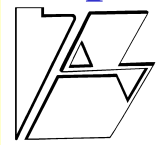
Les déchets TFA : origines

Très Faible Activité

Ils représentent 14% du volume et 0,03% de l'activité comptabilisés dans l'inventaire national (31/12/04)

Ils proviennent :

- * essentiellement du démantèlement des installations nucléaires,
- * de quelques industries (chimie ou métallurgie) dont les procédés de fabrication concentrent la radioactivité naturelle de certains minerais,
- * de l'assainissement et de la réhabilitation de sites anciennement pollués (particuliers ou collectivités territoriales)



Les déchets TFA

- **Déchets inertes : bétons, gravats, terres (60%)**
- **Déchets industriels : charpentes, gaines de ventilation, tuyauteries ...,**



Centre de stockage TFA

Centre de Morvilliers dans l'Aube

Capacité : 650 000 m³



Les déchets TFA

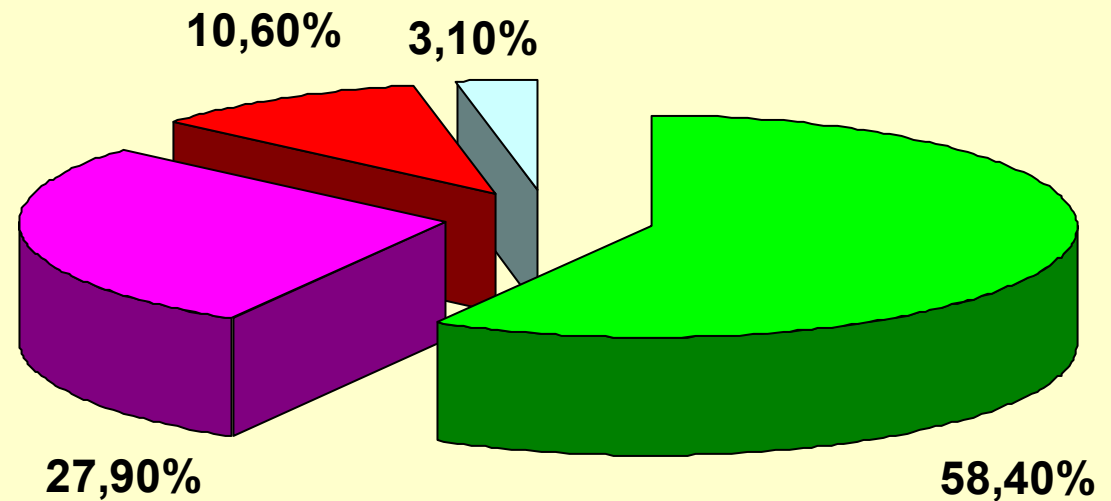
144 498 m³ au 31/12/2004

Industrie non électronucléaire

Électronucléaire

Défense

Recherche



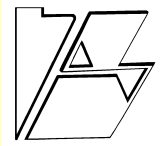
TFA

Stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile

1 alvéole : 25 m de large × 80 m de long × 6,5 m de profondeur

Capacité moyenne 10 000 m³

Durée d'exploitation 6 mois



Les déchets FMA - VC

Faible et Moyenne Activité à Vie Courte

Ils représentent 0,06% de la radioactivité et 76,8% du volume comptabilisés dans l'Inventaire National (31/12/04)

Origine : Déchets solides de **maintenance, exploitation, démantèlement.**

Filtres, résines de
→ traitement de l'eau,
outils, gants



Les déchets FMA - VC

793 726 m³ au 31/12/2004

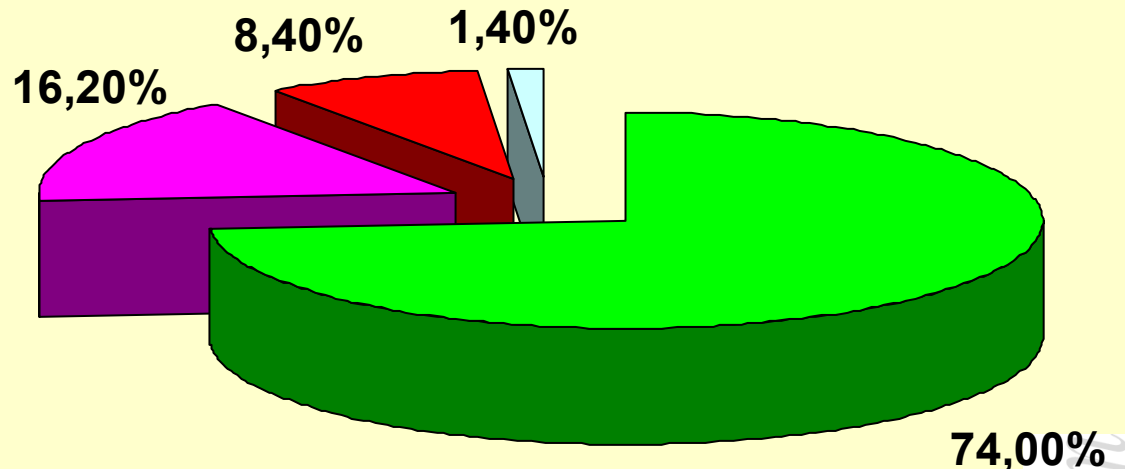
Dont 527 000 m³ au centre de stockage de la Manche

Industrie non nucléaire

Recherche

Défense

Électronucléaire



Les déchets FMA - VC

Faible et Moyenne Activité à Vie Courte

Centre de stockage de Soulaines – Dhuys (Aube)

Capacité : 1 000 000 m³



Les déchets FMA - VC

Faible et Moyenne Activité à Vie Courte

Centre de stockage de la Manche
fermé en 1994 ; volume de stockage : 527 000 m³



Les déchets FA - VL

Faible Activité à Vie Longue

Ils représentent 0,01% de la radioactivité et 4,6% du volume comptabilisés dans l'Inventaire National (31/12/04)

Origine : Produits d'assainissement de sites pollués, « naturel renforcé » issu d'industrie non nucléaire, objets divers (paratonnerre, peintures luminescentes ..) regroupés sous le terme « déchets radifères »

Déchets graphites provenant de réacteurs arrêtés (filère UNGG)



Les déchets FA - VL

47 124 m³ au 31/12/2004

35 876 m³ déchets radifères

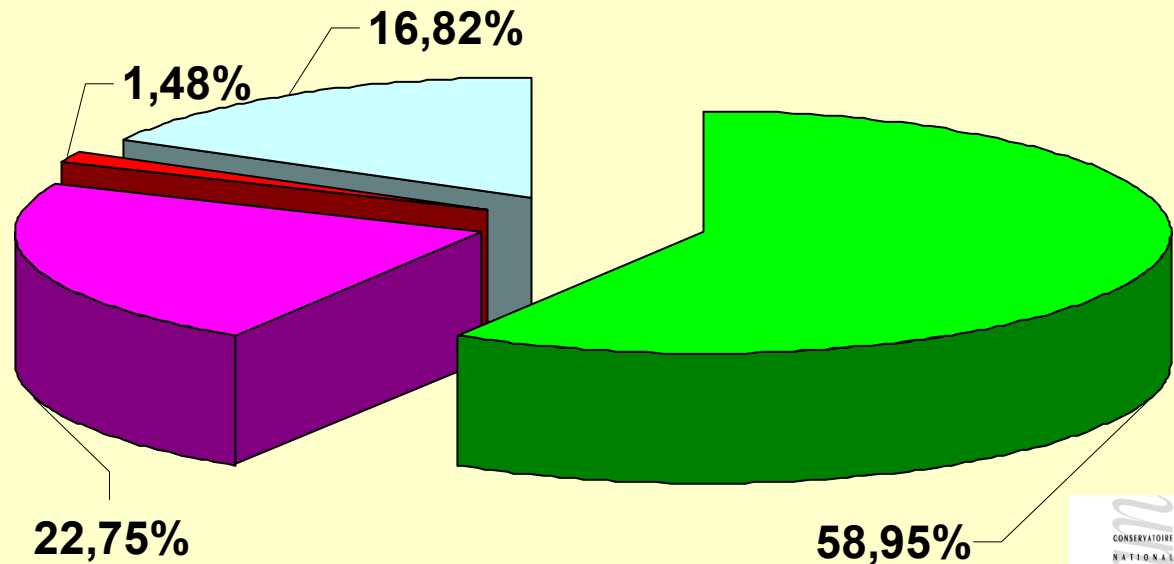
11 248 m³ déchets graphite (totalité du stock : 60 000 m³)

**Industrie non
électronucléaire**

Recherche

Défense

Électronucléaire



Les déchets FA - VL

Stockage :

Pour les déchets radifères : projet de site en subsurface à l'étude

Pour les déchets graphite : analyse de faisabilité d'un stockage dans les mêmes formations que celles retenues pour les déchets radifères.



Les déchets MA - VL

Moyenne Activité à Vie Longue

Ils représentent 8,22% de la radioactivité et 4,4% du volume comptabilisés dans l'Inventaire National (31/12/04)

Origine :

Gaines de combustibles

**Boues de traitement
d'effluents bitumées**

Déchets solides cimentés



Les déchets MA - VL

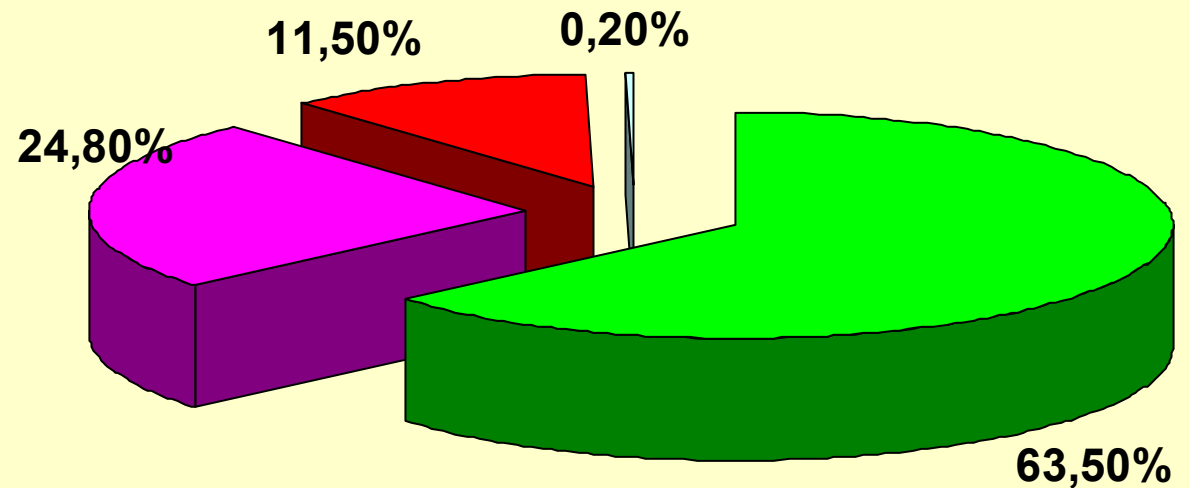
45 518 m³ au 31/12/2004

**Industrie non
électronucléaire**

Recherche

Défense

Électronucléaire



Les déchets HA

Haute Activité

Ils représentent 91,68% de la radioactivité et 0,2% du volume comptabilisés dans l'Inventaire National (31/12/04)

Origine : Déchets ultimes issus du retraitement des combustibles nucléaires usés, vitrifiés dans une matrice coulée dans un conteneur en acier inox



Les déchets HA

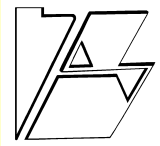
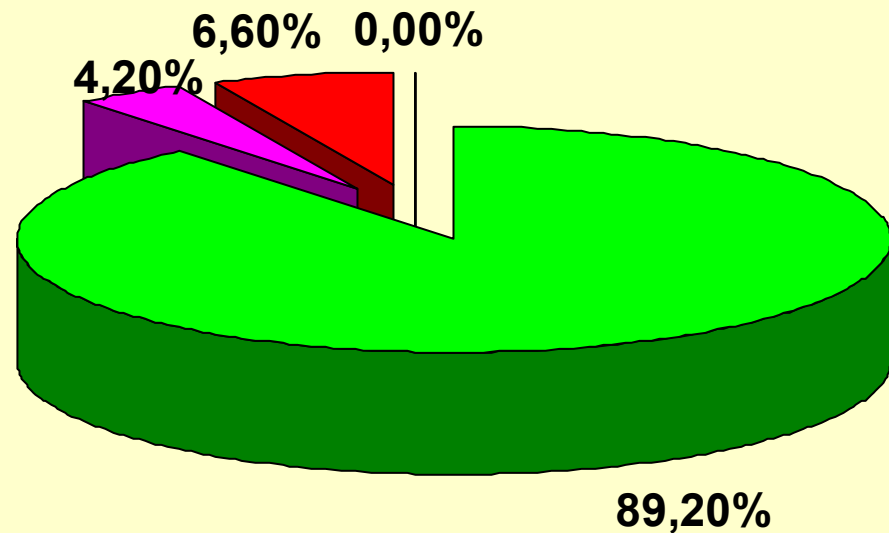
1 851 m³ au 31/12/2004

Industrie non nucléaire

Recherche

Défense

Électronucléaire



Autres déchets non classés :

Sources scellées

*Nombre : 143 177 comptabilisés
dans l'Inventaire National
(31/12/04) (volume très faible)*

Origine : Objets à usage médical, détecteurs de fumée, sources à usage industriel

Pour l'instant : entreposées dans les sites du CEA, de Cis-Bio (Saclay), d'EDF ; placées dans des conteneurs ou des châteaux protégeant le personnel contre les rayonnements.



Autres déchets non classés :

Sources scellées

Gestion à long terme:

- ☀ **Stockage au CSA pour les sources de périodes inférieures à 30 ans (cobalt-60 ; césium-137 ; iridium-192 ; strontium-90 par exemple**
- ☀ **Pour les autres (vie plus longue), selon l'activité**
 - ➔ **Étude dans le cadre du projet de stockage des déchets radifères**
 - ➔ **Étude dans le cadre des 3 voies de recherche de la loi du 30 décembre 1991**



Autres déchets non classés :

589 m³ au 31/12/2004

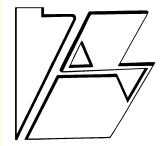
- ☀ **Des boues (« fluorines » issues d'opérations chimiques sur l'uranium de traitement**
- ☀ **Des déchets « mixtes » mêlant toxiques chimiques et contamination radioactive (acide borique, amiante)**
- ☀ **Des peintures tritiées, des résines échangeuses d'ions**
- ☀ **Des effluents liquides ou des boues de solvants, des effluents organiques, des huiles contaminées**
- ☀ **Des filtres au charbon actif contaminé**

Entreposés sur les sites de production, dans l'attente d'une solution de gestion à long terme.



Loi du 30 décembre 1991 (91-1381)

Relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs



Loi du 30 décembre 1991

structurée autour de 3 axes

☀ Axe 1 : Séparation poussée - Transmutation

Étudier la possibilité de réduire la nocivité des déchets, en séparant les éléments les plus dangereux et à durée de vie longue afin de les transformer dans des réacteurs en éléments radioactifs à durée de vie plus courte



Loi du 30 décembre 1991

☀ Axe 2 : le stockage en profondeur

Évaluer la possibilité de confiner les déchets au sein d'un milieu géologique aux propriétés favorables et dont on sait qu'il est resté stable sur de très longues périodes, supérieures à la durée de vie de ces mêmes déchets.



Loi du 30 décembre 1991

☀ Axe 3 : le conditionnement des déchets et l'entreposage de longue durée en surface

L'entreposage doit permettre de gérer les déchets mais seulement sur une durée limitée. Au terme de cette durée - qui est elle-même un des objets des recherches - les déchets doivent être repris.



La situation à l'étranger

9 pays : Allemagne, Belgique, Canada, Etats-Unis, Finlande, Japon, Pays-Bas, Suède, Suisse

Des laboratoires de recherche et des sites étudiés en vue du stockage et/ou de l'entreposage de déchets radioactifs et/ou de combustibles usés.



La situation à l'étranger : l'Allemagne

18 réacteurs

1 laboratoire à Asse,

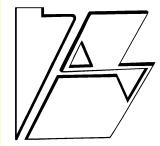
3 sites de stockage à Gorleben, Konrad, Morsleben



La situation à l'étranger : la Belgique

7 réacteurs

1 laboratoire à Mol



La situation à l'étranger : le Canada

17 réacteurs

1 laboratoire à Pinawa



La situation à l'étranger : les Etats-Unis

104 réacteurs

2 sites de stockage ? : Yucca Mountains et WIPP (Waste Isolation Pilot Plant)



La situation à l'étranger : la Finlande

4 réacteurs

1 laboratoire à Onkato

2 sites de stockage à Eurajoki et Lovilsa



La situation à l'étranger : le Japon

54 réacteurs

2 laboratoires à Horonobe et Mizunami

1 site de stockage à Rokhasho



La situation à l'étranger : les Pays-Bas

1 réacteur

1 laboratoire de recherche à Borssele



La situation à l'étranger : la Suède

11 réacteurs

1 laboratoire de recherche à Oskarshamm

1 site de stockage à Forsmark



La situation à l'étranger : la Suisse

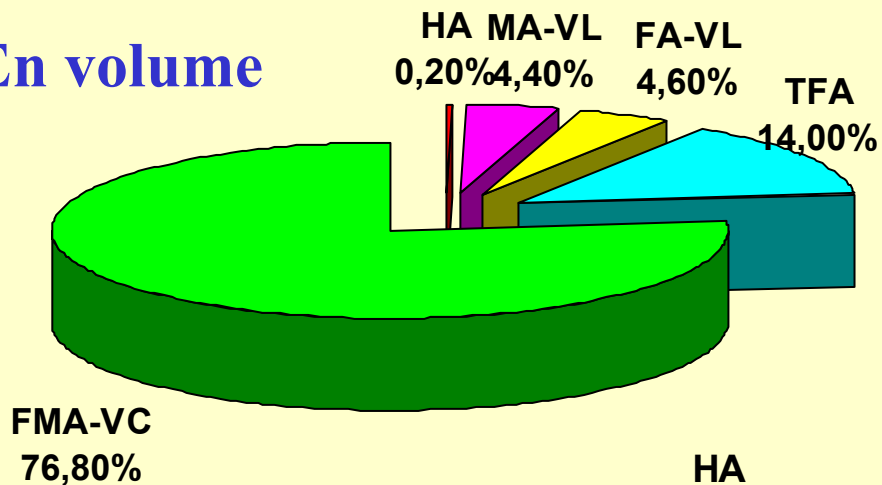
5 réacteurs

2 laboratoires de recherche à Grimsel et Monterri

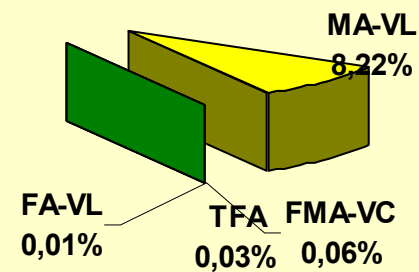


Les déchets radioactifs : bilan

En volume



En activité



Les déchets radioactifs : volumes prévisionnels en m³

	2004	2010	2020
HA	1 851	2 511	3 611
MA-VL	45 518	49 464	54 884
FA-VL	47 124	48 432	104 997
FMA-VC	793 726	928 989	1 193 001
TFA	144 498	300 279	581 144
TOTAL	1 032 717	1 329 675	1 937 637



Que faire des déchets radioactifs ?

	2004	2010	2020
TFA	144 498	300 279	581 144

Capacité de stockage : 650 000 m³



Que faire des déchets radioactifs ?

	2004	2010	2020
TFA	108 219	247 981	515 991
FMA-VC	793 726	928 989	1 193 001

Capacité de stockage : 1500 000 m³



Que faire des déchets radioactifs ?

	2004	2010	2020
TFA	108 219	247 981	515 991
FMA-VC	778 322	913 900	1 196 880
FA-VL	47 124	48 432	104 997

En 2020

environ 60 000 m³ déchets graphites

environ 45 000 m³ déchets radifères

Solutions de stockage en cours



Que faire des déchets radioactifs ?

HA et MA-VL 58 495 m³ en 2020

→ **Loi de 2006 avec échéance 2020**

**3% de l'ensemble du volume des déchets
(HA : 0,18%)**

La solution reste à trouver



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

- ➔ *La future loi doit traiter de l'ensemble des déchets et matières nucléaires, même si les déchets à vie longue doivent relever de dispositions particulières,*
- ➔ *À chaque catégorie de déchets doit correspondre une solution,*



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

- ➔ *Parmi tous ces déchets, interdiction du stockage en France de tous ceux d'origine étrangère et retour rapide au pays d'origine,*
- ➔ *Nécessité de délais pour la recherche et pour que puissent être prises les grandes décisions de politique énergétique,*



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

→ *La population a montré son incrédulité totale à l'égard des prévisions à très long terme : personne ne peut savoir ce qui se passera dans 1 000 ans, dans 10 000 ans. Est apparue l'idée qu'aux échéances à une ou quelques décennies, il était sage d'ajouter des échéances à moyen terme : 100 – 150 ans,*



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

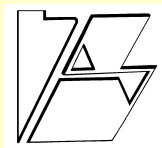
- ➔ *Pour les déchets à vie longue, apparition d'une nouvelle stratégie possible : un « entreposage pérennisé, non plus solution provisoire ... mais autre solution à long terme »,*
- ➔ *Prévoir dans la Loi de 2006 à la fois la poursuite des expérimentations sur le stockage géologique mais aussi sur un prototype d'entreposage pérennisé, façon de recréer un choix en l'absence de second laboratoire souterrain de recherche,*
- ➔ *Fournir ainsi des éléments d'éclairage de la décision à l'échéance suivante (2020),*



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

- ➔ *Unanimité pour considérer que l'information et le dialogue doivent être encore et toujours développés ... la demande des populations locales d'être consultées est légitime, la question du principe et de la forme à donner à cette consultation devrait être posée au Parlement lors du débat de 2006,*
- ➔ *La présence d'une population active et vigilante est aussi une garantie de sûreté des lieux de conservation des déchets radioactifs,*



Déchets radioactifs et débat public

Septembre 2005 – Janvier 2006 : 15 réunions publiques dans toute la France

→ *C'est dès maintenant qu'il faut prévoir et garantir le financement des dépenses à venir – et non le reporter sur les générations futures.*



Loi du 15 juin 2006 (06-590)



TEXTE ADOPTÉ n° 590

« Petite loi »

—

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DOUZIÈME LÉGISLATURE

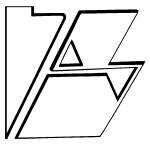
SESSION ORDINAIRE DE 2005-2006

15 juin 2006

PROJET DE LOI

*de programme relatif à la gestion durable des matières
et des déchets radioactifs.*

(Texte définitif)



Loi du 15 juin 2006 (06-590)

Gestion durable des matières et des déchets radioactifs

Cette Loi est transcrite dans le Code de l'Environnement



TEXTE ADOPTÉ n° 590

« Petite loi »

—

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DOUZIÈME LÉGISLATURE

SESSION ORDINAIRE DE 2005-2006

15 juin 2006

PROJET DE LOI

de programme *relatif à la gestion durable des matières
et des déchets radioactifs.*

(Texte définitif)



Loi du 15 juin 2006

Gestion durable des matières et des déchets radioactifs

☀ Axe 1 : Séparation poussée - Transmutation

Étudier la possibilité de réduire la nocivité des déchets, en séparant les éléments les plus dangereux et à durée de vie longue afin de les transformer dans des réacteurs en éléments radioactifs à durée de vie plus courte

Mise en exploitation d'une installation prototype en 2020 au plus tard. Les recherches et les études sur la séparation poussée et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue sont poursuivies en relation avec celles sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires.



Loi du 15 juin 2006

Gestion durable des matières et des déchets radioactifs

☀ Axe 2 : le stockage en profondeur

Évaluer la possibilité de confiner les déchets au sein d'un milieu géologique aux propriétés favorables et dont on sait qu'il est resté stable sur de très longues périodes, supérieures à la durée de vie de ces mêmes déchets.

Mise en exploitation d'un centre de stockage réversible en couche géologique profonde d'ici 2025. Le régime juridique applicable à ce centre, son financement, le développement économique des territoires concernés par son implantation ainsi que les modalités d'information des populations les plus directement concernées, sont précisés par la Loi



Loi du 15 juin 2006

Gestion durable des matières et des déchets radioactifs

☀ Axe 3 : le conditionnement des déchets et l'entreposage de longue durée en surface

L'entreposage doit permettre de gérer les déchets mais seulement sur une durée limitée. Au terme de cette durée - qui est elle-même un des objets des recherches - les déchets doivent être repris.

Poursuite des recherches et études en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes.



Loi du 15 juin 2006

Gestion durable des matières et des déchets radioactifs

Pour ce qui concerne les combustibles usés et déchets radioactifs étrangers, la Loi autorise leur introduction sur le territoire national à des fins de traitement ou de recherche, mais en interdit le stockage.



En guise de conclusion ... (1)

L'industrie nucléaire a été la première à établir :

- * une culture de sûreté,**
- * une culture du déchet.**



En guise de conclusion ... (1)

L'industrie nucléaire a été la première à établir :

- * une culture de sûreté,**
- * une culture du déchet.**

Cette conscience est liée, bien évidemment, à la dangerosité potentielle des éléments mis en œuvre mais aussi à la pression des opposants au nucléaire

Il serait bon pour la santé et donc l'avenir du citoyen, que ces cultures fussent reprises par les autres industries



En guise de conclusion ... (2)

Il est à noter que seule l'industrie nucléaire, au sens large, a établi un inventaire national des déchets générés, mis à jour chaque année et disponible pour tous.

→ *A quand un inventaire national de tous les déchets industriels, 2 500 fois plus importants que les seuls déchets radioactifs ?*



Déchets radioactifs : bilan du bilan

	2006	2025
TFA	✓	✓
FMA-VC	✓	✓
FA-VL	?	✓
HA et MA-VL	?	?



Déchets radioactifs : bilan du bilan

En 2006, le problème du stockage des déchets radioactifs est résolu pour 91,5% de leur volume.



En 2025, il le sera pour 97% .



La solution devra être trouvée d'ici 2025 pour le stockage de ces 3% restant qui représentent la plus grande part de la radioactivité.



Déchets radioactifs : bilan du bilan

Notre Pays dispose ainsi, avec la Loi du 15 juin 2006, transcrite dans le **Code de l'Environnement**, d'une politique de gestion durable des matières et des déchets radioactifs qui, pour les plus dangereux d'entre-eux (**haute activité à vie longue**) représentent 200 tonnes par an.

Soit 10 grammes par an et par foyer.

