

## • Annexes

---

### A1. Annexe 1

#### La chaîne du plutonium

*Le but de cette annexe est de familiariser le lecteur avec les différentes installations de l'industrie nucléaire et les matières contenant du plutonium qu'elles produisent ou consomment.*

Le plutonium n'est pas un élément naturel. Il a été produit et découvert aux Etats-Unis en 1941 dans le cadre des programmes de recherche militaires qui ont abouti à la réalisation de bombes atomiques. La première utilisation du plutonium a été la constitution de la bombe au plutonium qui a explosé au dessus de Nagasaki le 9 août 1945. Le plutonium est aussi présent dans les installations nucléaires civiles. Le fonctionnement des réacteurs nucléaires, qui produisent autour de 75 % de l'électricité en France, produit aussi du plutonium.

Cette annexe présente les différentes étapes du plutonium à travers les installations nucléaires civiles, en commençant par où il est produit : dans les réacteurs alimentés en combustible à l'uranium.

#### **A1.1. Les réacteurs nucléaires alimentés en combustible standard**

Le plutonium est produit par irradiation de l'uranium, c'est-à-dire la combustion de l'uranium dans les réacteurs nucléaires. L'irradiation des combustibles nucléaires dans les centrales est la première étape de la chaîne du plutonium.

Le parc de réacteurs nucléaires d'EDF a tout d'abord été constitué de réacteurs uranium naturel graphite/gaz (UNGG), qui ne nécessitent que de l'uranium naturel (et non enrichi). Le dernier réacteur de ce type à fonctionner en France, Bugey-1, a été définitivement mis à l'arrêt en mai 1994.

EDF possède aujourd'hui 58 réacteurs à eau sous pression (REP), dont la plupart fonctionnent au combustible standard d'aujourd'hui, le combustible à l'uranium enrichi<sup>1</sup>. Depuis 1987, EDF charge progressivement certains réacteurs avec une fraction d'un nouveau combustible, le combustible mixte uranium/plutonium (MOX<sup>2</sup>). Le parc EDF est constitué de 4 réacteurs de 1 450 MWe 20 réacteurs de 1 300 MWe et 34 réacteurs de 900 MWe. En date de fin 2002, seuls 20 réacteurs de 900 MWe sont autorisés à charger du MOX et 19 d'entre eux sont alimentés en partie (1/3) en combustible MOX (voir plus loin).

Le combustible des réacteurs se présente sous la forme d'assemblages combustibles<sup>3</sup>. Un réacteur REP de 900 MWe contient 157 assemblages, alors qu'un REP de 1 300 MWe contient 193 assemblages<sup>4</sup>. A la fin

---

<sup>1</sup> L'uranium naturel contient principalement deux isotopes (deux formes nucléaires) de l'uranium. Ce sont l'uranium-238 et l'uranium-235, à proportion respectivement de 99,3% et 0,7%. L'uranium-235 est l'uranium fissile, nécessaire à la réaction nucléaire. L'enrichissement est le procédé qui consiste à augmenter la proportion d'uranium-235. Les combustibles à l'uranium contiennent normalement autour de 3,5 % d'uranium-235.

L'uranium résidu de ce procédé contient une plus faible proportion en uranium-235 que l'uranium naturel. Cet uranium est appelé uranium appauvri.

<sup>2</sup> L'abréviation MOX vient de la dénomination en anglais mixed oxide, ce qui veut dire oxyde mixte (l'uranium et le plutonium sont sous leur forme oxyde et non métal dans ces combustibles).

<sup>3</sup> Un assemblage combustible contient des crayons combustibles remplis de pastilles. Les dimensions d'un assemblage combustible pour réacteur de 900 MWe français sont approximativement 20 cm x 20 cm x 4 m.

<sup>4</sup> M. Le Bars (Service de la Production Thermique EDF), M. Ponticq (Service des Combustibles EDF), « La gestion des combustibles dans les réacteurs à eau sous pression à EDF », *Revue Générale Nucléaire*, novembre-décembre 1989.

de chaque « campagne », les assemblages combustibles sont remplacés par fraction du total, soit par tiers de cœur, soit par quart de cœur.

Le bilan matière du combustible standard à l'uranium avant et après irradiation dans le réacteur varie avec le niveau d'enrichissement de l'uranium et le taux de combustion des combustibles. Cependant le taux de plutonium contenu dans les combustibles irradiés standards utilisés dans les REP depuis plus d'une quinzaine d'années varie entre 0,9 et 1,2 % de la masse totale du combustible déchargé. Les actinides et produits de fission se situent eux aux alentours de 3 % du total déchargé.

L'uranium, le plutonium et les produits de fission ne sont pas séparés, mais sont intimement mêlés dans l'assemblage combustible irradié. C'est l'objet des installations de retraitement de séparer ces matières.

Les quantités de combustible déchargées sont fonction de la gestion des combustibles par les exploitants nucléaires, et de la production électrique du réacteur. Les périodes d'arrêt pour chargement des combustibles ou pour modification des installations entrent aussi en compte. Les quantités de combustibles déchargées varient aussi d'année en année suivant la production de chaque réacteur: Certains réacteurs produisent « en suivi de charge » en suivant la demande nationale des consommateurs d'électricité, alors que d'autres délivrent leur « puissance maximale disponible ».

La consommation annuelle des réacteurs est 18,5 tonnes de combustible pour les REP de 900 MWe non chargés en MOX, de 34,5 tonnes pour les REP de 1 300 MWe et de 37,2 tonnes pour les REP de 1 450 MWe. Pour les REP de 900 MWe chargés en MOX, un tiers du combustible est du combustible MOX : un REP chargé en MOX consomme 12,9 tonnes de combustible à l'uranium enrichi et 7,4 tonnes de combustible MOX. Cependant, pour calculer le tonnage du MOX irradié, déchargé annuellement, le chiffre de production de MOX à destination des centrales EDF, soit 100 tML provenant de l'usine MELOX, a été utilisé, puisque reflétant une réalité industrielle.

Annuellement, il est ainsi déchargé des réacteurs autour de 1 100 tonnes de combustible standard irradié et 100 tonnes de combustible MOX irradié. Ceci correspond à une production annuelle d'au moins 11 tonnes de plutonium dans les combustibles standards irradiés et d'environ 5 tonnes de plutonium dans le MOX irradié. La consommation annuelle de combustible tend à diminuer pour les prochaines années si l'on ne construit pas de nouveau réacteur, car même avec une augmentation de la production électrique nucléaire, l'augmentation des taux de combustion prévue par EDF implique une diminution des quantités de combustible consommé pour une même production électrique.

Le combustible irradié peut être géré de deux façons radicalement différentes. Soit il est considéré comme déchet, et est entreposé de manière provisoire ou définitive en tant que tel. Soit il est retraité, afin de récupérer l'uranium et le plutonium qu'il contient. Il était considéré dans les années 70 que le plutonium serait réutilisé dans les réacteurs à neutrons rapides, du type Superphénix. L'abandon de cette filière avec la fermeture de Superphénix en 1997 et la reconversion de Phénix pour des expériences liées à la transmutation a nécessité une autre réutilisation : le plutonium est incorporé dans du combustible mixte uranium/plutonium pour des réacteurs standard.

Aucun consensus à travers les pays dotés d'un programme nucléaire ne s'est établi en faveur du retraitement ou du non retraitement. La France s'est dotée des installations de retraitement et de fabrication de combustible MOX les plus importantes dans le monde et se trouve donc obligée de continuer de choisir le retraitement. Par contre on constate un désengagement progressif de l'option retraitement, avec un caractère souvent définitif de la part des clients non français du retraitement.

Officiellement, pour EDF, le « recyclage » des matières récupérées est toujours l'option préférée. Pourtant, avec la fin des contrats de retraitement pour les combustibles étrangers, sans perspective de renouvellement aucune, les capacités de retraitement des usines de La Hague pourrait théoriquement permettre le retraitement de l'ensemble des combustibles irradiés EDF. Or le dernier contrat de retraitement signé entre EDF et COGEMA fin 2001, n'a seulement renouvelé l'engagement d'EDF qu'à hauteur de 850 t/an de combustible, soit trois quart des combustibles standards déchargés chaque année et seulement 50 % de la capacité de La Hague. Officieusement, le retraitement ne fait pas l'unanimité à EDF et il s'agit aujourd'hui plutôt de conserver l'outil industriel de la COGEMA et son marché étranger que de suivre la filière au plutonium avec conviction.

Pourtant, EDF a envoyé et envoie encore des quantités de combustibles irradiés à La Hague nettement supérieures aux quantités contractées, ce qui permet à EDF de disposer d'un stockage de longue durée

pour ses combustibles non couverts par contrat. Au moment où EDF et COGEMA signaient fin 2001 leur accord pour le retraitement d'ici 2007 de 5.250 tonnes de combustibles irradiés EDF, COGEMA disposait dans ses piscines d'entreposage de 6.800 tonnes de combustibles appartenant à EDF.

## **A1.2. L'entreposage temporaire des combustibles irradiés**

Une fois déchargés des réacteurs, les combustibles sont placés dans des piscines de refroidissement qui se trouvent sur les sites des centrales. La politique officielle d'EDF a été de retraiter tous les combustibles irradiés. Les installations de retraitement de La Hague n'ayant pas les capacités suffisantes pour satisfaire les besoins d'EDF et des clients étrangers dans la fin des années 1990, des quantités de combustible irradié ont dû être stockées en attente. Au 30 septembre 2002, la quantité de combustibles irradiés ainsi stockée est de l'ordre de 7.000 tonnes de combustibles standards EDF et de 260 tonnes de MOX usé.

Les installations de La Hague retraitent des combustibles étrangers et français. Le site est équipé d'importantes installations de stockage, qui peuvent contenir jusqu'à 13.700 tonnes de combustibles, soit plus de huit années de fonctionnement aux capacités nominales de retraitement (1.600 à 1.700 tonnes par an). Ainsi les combustibles envoyés à La Hague sont en général stockés pendant plusieurs années avant retraitement.

## **A1.3. Les usines de plutonium (les installations de retraitement)**

Le plutonium est produit par l'irradiation de l'uranium dans les réacteurs. Un combustible irradié contient de l'uranium, du plutonium, des produits de fission, ainsi que des éléments de structure. Le retraitement est un procédé mécanique et chimique complexe qui consiste à séparer ces différents produits. Les usines de retraitement industriel en France sont UP1 à Marcoule qui a également servi à fournir la matière première au programme d'armement nucléaire mais qui a été fermée en 1997 et est en cours de démantèlement, et UP2 et UP3 à La Hague. Les initiales UP sont celles de « usine de plutonium ».

Les différentes quantités de plutonium sortant des installations de retraitement possèdent des compositions isotopiques très différentes, c'est-à-dire ont des proportions très différentes des formes isotopiques du plutonium (plutonium-239 noté Pu-239, Pu-240, Pu-241, etc.). Ces compositions différentes sont fonction des taux de combustion des combustibles à l'uranium dont ils proviennent, du temps de refroidissement des combustibles avant retraitement, et de l'enrichissement d'origine de l'uranium.

La composition isotopique du plutonium influe sur les émissions de chaleur et de rayonnement du plutonium. Ces caractéristiques du plutonium ont une influence non seulement sur la gestion des combustibles au plutonium, mais aussi sur le transport des différentes matières qui contiennent du plutonium (mesures de radioprotection, évacuation de la chaleur).

Le plutonium-238 est un émetteur de rayons alpha, et l'émission calorifique du combustible MOX est approximativement de 10 à 20 W (équivalent de l'émission de chaleur d'une faible ampoule électrique) par kg de poudre MOX<sup>5</sup>.

Les deux isotopes fissiles du plutonium sont les isotopes impairs, c'est-à-dire le plutonium-239 et le plutonium-241. Ce sont les isotopes qui permettent l'utilisation du plutonium comme combustible nucléaire. L'augmentation de la proportion de plutonium-241, due à une combustion poussée, diminue toutefois la réactivité du plutonium<sup>6</sup>. Plus le combustible à l'uranium est irradié, et moins le plutonium qu'il contient est efficace pour la production d'électricité. Pour le plutonium de « seconde génération », c'est-à-dire le plutonium contenu dans les combustibles MOX irradiés, cet inconvénient est encore plus marqué. C'est une des raisons pour lesquelles le combustible MOX irradié ne sera sans doute pas retraité à grande échelle afin de séparer le plutonium qu'il contient et l'utiliser dans l'élaboration de nouveaux combustibles.

Des inconvénients similaires apparaissent lors du stockage du plutonium, après retraitement, et avant son utilisation dans la fabrication du combustible MOX.

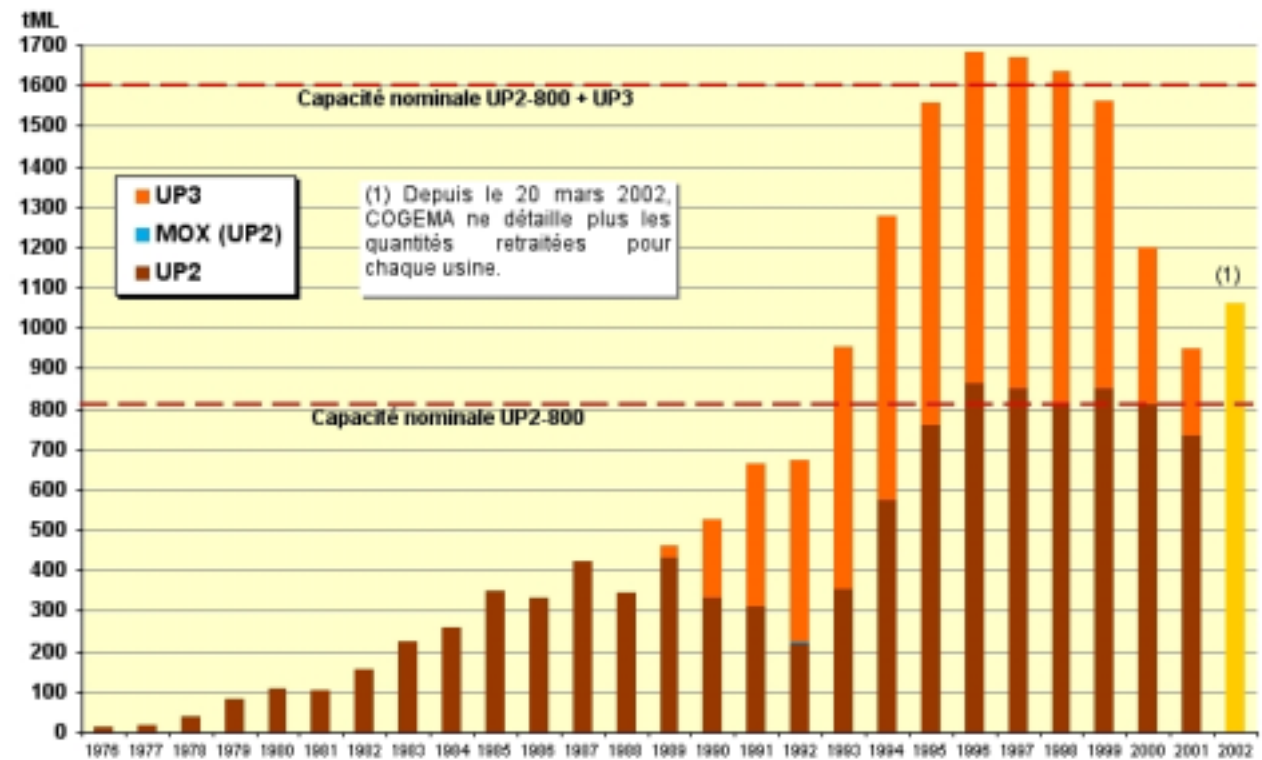
---

<sup>5</sup> E. Vanden Bemdem, « Uranium and Plutonium Recycling », Belgonucléaire, ENC'90, Lyon, 1990.

<sup>6</sup> E. Vanden Bemdem, *op. cit.*

Lors de la fabrication des combustibles MOX au plutonium, la teneur en américium-241 du plutonium est limitée pour des raisons de radioprotection et d'efficacité des combustibles. La présence d'américium dans le plutonium est due à la désintégration gamma du plutonium-241 : plus le plutonium contient de l'isotope 241 et plus la proportion en américium-241 augmente avec le temps. La proportion en plutonium-241 augmente l'émission gamma et donc l'émission alpha qui est due à l'américium-241. L'usine de retraitement de La Hague comprend d'ailleurs une installation de désamériciation du plutonium, « l'unité de redissolution du plutonium » (URP), afin de purifier le plutonium. Selon la société Belgonucléaire, le coût de cette purification est très élevé, et se situe entre 50 et 75 FF par gramme de plutonium, soit autour de 3.000 FF par kg de combustible MOX<sup>7</sup>, ce qui correspond à une augmentation de plus de la moitié du prix de 5.500 FF par kg en moyenne nécessaire à la fabrication du combustible<sup>8</sup>.

**Figure 9** Retraitement des combustibles de réacteurs à eau sous pression dans les usines de La Hague (1976-2002), en tML



Source : COGEMA, 2002-2003

#### A1.4. Les usines de production de combustible MOX

Le combustible à oxyde mixte uranium/plutonium (MOX) est le combustible qui permet la réutilisation du plutonium séparé lors des opérations de retraitement. Le combustible MOX est constitué d'oxyde de plutonium et d'oxyde d'uranium appauvri (résidu de l'enrichissement de l'uranium). La proportion de plutonium dans le MOX est généralement de 5 à 7 %. En 2001 et 2002, la teneur moyenne en plutonium du MOX produit pour EDF est de 6,65 %<sup>9</sup>. Les estimations sur les flux de matières de la présente étude sont basées sur ce chiffre.

<sup>7</sup> E. Vanden Bemdem, *op. cit.*

<sup>8</sup> L'étude de l'Agence pour l'Energie Atomique fait état d'un coût de référence de fabrication du combustible MOX de 1.100 dollars U.S. par kg. In Agence pour l'Energie Nucléaire(AEN), *Les aspects économiques du cycle du combustible nucléaire*, Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 1994.

<sup>9</sup> Michel Debes, Délégation du combustible, EDF, communication personnelle, 7 novembre 2002.

En l'absence d'un parc important de réacteurs à neutrons rapides (RNR) qui absorberait la production de plutonium des installations de retraitement, EDF a opté pour une incorporation du plutonium dans des combustibles pour réacteurs à eau légère sous forme de combustible MOX.

Jusqu'en 1994, il n'existait que des installations de production de combustible MOX de faibles capacités (entre 15 et 35 tonnes, soit 2 à 5 recharges MOX par an). Ces installations ont alimenté en combustible les programmes expérimentaux de réacteurs à neutrons rapides, et des réacteurs à eau légère à partir des années 1980. Il était prévu une augmentation des capacités de l'installation P0 de Belgonucléaire à Mol en Belgique, mais ce projet a été abandonné. L'installation Siemens de Hanau en Allemagne a été fermée à la suite d'un incident en juin 1991, et le projet d'une installation d'une capacité plus importante sur le même site a été définitivement abandonné au début 1995. L'installation pilote MDF de BNFL à Sellafield au Royaume-Uni avait une capacité de 8 tonnes par an mais a cessé de produire en 1999, suite à un scandale lié à des défauts de contrôle qualité du MOX produit.

L'année 1994 a été marquée par l'autorisation de mise en service industrielle le 22 août d'une installation beaucoup plus importante, l'usine MELOX de Marcoule (Gard), d'une capacité nominale de 101 tonnes de métal lourd, dotée d'une infrastructure modulaire capable d'augmenter la capacité de production à 160 tonnes par an. La société MELOX S.A., qui appartient à 50 % à la Cogema et à 50 % à Framatome, est propriétaire de l'usine MELOX. COGEMA exploite seule l'usine MELOX.

Une usine de capacité nominale de 120 tML/an a également été mise en service à Sellafield au Royaume-Uni, Sellafield Mox Plant ayant été autorisée à démarrer le 3 octobre 2001.

#### • MELOX à Marcoule

L'usine MELOX a été conçue afin de pouvoir alimenter non seulement les réacteurs français de 900 MWe, mais aussi les réacteurs français de 1.300 MWe et d'autres réacteurs étrangers. Différents aménagements permettent une augmentation de la capacité de l'usine : l'emplacement est déjà prévu pour un quatrième four de frittage, pour un stockage supplémentaire de pastilles de combustible<sup>10</sup>...

L'enquête publique qui s'est ouverte le 8 janvier 2003, vise à porter la production annuelle de l'usine de 101 à 143 tML/an, l'extension permettant cette augmentation ayant été construite dès la conception de l'usine. Cette augmentation de la production initialement prévue pour répondre à une demande de la clientèle étrangère, servira, suite à la décision de sortie du retraitement de l'Allemagne mi-2005 et le gel pour une durée indéterminée du programme Pluthermal japonais, au transfert de la production de l'usine ATPu de Cadarache prévue pour être fermée premier semestre 2003. La production de l'usine MELOX avait été, en juillet 1999, par un décret co-signé notamment par la Ministre de l'Environnement Dominique Voynet, limitée à 101 tML/an mais autorisait l'extension de l'usine à fonctionner.

Pour des raisons de radioprotection, le plutonium sous forme oxyde nécessaire à l'alimentation de l'usine MELOX n'est pas autorisé à contenir plus de 3 % d'américium<sup>11</sup>. L'américium étant créé par désintégration du plutonium-241 dans le plutonium, une période d'attente avant l'utilisation du plutonium pour l'élaboration du combustible MOX augmente la proportion d'américium. Selon EDF, il faut donc utiliser le plutonium au maximum trois ans après qu'il ait été séparé à l'usine de retraitement<sup>12</sup>. Cette contrainte impose un dimensionnement des installations de la chaîne du combustible afin de ne pas produire plus de plutonium que les usines de combustible MOX en utilisent.

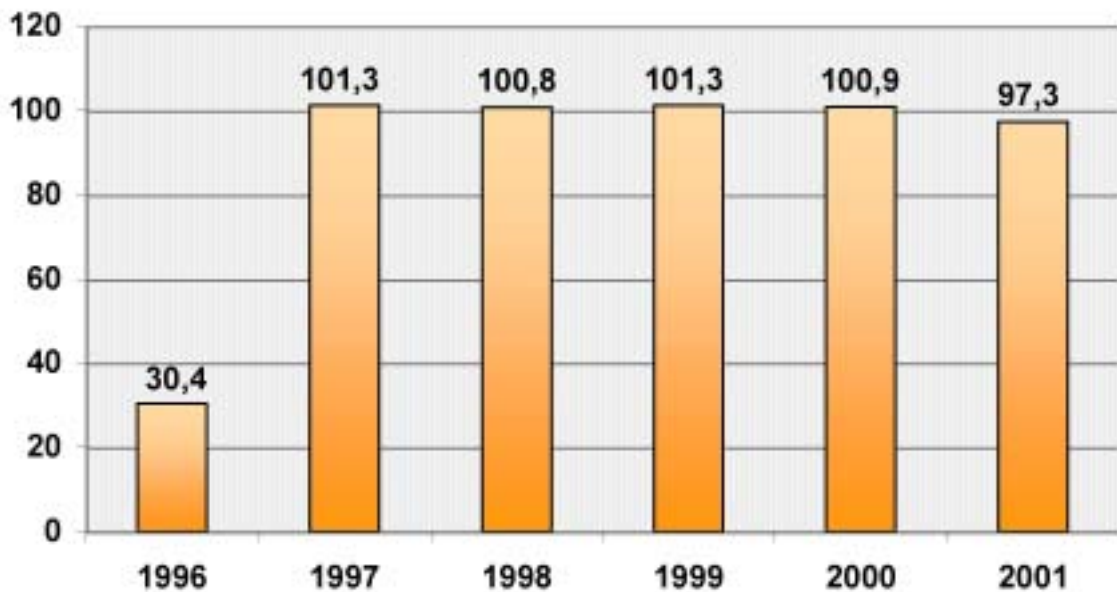
---

<sup>10</sup> W. Fournier, Directeur de MELOX, « La fabrication des combustibles MOX », conférence de la SFEN, *Le plutonium, un nouveau combustible*, Paris, 9 juin 1994.

<sup>11</sup> Décret du 21 mai 1990 modifié d'autorisation de création de l'usine MELOX.

<sup>12</sup> EDF, Direction Production Transport, *Combustible MOX, aspects techniques, économiques, et stratégiques*, document connu sous la dénomination « note Beaufrière », du nom de son auteur, 24 novembre 1989.

Figure 10 Production de MOX à l'usine MELOX en tML (1996-2001)<sup>13</sup>



Source : COGEMA, DSIN

#### • COGEMA-CFCa/ATPu à Cadarache

La première installation de fabrication de combustible MOX construite en France, et qui fonctionne toujours, est l'Atelier de technologie du plutonium (ATPu), qui fait partie du complexe de fabrication de Cadarache (CFCa) dans les Bouches-du-Rhône. COGEMA assure la gestion de cet atelier, alors que le CEA en est l'exploitant nucléaire, au sens réglementaire. Selon l'autorité de sûreté (DSIN), l'activité principale de l'ATPu est la production de combustible MOX à destination des réacteurs à eau sous pression (REP). Depuis le début des années 1990, la production de l'ATPu est quasiment entièrement dédiée à l'alimentation des réacteurs moxés allemands. Une autre activité est bien sûr la manipulation de plutonium dans le cadre des programmes militaires.

C'est également l'ATPu qui a produit le combustible pour les réacteurs à neutrons rapides (RNR). La teneur en américium autorisée dans le plutonium pour l'ATPu<sup>14</sup> est de 1 %. Le délai d'utilisation du plutonium entre le retraitement et la fabrication du combustible MOX à l'ATPu serait donc encore nettement plus faible que pour MELOX.

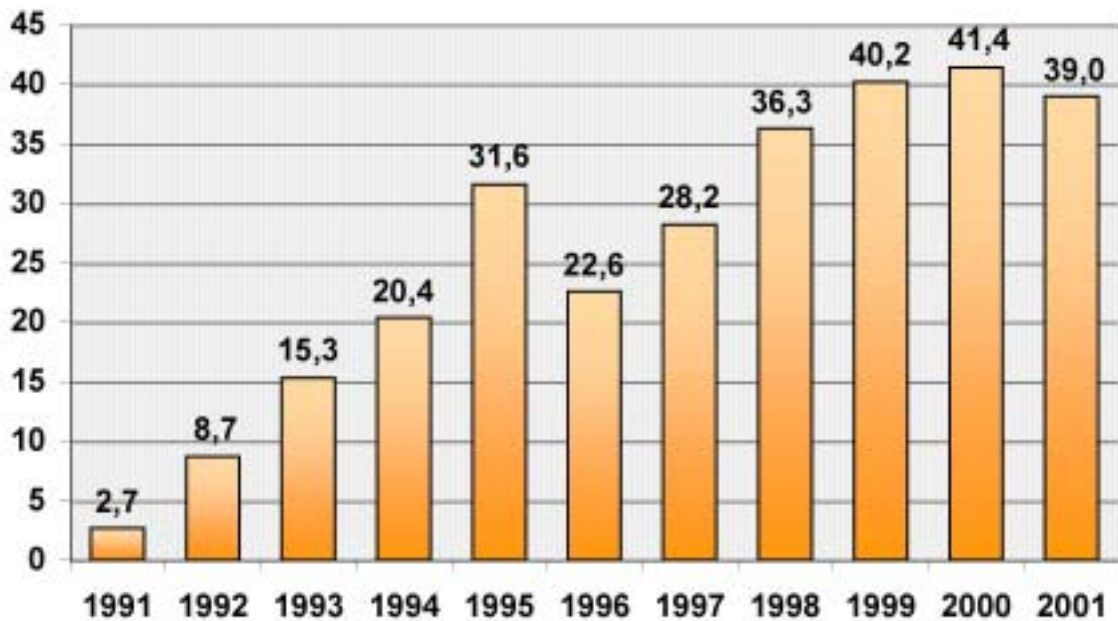
Il faut noter toutefois que la fermeture de l'ATPu est planifiée par l'autorité de sûreté depuis au moins 1995 pour des raisons de mauvaise tenue de l'installation face à au risque sismique important que l'on rencontre dans la région de Cadarache, mais que COGEMA, par soucis de rentabilité a fait réussi à faire traîner le dossier jusqu'en 2002, la date de fermeture étant sans cesse repoussée<sup>15</sup>. La fermeture de l'ATPu et l'extension de la production de l'usine MELOX étaient, jusqu'en 2002, considérées comme deux dossiers totalement indépendants, mais les pressions de la COGEMA, voulant associer les deux dossiers afin d'effectuer un transfert de la production de l'ATPu vers MELOX, ont abouti à considérer la fermeture de l'ATPu à condition de permettre l'extension de la production de MELOX.

<sup>13</sup> Source : 1995-2000, MELOX SA, communications personnelles ; 2001, DSIN, *Rapport annuel 2001*, 2002.

<sup>14</sup> DSIN, *Rapport d'activités 1994*, mars 1995.

<sup>15</sup> Voir à ce sujet la brève de WISE-Paris, « WISE-Paris révèle le "Chantage" de la COGEMA à Cadarache », 19 juillet 2002, et le briefing associé.  
[http://www.wise-paris.org/francais/nosbreves/annee\\_2000/nosbreves000719.html](http://www.wise-paris.org/francais/nosbreves/annee_2000/nosbreves000719.html)

Figure 11 Production de MOX à l'usine ATPu (1991-2001), en tonnes de métal lourd<sup>16</sup>



Source : COGEMA, DSIN

### A1.5. Les réacteurs nucléaires chargés en combustible MOX

Les décrets d'autorisation de création des premiers réacteurs EDF à eau pressurisée (REP) de 900 MWe prévoient une alimentation en combustible MOX. Ainsi, 16 tranches du « palier 900 CPY » dont les décrets d'autorisation de création sont antérieurs à 1979, n'ont besoin que d'une autorisation de l'autorité de sûreté, pour être alimentées en MOX. Fin 2002, 20 réacteurs de 900 MWe étaient autorisés à charger du MOX.

Les autorisations l'autorité de sûreté pour l'alimentation des 20 réacteurs ne sont valables que pour des gestions de cœur où la teneur en MOX est inférieure à 30 % (rapport du nombre d'assemblages au plutonium au nombre total d'assemblages dans un cœur)<sup>17</sup>.

La gestion des réacteurs chargés en MOX est dite hybride car le MOX est renouvelé par tiers de cœur et l'UOX par quart de cœur. On notera qu'il est peu probable que l'ensemble des 20 réacteurs autorisés à charger du MOX en utilise car la production de l'usine MELOX, soit 100 tML par an, entièrement dédiée aux réacteurs d'EDF, suffit à peine pour constituer 15 recharges de MOX (de 7,4 t chacune) chaque année.

#### • Le retraitement du combustible MOX

Le combustible MOX doit être consommé rapidement après qu'il ait été produit : cinq mois de vieillissement d'un combustible MOX entraînent une perte de 3 % de sa durée d'utilisation<sup>18</sup>. Il est donc nécessaire pour MELOX et les autres producteurs de combustibles MOX d'adapter finement leur rythme de production à la demande d'EDF et des électriciens étrangers.

Le retraitement des combustibles MOX irradiés est techniquement possible, et a déjà été effectué à l'usine de La Hague à titre expérimental afin d'en démontrer la faisabilité<sup>19</sup>. Les caractéristiques du combustible MOX irradié présentent toutefois des différences importantes.

<sup>16</sup> Source : 1991-2000, COGEMA-Cadarache, communications personnelles ;2001, DSIN, rapport annuel 2001.

<sup>17</sup> P. Desmoulin, « Les stratégies d'emploi du plutonium à court et moyens termes », EDF, conférence de la SFEN, *Le plutonium, un nouveau combustible*, Paris, 9 juin 1994.

<sup>18</sup> P. Desmoulin, *op. cit.*

<sup>19</sup> EDF, Direction Production Transport, *Recyclage du plutonium dans les centrales REP d'EDF*, mai 1994.



Après utilisation en réacteur, le combustible MOX nécessite un temps de refroidissement plus long que le combustible à uranium standard (2,5 ans au lieu d'un an pour le combustible standard) en piscine de réacteur avant évacuation vers l'usine de retraitement<sup>20</sup>. De plus, le combustible MOX se dilue moins aisément dans l'acide nitrique que les combustibles standard à l'oxyde d'uranium<sup>21</sup>.

Aussi, la composition isotopique du plutonium dans le MOX irradié est-elle plus riche en isotopes pairs que dans les combustibles standard irradiés. Le plutonium de seconde génération est donc moins intéressant à utiliser que le plutonium de première génération (voir plus haut). Enfin, selon EDF, le plutonium utilisé dans le combustible MOX neuf en France est mélangé avec de l'uranium appauvri. L'uranium de retraitement du MOX n'a donc pas d'intérêt énergétique<sup>22</sup>. Cet argument est toutefois nuancé par le fait que de toute façon, l'uranium de retraitement n'est utilisé que de manière mineure depuis 1994 pour la fabrication de nouveaux combustibles destinés aux réacteurs 3 et 4 de Cruas.

A disponibilité égale de combustibles MOX et de combustibles standard, il n'y a aucune incitation pour le retraitement des combustibles MOX. Et compte tenu du faible intérêt énergétique du plutonium et de l'uranium en provenance du retraitement MOX, ainsi que du très bas prix de l'uranium naturel, il n'y aura sans doute pas de retraitement de combustible MOX. Comme le dit pudiquement le chef du service combustible d'EDF : « *Aussi, le mono recyclage sera t-il durablement privilégié par rapport au multi recyclage* »<sup>23</sup>. En d'autres termes, il faudra conduire au stockage direct les combustibles MOX irradiés, combustibles dont les caractéristiques - et en particulier son contenu cinq fois plus élevé en plutonium - complique davantage la gestion à long terme des combustibles irradiés si l'on compare l'option MOX avec l'option non retraitement.

## **A1.6. Les réacteurs à neutrons rapides**

Le mauvais fonctionnement des surgénérateurs Phénix (Marcoule) et Superphénix (Creys-Malville) qui a conduit à la fermeture de Superphénix en 1997 et à la reconversion du réacteur Phénix pour des expériences de transmutation, justifie de ne pas les prendre en compte dans l'évaluation quantitative des transports futurs bien qu'il s'agisse de réacteurs renfermant plusieurs tonnes de plutonium.

## **A1.7. Le plutonium militaire et les installations expérimentales**

Il est très difficile de séparer certaines activités nucléaires civiles du programme militaire nucléaire. Ainsi l'installation nucléaire de base secrète (I.N.B.S.) de Marcoule, dénommée usine de plutonium UP1- ou installation de retraitement - a-t-elle produit du plutonium pour les forces nucléaires militaires françaises.

La qualité militaire du plutonium produit à UP1 est « meilleure » que celle du plutonium de La Hague. Cela provient de la composition isotopique plus riche en plutonium-239 du combustible traité.

### **• UP1 à Marcoule**

L'usine UP1 a retraité des combustibles métalliques français en provenance des réacteurs graphite/gaz, ainsi que des combustibles espagnols de la centrale de Vandellós. Les parties du combustible de Phénix appelées « couvertures », qui renferment du plutonium d'excellente qualité militaire, y ont-elles aussi été retraitées.

Par le passé, des cœurs de Phénix et, à titre expérimental, au moins d'un surgénérateur étranger (le réacteur de recherche allemand KNK2) ont aussi été retraités dans une installation appelée Service Atelier Pilote à Marcoule.

---

<sup>20</sup> M. Coqueriaux, (EDF/EPN/DXP/GCN), « L'expérience de l'électricien », conférence de la SFEN, *Le plutonium, un nouveau combustible*, Paris, 9 juin 1994.

<sup>21</sup> E. Trauwaert, et al., « Recent Progress Made in the Manufacture of Plutonium Fuel for Recycling in LWRs », Belgonucléaire, actes de la conférence de l'AIEA, *Back End of the Nuclear Fuel Cycle: Strategies and Options*, Vienne, 11-15 mai 1987.

<sup>22</sup> EDF, *op. cit.*

<sup>23</sup> EDF, Direction Production Transport, *Recyclage du plutonium dans les centrales REP d'EDF*, mai 1994.



L'usine UP1 a été mise à l'arrêt définitif en 1997, après le retraitement des derniers combustibles des réacteurs uranium naturel graphite/gaz (UNGG) d'EDF.

UP1 est la première usine de retraitement française, et a été mise en service en 1958. C'est la seule installation française avec l'usine UP2-400 de La Hague à avoir retraité les combustibles UNGG. Une particularité de ces combustibles est qu'ils sont considérablement moins irradiés que les combustibles standard des réacteurs à eau légère : le plutonium ainsi produit présente une composition isotopique plus favorable à la production de bombes atomiques.

L'usine UP1 a fonctionné 16 semaines pour les militaires en 1992, et 7 en 1991. En 1994, le programme militaire ne devait pas nécessiter l'utilisation de l'usine UP1<sup>24</sup>. Le statut d'I.N.B.S. de cette usine rend l'accès à l'information encore plus difficile que pour l'usine de retraitement de La Hague : cependant les informations disponibles donnent les chiffres de 6550 tonnes de combustibles UNGG retraités à UP1, dont près de 1500 t en provenance de Vandellós, et près de 4900 tonnes d'UNGG à UP2-400. Selon la COGEMA, la capacité nominale de l'usine UP1 était de 500 tonnes par an<sup>25</sup>.

En 1991, la COGEMA a étudié les possibilités de retraiter des combustibles à l'uranium hautement enrichi (HEU<sup>26</sup>) provenant de programmes de recherche. Le « marché » était à l'époque de 1,5 tonnes de combustibles irradiés stockées en 1992<sup>27</sup>. Nous n'avons pas trouvé d'information sur la suite de ce dossier.

Par ailleurs, l'éventuel démantèlement de forces nucléaires françaises accumulerait des quantités supplémentaires significatives de plutonium. Le programme nucléaire civil pourrait dans certaines conditions récupérer ce plutonium pour une utilisation dans l'élaboration de combustibles pour les réacteurs à eau pressurisée ou pour les réacteurs à neutrons rapides. Cette éventualité ne paraît pas encore envisagée en France. Cependant il est envisagé de fabriquer à l'ATPu de Cadarache, avant sa mise à l'arrêt définitive, des assemblages tests dits *Lead Test Assemblies* à partir de plutonium militaire américain provenant du démantèlement d'armement nucléaire américain, dans le cadre des accords Russie-USA pour la réduction de leurs arsenaux nucléaires. L'évaluation d'impacts des transports alors engendrés est aujourd'hui impossible.

## **A1.8. Les tendances prévisibles de l'industrie du combustible au plutonium MOX**

Siemens et Framatome mènent depuis plusieurs années des recherches au sein de leur filiale commune Nuclear Power International (N.P.I.) sur un futur réacteur European Pressurized Reactor (E.P.R.). Ce projet, financé par EDF et des électriciens allemands, est aujourd'hui terminé mais ne trouve pas de débouché. Ce projet de réacteur prévoit notamment, de longue date, une utilisation de combustibles MOX en gestion 100 % (sans une part de combustibles à l'uranium), avec des taux de combustion de 60 GWe.j/tonne<sup>28</sup> (ce qui est de l'ordre de une fois et demi le taux de combustion des combustibles à l'uranium enrichi dans les réacteurs standard aujourd'hui). Les implications sur la sûreté et sur la gestion du plutonium sont potentiellement très significatives. Il est évidemment trop tôt pour en faire l'analyse.

Le marché des combustibles MOX ne s'est pas développé aussi vite que prévu. Au début des années 1990, Gérard Lebastard, directeur de COMMOX (filiale de COGEMA et de Belgonucléaire chargée de commercialiser le MOX) et Emile Vanden Bemden de Belgonucléaire tablaient sur la demande d'approvisionnement suivante, variable en fonction de l'exploitation des surgénérateurs : en 1992, de 160 à 210 tonnes (de 70 à 90 pour la France), et en 1995, de 230 à 300 tonnes (de 130 à 150 tonnes pour la France)<sup>29</sup>.

---

<sup>24</sup> *Enerpresse*, n°5949, 15 novembre 1993.

<sup>25</sup> COGEMA, *L'établissement COGEMA de Marcoule*, dossier de presse, fin 1990.

<sup>26</sup> HEU : *Highly enriched uranium*, uranium hautement enrichi en anglais.

<sup>27</sup> *Nuclear Fuel*, 17 février 1992.

<sup>28</sup> COGEMA - Branche Retraitement, « Quelques mots sur le combustible MOX... », conférence de la SFEN, *Le plutonium, un nouveau combustible*, Paris, 9 juin 1994.

<sup>29</sup> *Nuclear Fuel*, 1<sup>er</sup> mai 1989.

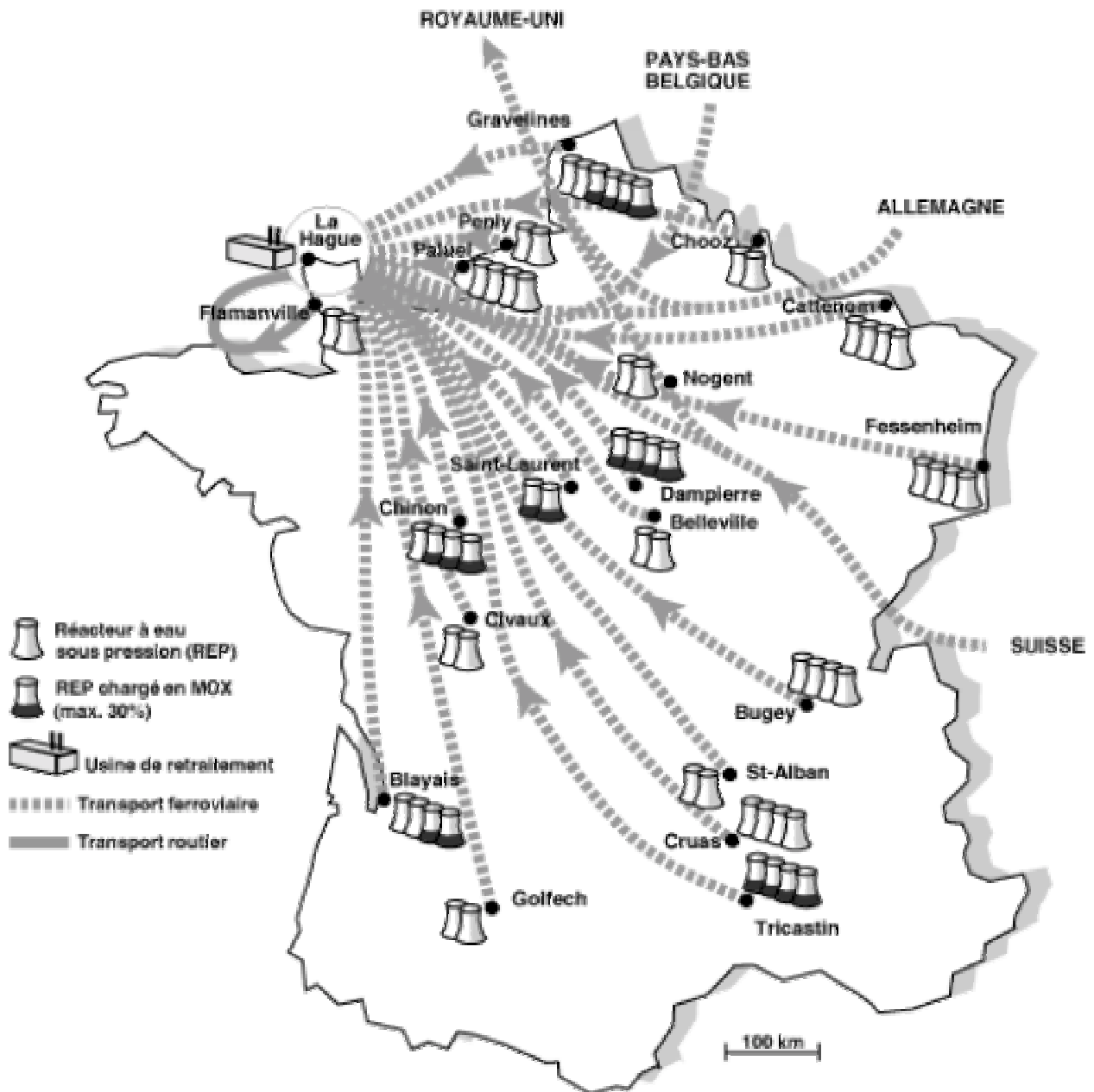
De fait le marché n'atteint que la moitié environ des prévisions du début des années 1990, et l'extension de MELOX, si elle est autorisée, ne changera pas la situation globale puisqu'elle correspond par ailleurs à la fermeture de l'ATPu de Cadarache. Par ailleurs, la tendance est plutôt à la diminution de la demande globale, la seule clientèle durable restant EDF et les électriciens suisses. Les autres clients du MOX, Allemagne, Belgique et Japon, sont soit en phase de sortie complète, soit ont repoussé l'utilisation du MOX à une date ultérieure non définie. La tendance globale est donc plutôt un repli sur les marchés nationaux, avec de très faibles perspectives à l'exportation à court et moyen terme.

## A2. Annexe 2

### Les trajets du plutonium en France

Cette annexe illustre les trajets ainsi que les distances parcourues par le plutonium transporté chaque année en France.

Figure 12 Les transports de combustibles irradiés en France, situation en 2002



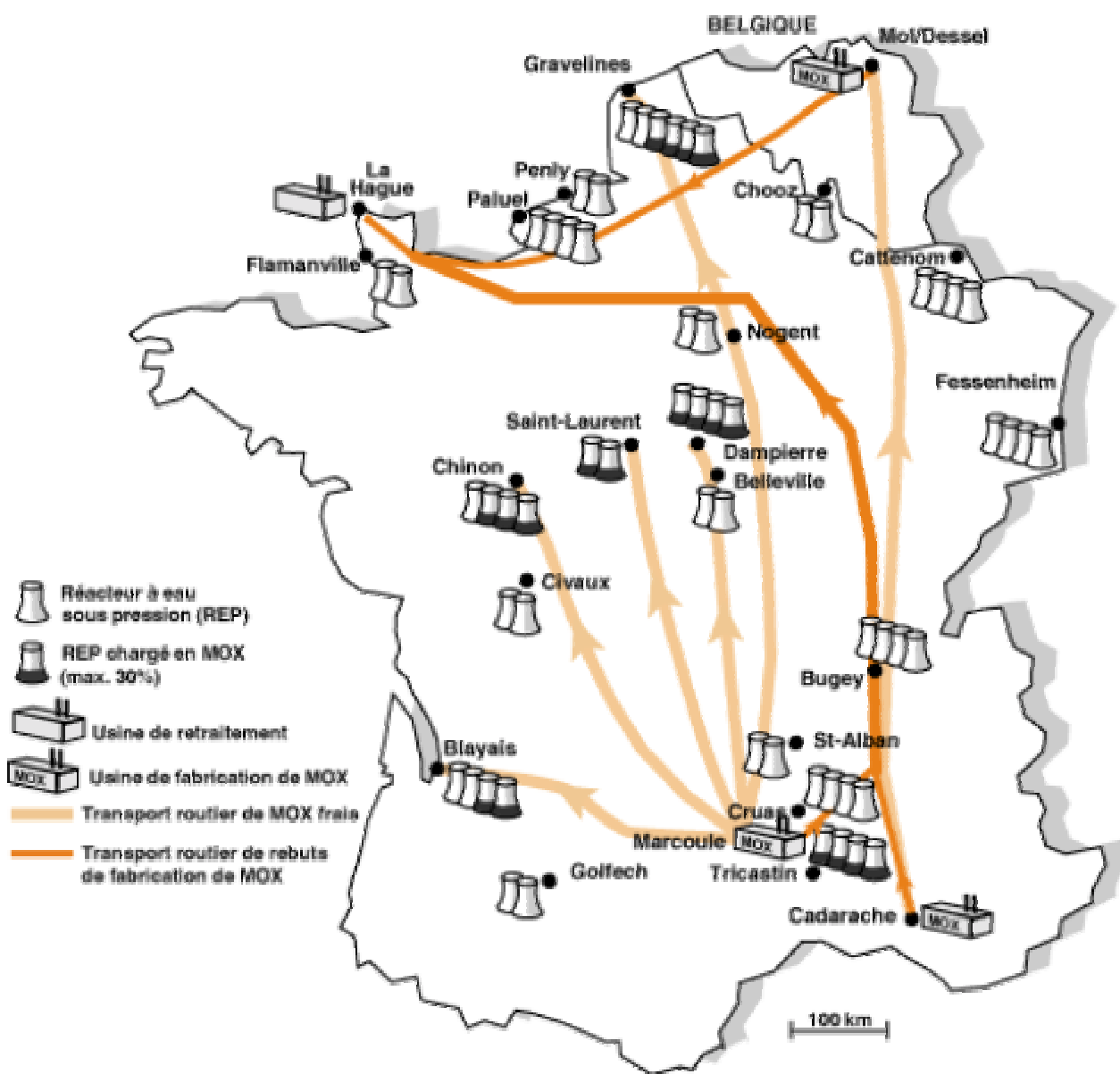
Source : WISE-Paris, 2002

Figure 13 Les transports de poudre d'oxyde de plutonium en France, situation en 2002



Source : WISE-Paris, 2002

Figure 14 Les transports de MOX frais en France, situation en 2002



Source : WISE-Paris, 2002

**Tableau 29 Distances entre les diverses étapes des transports de plutonium en France**

Type de transport	Départ et destination		Distance <sup>b</sup> en km	
<b>Combustibles irradiés</b>				
<b>EDF → La Hague</b>	CNPE Belleville	→	La Hague	403,0
	CNPE Blayais	→	La Hague	506,3
	CNPE Bugey	→	La Hague	705,9
	CNPE Cattenom	→	La Hague	591,5
	CNPE Chinon	→	La Hague	326,4
	CNPE Chooz	→	La Hague	484,7
	CNPE Civaux	→	La Hague	411,4
	CNPE Cruas	→	La Hague	757,1
	CNPE Dampierre	→	La Hague	392,4
	CNPE Fessenheim	→	La Hague	721,5
	CNPE Flamanville	→	La Hague	22,0
	CNPE Golfech	→	La Hague	657,8
	CNPE Gravelines	→	La Hague	320,8
	CNPE Nogent	→	La Hague	419,4
	CNPE Paluel	→	La Hague	185,8
	CNPE Penly	→	La Hague	230,0
	CNPE St Alban	→	La Hague	757,0
	CNPE St Laurent	→	La Hague	341,0
	CNPE Tricastin	→	La Hague	783,1
	<b>Etranger → La Hague</b>	Allemagne <sup>a</sup>	→	La Hague
Pays Bas <sup>a</sup>		→	La Hague	334,6
Suisse <sup>a</sup>		→	La Hague	692,0
<b>Poudre d'oxyde de plutonium</b>				
<b>La Hague → usines MOX</b>	La Hague	→	MELOX	799,0
	La Hague	→	Cadarache	888,5
	La Hague	→	Dessel <sup>a</sup>	334,6
<b>Produits de fabrication de combustible MOX (non irradiés)</b>				
<b>Usines MOX → EDF</b>	MELOX	→	CNPE Blayais	437,8
	MELOX	→	CNPE Chinon	482,6
	MELOX	→	CNPE Dampierre	437,5
	MELOX	→	CNPE Gravelines	785,2
	MELOX	→	CNPE St Laurent	463,5
	MELOX	→	CNPE Tricastin	24,7
<b>Usines MOX → Etranger</b>	Cadarache	→	Dessel <sup>a</sup>	615,3
<b>Usines MOX → La Hague</b>	MELOX	→	La Hague	799,0
	Cadarache	→	La Hague	888,5
	Dessel <sup>a</sup>	→	La Hague	334,6

<sup>a</sup> Pour les départs ou destinations hors du territoire français, les distances sont données depuis/à la frontière.

<sup>b</sup> Les distances indiquées correspondent à des mesures « à vol d'oiseau », et non aux itinéraires ferroviaires ou routiers réellement empruntés pour les transports.

Source : Estimations WISE-Paris

## A3. Annexe 3

### Le décret du 12 mai 1981

Décret n° 81-512 du 12 mai 1981 relatif à la protection et au contrôle des matières nucléaires  
*Journal Officiel* du 14 mai 1981

*(Extraits)*

#### **Article 1er du décret du 12 mai 1981**

La liste des éléments fusibles, fissiles ou fertiles figurant à l'article 1<sup>er</sup> de la loi susvisée du 25 juillet 1980 sur la protection et le contrôle des matières nucléaires est précisée comme suit : plutonium, uranium, thorium, deuterium, tritium, lithium 6.

Sous réserve des dispositions de l'article 11 de ladite loi, les dispositions du présent décret s'appliquent, à l'exception des minerais, aux matières, dites matières nucléaires, qui contiennent les éléments précités ou leurs composés.

#### **Article 2 du décret du 12 mai 1981**

Le respect des dispositions du présent décret ne dispense en aucun cas du respect des autres réglementations en vigueur, notamment en ce qui concerne la radioprotection et le transport des matières dangereuses.

#### **Article 3 du décret du 12 mai 1981**

L'autorisation prévue à l'article 2 de la loi susvisée du 25 juillet 1980 est délivrée par le ministre de l'industrie. Le ministre de l'intérieur et, en ce qui concerne les autorisations d'importation et d'exportation, le ministre des affaires étrangères, sont consultés par le ministre de l'industrie sur les demandes d'autorisation. Ils font connaître leur avis dans un délai de quinze jours : passé ce délai, l'avis est réputé favorable.

#### **Article 6 du décret du 12 mai 1981**

L'autorisation peut être suspendue ou révoquée notamment en cas d'infraction à la loi susvisée et aux décrets pris pour son application. La décision de suspension ou de révocation indique la destination à donner aux matières détenues par le titulaire de l'autorisation suspendue ou révoquée, sans préjudice de leur confiscation éventuelle, prononcée en application de l'article 6 de la loi susvisée.

A toute réquisition des agents chargés du contrôle de l'application du présent décret, il doit être justifié de l'autorisation. Cette justification doit en particulier être présentée au service des douanes lors de l'importation, de l'exportation et du transport sous douane des matières nucléaires.

#### **Article 8 du décret du 12 mai 1981**

L'autorisation définie au présent chapitre n'est pas requise si les quantités d'éléments :

Détenus ou utilisés dans une installation fixe;

Transportés dans un même véhicule;

Importés ou exportés au cours d'une période de douze mois, ne dépassent à aucun moment les seuils suivants :

Plutonium ou uranium 233 : 3 grammes;

Uranium enrichi à 20 p. 100 ou plus en uranium 235; 15 grammes d'uranium 235 contenu;

Uranium enrichi à moins de 20 p. 100 en uranium 235 : 250 grammes d'uranium 235 contenu;

Uranium naturel ou appauvri en uranium 235 par rapport à l'uranium naturel, thorium : 500 kg;

Deuterium : 200 kg. l'autorisation requise au-delà de ce seuil n'impliquant, dans ce cas, que les obligations définies au chapitre IV;

Tritium : 2 grammes;



Lithium enrichi en lithium 6 : 1 kg de lithium 6 contenu.

### **Article 9 du décret du 12 mai 1981**

Au-dessous des seuils fixés à l'article 8 ci-dessus, les matières nucléaires doivent faire l'objet d'une déclaration au ministre de l'industrie spécifiant les quantités détenues et les activités exercées lorsque les quantités d'éléments dépassent :

Plutonium, uranium enrichi en uranium 235, uranium 233, lithium enrichi en lithium 6 : 1 gramme;  
Uranium naturel, uranium appauvri en uranium 235, thorium, deuterium : 1 kg;  
Tritium : 0,01 gramme.

Un arrêté du ministre de l'industrie précise les mesures de suivi, de confinement de surveillance et de protection physique applicables aux matières nucléaires qui doivent faire l'objet d'une déclaration en application du présent article.

### **Article 11 du décret du 12 mai 1981**

En ce qui concerne le suivi et la comptabilité des matières nucléaires, le titulaire d'une autorisation doit prendre toutes dispositions pour :

- a) Connaître de façon précise, en quantité et qualité, toutes les entrées et sorties de matières nucléaires de son établissement ou de son installation;
- b) Assurer le suivi des matières nucléaires présentes à quelque titre que ce soit dans son établissement ou son installation, c'est-à-dire connaître leur localisation, usage, mouvement et transformation;
- c) Déceler sans délai les anomalies éventuelles concernant le suivi des matières nucléaires et transmettre aussitôt l'information au ministre de l'industrie;
- d) Vérifier par des inventaires périodiques que la situation physique des matières nucléaires qu'il détient est conforme à la comptabilité tenue dans son établissement ou installation et, en cas d'anomalie, transmettre aussitôt l'information au ministre de l'industrie ;
- e) Prévenir immédiatement les services de police ou de gendarmerie lorsque des matières nucléaires paraissent avoir été volées, perdues ou détournées.

### **Article 12 du décret du 12 mai 1981**

Le suivi et la comptabilité des matières nucléaires doivent être organisés de manière à permettre au ministre de l'industrie d'en vérifier l'efficacité et la fiabilité, de centraliser la comptabilité des matières et, le cas échéant, d'être informé sans délai de la nature et de la quantité des matières manquantes.

En toute circonstance, le ministre de l'industrie peut ordonner un inventaire physique des matières et sa comparaison avec les résultats comptables.

### **Article 15 du décret du 12 mai 1981**

Les mesures de protection physique prises en vertu de l'article 14 ci-dessus doivent répondre aux deux critères ci-dessous :

1 - Niveau minimal

Suivant leur nature et leur quantité, les matières nucléaires sont, au-dessus d'un certain seuil, classées en trois catégories désignées par les chiffres I, II et III, conformément au tableau annexé au présent décret.

Les niveaux minimaux suivants de protection physique doivent être appliqués par tout titulaire d'une autorisation :

a) Matières appartenant à la catégorie III :

Utilisation et entreposage à l'intérieur d'une zone dont l'accès est contrôlé. Par zone on entend l'installation ou partie de l'installation où sont utilisées ou entreposées les matières nucléaires.

b) Matières appartenant à la catégorie II :

Utilisation en entreposage à l'intérieur d'une zone protégée dont l'accès est contrôlé et qui est placée sous la surveillance constante de gardes ou de dispositifs de sécurité et entourée d'une barrière physique avec un nombre limité de points d'entrée surveillés de manière adéquate.

c) Matières appartenant à la catégorie I :

Utilisation et entreposage dans une zone hautement protégée, c'est-à-dire une zone protégée telle qu'elle est définie pour la catégorie II ci-dessus et dont, en outre, l'accès est limité aux personnes dont il a été

établi qu'elles présentent toutes garanties en matière de sécurité et qui est placée sous la surveillance constante de gardes qui se tiennent en liaison étroite avec les forces publiques d'intervention.

Les mesures spécifiques prises pour la catégorie I doivent avoir pour objectif la détection et la prévention de toute attaque, de toute pénétration non autorisée et de tout enlèvement de matières non autorisées.

En cas de transferts internes entre zones d'un même établissement, les mesures de protection en cours de transfert doivent être d'un niveau équivalent à celui des mesures de protection appliquées dans les zones où les matières nucléaires sont entreposées.

## 2 - Caractère confidentiel

Les mesures de protection physique appliquées au sein de l'établissement ou de l'installation ne doivent être connues que des personnes régulièrement autorisées à cet effet par le ministre de l'industrie ou le titulaire d'une autorisation.

### **Article 17 du décret du 12 mai 1981**

Est considéré comme transport de matières nucléaires au sens du présent chapitre :

Tout déplacement de matières par voie routière, ferroviaire ou fluviale, dont tout ou partie intéresse un territoire ou un espace placé sous souveraineté française et extérieur à des établissements habilités à détenir de telles matières;

Tout déplacement de matières par voie maritime en provenance ou à destination d'un port placé sous juridiction française;

Tout déplacement de matières par voie aérienne en provenance ou à destination d'un aéroport placé sous juridiction française.

### **Article 18 du décret du 12 mai 1981**

Tout titulaire d'une autorisation prévue au chapitre II du présent décret et concernant une activité de transport au sens de l'article 17 ci-dessus est chargé du contrôle des matières en cours de transport, conformément à l'article 10 ci-dessus. Il doit donc, à ce titre, mettre en place un ensemble de mesures de protection adapté à la nature et aux quantités de matières transportées.

### **Article 19 du décret du 12 mai 1981**

Lorsque deux ou plusieurs transporteurs participent successivement à un même transport, l'obligation d'assurer la protection est transférée d'un transporteur au suivant dans des conditions qui garantissent la continuité de cette protection, chaque transporteur étant chargé d'assurer le transport au transporteur suivant.

### **Article 21 du décret du 12 mai 1981**

Pour le transport de matières appartenant aux catégories I, II et III du tableau joint en annexe au présent décret, sont prises les mesures suivantes :

Avant l'exécution du transport, un préavis est adressé au ministre de l'industrie et au ministre de l'intérieur. S'il y a plusieurs transporteurs successifs, les conditions de transfert de l'un à l'autre sont jointes à ce préavis. Ces dispositions ne sont pas applicables à l'uranium naturel, à l'uranium appauvri et au thorium;

Tout incident ou accident affectant le transport est porté sans délai à la connaissance des services de police ou de gendarmerie les plus proches, du ministre de l'industrie et, en ce qui concerne les transports sous douane, du service des douanes le plus proche.

Dans le cas d'un transport à destination ou en provenance de l'étranger, une autorisation spéciale est demandée au ministre de l'industrie en précisant l'heure, le lieu et les conditions de transfert des matières.

### **Article 22 du décret du 12 mai 1981**

Pour le transport de matières appartenant aux catégories I et II du tableau joint en annexe au présent décret, sont prises les mesures suivantes :

Les moyens utilisés pour le transport doivent être agréés par le ministre de l'industrie, après avis de la commission prévue à l'article 20 ci-dessus;

Le transport doit emprunter l'un des itinéraires approuvés par le ministre de l'industrie et le ministre de l'intérieur;

L'exécution du transport est subordonnée à un accord donné dans des conditions précisées en tant que de besoin par arrêté conjoint des ministres de l'industrie et de l'intérieur;

L'exécution du transport doit être contrôlée en permanence par le transporteur à partir d'une installation fixe et protégée, soit directement, soit en recourant aux services d'un organisme agréé à cet effet par le ministre de l'industrie après avis de la commission prévue à l'article 20 ci-dessus.

### Article 23 du décret du 12 mai 1981

Pour tout transport de matières de la catégorie I, une protection particulière est assurée par une escorte à la charge du transporteur. Le ministre de l'intérieur décide, le cas échéant, de la participation de la force publique à cette escorte.

**Tableau annexe : Classement de matières nucléaires pour leur protection**

Matière	Etat	Catégories		
		I	II	III
<b>Plutonium</b> (a)	Non irradié (b).	2 kg ou plus.	Moins de 2 kg, mais plus de 400 g.	400 g ou moins, mais plus de 3 g.
<b>Uranium 235</b> (c)	Non irradié (b) :			
	Uranium enrichi à 20 p. 100 ou plus en U 235;	5 kg ou plus.	Moins de 5 kg, mais plus de 1 kg.	1 kg ou moins, mais plus de 15 g.
	Uranium enrichi à 10 p. 100 ou plus, mais à moins de 20 p. 100 en U 235;		5 kg ou plus.	Moins de 5 kg, mais plus de 1 kg.
	Uranium enrichi à moins de 10 p. 100 en U 235.			5 kg ou plus.
<b>Uranium 233</b> (c)	Non irradié (b).	2 kg ou plus.	Moins de 2 kg, mais plus de 400 g.	400 g ou moins, mais plus de 3 g.
<b>Tritium</b>		5 g ou plus.	Moins de 5 g, mais plus de 2 g.	
<b>Uranium naturel : uranium appauvri en isotope 235; Thorium.</b>	Non irradié (b).			500 kg ou plus.
<b>Lithium enrichi en lithium 6.</b>				1 kg ou plus de lithium 6 contenu.
<b>Combustibles irradiés</b>	Irradié (d).		Tous combustibles.	

a) Tous isotopes du plutonium.

b) Matières non irradiées dans un réacteur ou matières irradiées dans un réacteur délivrant un débit de dose absorbée dans l'air inférieur ou égal à 1 Gy/heure (100 rads/h) à 1 mètre de distance sans écran.

c) Les quantités d'uranium sont exprimées en U 235 ou U 233 contenu.

d) Matières nucléaires irradiées dans un réacteur délivrant un débit de dose absorbée supérieur à 1 Gy/heure (100 rads/h) dans l'air à 1 mètre de distance sans écran. Cas des mélanges ou cas de coexistence de matières nucléaires dans une même zone ou dans un même transport : on assimile ce mélange à du plutonium ou de l'uranium 233 avec la quantité suivante : Pu + U 235 + U 233 contenus.

## A4. Annexe 4

### Les emballages de transport du plutonium

Cette annexe présente les principaux emballages utilisés pour le transport de plutonium en France.

**Tableau 30** Caractéristiques des principaux emballages de transport utilisés pour les transports contenant du plutonium en France

Désignation	FS 47	FS 69	FS 65	FS 65-1300
Poids total à vide	1,4 tonnes		5,3 tonnes	
Poids total (en charge)			5,6 tonnes	5,6 tonnes
Dimensions	Ø 0,75 m x 2 m	Ø 1,05 m x 5,02 m	Ø 0,98 m x 5,32 m	Ø 0,93 m x 5,64 m
Capacité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 boîtes de 3 kg de plutonium sous forme de poudre (PuO<sub>2</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 ass. MOX REP 900 neufs</li> <li>• Rebut MOX conditionnés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ass. MOX REP 900 neuf</li> <li>• 2 ass. MOX REB neufs</li> <li>• Rebut MOX conditionnés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ass. MOX REP 1300 neuf</li> <li>• 1 ass. MOX type Hanau</li> </ul>
Dégagement de chaleur			1 kW / emballage	1,1 kW / emballage
Nombre de colis par transport	10 par camion	4 par camion	4 par camion (1 CBTO 6)	
Désignation	TN 12/2	TN 17/2	EXL 4M	
Poids total à vide	98 tonnes	73,5 tonnes	92 tonnes	
Poids total (en charge)	110 tonnes (MOX REB)	76,6 tonnes (MOX REB)	99 tonnes	
Dimensions	Ø 2,50 m x 6,15 m	Ø 1,95 m x 6,15 m	Ø 2,3 m x 6,4 m	
Capacité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 ass. MOX REB neufs</li> <li>• 12 ass. UOX REP 900 irradiés</li> <li>• 12 ass. MOX REP 900 irradiés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 ass. MOX REB neufs</li> <li>• 7 ass. UOX REP 1300 irradiés</li> <li>• 7 ass. MOX REP 1300 irradiés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 ass. MOX REP</li> </ul>	
Dégagement de chaleur	3,6 kW / emballage	2,4 kW / emballage	8 kW / emballage	
Nombre de colis par transport	1 par camion	1 par camion		

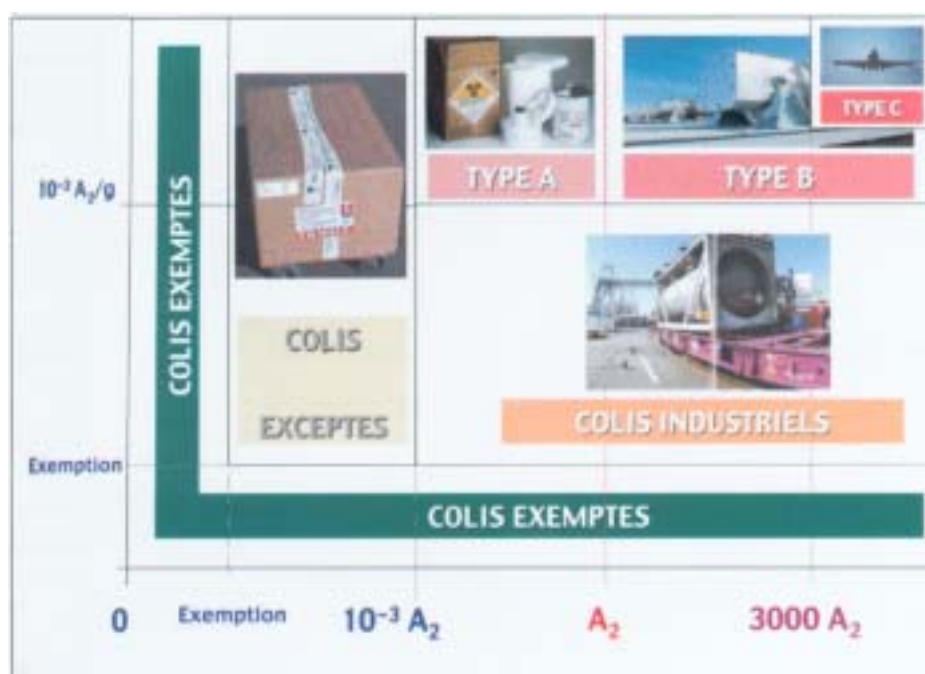
## A5. Annexe 5

### Prescriptions applicables au transport de plutonium

Nous présentons rapidement certaines dispositions réglementaires concernant d'une part les prescriptions relatives aux colis de transport de plutonium (type B dans la réglementation) et d'autre part la protection des travailleurs des transports et du public.

La réglementation sur le transport des matières radioactives se base sur deux principes fondamentaux : la sûreté repose essentiellement sur le colis et le degré de sûreté apporté par le colis est adapté au danger potentiel de la matière transportée. Elle définit ainsi une typologie des différents types de colis. Deux valeurs - A1 et A2<sup>30</sup> - ont été retenues pour définir les niveaux d'activité maximale autorisés dans les colis de type A (au-delà de cette limite, les colis passent dans la catégorie B). Le calcul des limites A1 et A2 a été effectué dans l'hypothèse d'un accident de probabilité faible mais non négligeable entraînant des doses de l'ordre de grandeur des limites de dose annuelles pour les travailleurs (20 mSv, à l'heure actuelle).

Figure 15 Catégories de colis selon activité totale et spécifique concernés par les contrôles



Pour chaque radionucléide, on définit un niveau d'activité de référence, d'autant plus faible que le produit est nocif. Cette valeur est appelée A1 pour les matières sous forme spéciale (caractérisée par l'absence de risque de dispersion) et A2 dans les autres cas. A titre d'exemple, pour le plutonium 239, A1 vaut 10 TBq et A2 vaut  $10^{-3}$  TBq.

Source : DSIN, 2002

Nous retiendrons ici que les transports entrant dans le cadre de la présente étude concernent tous des colis de type B contenant des matières fissiles et plus particulièrement des colis B(U) pour les transports de dioxyde de plutonium ( $PuO_2$ ) et d'assemblages de combustible MOX frais.

Nous présentons ici rapidement les prescriptions relatives à ce type de colis.

<sup>30</sup> Par A1 on entend l'activité maximale de matières radioactives sous forme spéciale autorisée dans un colis du type A. Par A2, on entend l'activité maximale de matières radioactives, autres que des matières radioactives sous forme spéciale, autorisée dans un colis du type A. Par matière radioactive sous forme spéciale on entend soit une matière radioactive solide non susceptible de dispersion, soit une capsule scellée contenant une matière radioactive.

Les colis du type B ne doivent pas contenir :

- des quantités d'activité plus grandes que celles qui sont autorisées pour le modèle de colis ;
- de radionucléides différents de ceux qui sont autorisés pour le modèle de colis ;
- des matières sous forme géométrique ou dans un état physique ou une forme chimique différents de ceux qui sont autorisés pour le modèle de colis ;

Ces différentes limites sont spécifiées dans les certificats d'agrément.

Ils doivent satisfaire aux épreuves pour prouver la capacité de résister aux accidents en cours de transport :

- épreuve mécanique : essai de perforation par chute sur une barre, puis, selon les colis, chute libre d'une hauteur de 9 mètres sur une cible indéformable, écrasement par chute d'une masse de 500 kg tombant de 9 mètres ;

Ces valeurs n'ont pas été à l'origine adoptées par analyse d'accident. Ce sont des analyses de risque et d'accidents ultérieures qui sont venues les justifier à posteriori comme étant « *représentatifs de cas d'accident de transport très graves* »<sup>31</sup> ;

- épreuve thermique : exposition pendant 30 minutes à un feu enveloppant d'hydrocarbures et d'air, dont la température de flamme est au minimum de 800°C ;
- épreuve d'immersion : le spécimen doit être immergé sous une hauteur d'eau de 15 m au minimum, pendant au moins 8 heures, dans la position où il subira le dommage maximal.
- épreuve d'immersion pour les colis contenant des combustibles nucléaire irradiés : le spécimen doit être immergé sous une hauteur d'eau de 200 m au minimum pendant au moins 1 heure ou soumis à une pression équivalente.

Un colis de type B doit être conçu de telle sorte que s'il était soumis à ces épreuves, il conserverait une fonction de protection suffisante pour garantir que l'intensité de rayonnement à 1 m de la surface du colis ne dépasserait pas 10 mSv/h avec le contenu radioactif maximal prévu pour le colis.

De plus, le colis doit être conçu de telle façon que s'il était soumis à une partie de ces épreuves, ainsi qu'aux épreuves réglementaires la perte accumulée pendant une semaine du contenu radioactif ne dépasserait pas les limites A2<sup>32</sup> (10 A2 pour le krypton).

Par ailleurs, le caractère fissile des matières entraîne des spécifications particulières. On se contentera d'indiquer uniquement ici que le principe est de garantir la sous criticité « *dans les circonstances les plus fréquemment rencontrées dans des conditions normales de transport et en cas d'accident* ».

Les risques d'irradiation et de contamination sont présents même en condition normale de transport. La réglementation établit donc un certain nombre de mesures, applicables en conditions normales et/ou en conditions accidentelles. Nous présentons ici les valeurs principales.

L'ensemble des prescriptions du Règlement transport de l'AIEA vise à ce que :

- l'équivalent de dose efficace ou l'équivalent de dose efficace engagé à une personne exposée au voisinage d'un colis de transport à la suite d'un accident ne dépasse pas la limite de dose annuelle pour les travailleurs sous rayonnement, à savoir 20 mSv ;
- l'équivalent de dose ou l'équivalent de dose engagé reçu par les différents organes, y compris la peau, d'une personne prise dans l'accident ne dépasse pas 0,5 Sv ou dans le cas du cristallin : 0,15 Sv.

---

<sup>31</sup> AIEA, *Commentaire des dispositions du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA (Edition 1985)*, deuxième édition (revue en 1990), collection sécurité n°7, guides de sûreté de l'AIEA

<sup>32</sup> Deux valeurs – A1 et A2 – ont été retenues pour définir les niveaux d'activité maximale autorisés dans les colis de type A (au-delà de cette limite, les colis passent dans la catégorie B). Le calcul des limites A1 et A2 a été effectué dans l'hypothèse d'un accident de probabilité faible mais non négligeable entraînant des doses de l'ordre de grandeur des limites de dose annuelles pour les travailleurs (20 mSv, à l'heure actuelle).

Ces valeurs sont obtenues pour l'analyse dans le cadre d'une hypothèse supplémentaire : il est considéré comme improbable<sup>33</sup> qu'une personne reste à 1 mètre du colis endommagé pendant plus de 30 mn.

Dans les dispositions d'ordre général, l'AIEA note en particulier que « *les matières radioactives doivent être suffisamment séparées, pendant le transport, des travailleurs et des personnes du public. Des valeurs limites de dose différentes, servant uniquement à calculer les distances de séparation ou les débits de dose dans les zones régulièrement occupées, sont nécessaires :*

« *En ce qui concerne les travailleurs des transports, un niveau de dose de 5 mSv (500 mrem) par an doit être utilisé comme valeur limite pour déterminer les distances de séparation ou les débits de dose dans les zones de travail régulièrement occupées (...).*

« *En ce qui concerne les personnes du public, un niveau de dose maximal au groupe critique de 1 mSv (100 mrem) par an doit être utilisé comme valeur limite pour déterminer les distances de séparation ou les débits de dose dans des zones régulièrement occupées ou dans des zones auxquels le public anormalement accès (...).* »

Dans les prescriptions supplémentaires concernant le transport par voie ferrée et par route, il est précisé que l'intensité de rayonnement en toute place du véhicule normalement occupée ne doit pas dépasser 0,02 mSv/h (2 mrem/h) à moins que les personnes occupant la place en question ne soient munies de dispositifs de mesure de dose individuels.

On atteint alors les 1 mSv (limite annuelle pour le public et « valeur limite » pour les calculs) en 50 heures soit, sur la base de 8 heures par jour, environ 6 jours et 20 mSv (limite annuelle pour les travailleurs nucléaires) en 1.000 heures, soit 125 jours.

Les intensités de rayonnement pour les colis et les sur emballages non transportés en usage exclusif, ne doivent pas dépasser :

- 2 mSv/h (200 mrem/h) en tout point des surfaces externes, et
- 0,1 mSv/h (10 mrem/h) à 2 m de cette surface.

Les intensités de rayonnement à la surface des colis et sur emballages transportés en usage exclusif<sup>34</sup> peuvent, dans certaines conditions, dépasser 2 mSv/h mais en aucun cas 10 mSv/h (1.000 mrem/h). Le rayonnement ne doit toutefois pas dépasser les 2 mSv/h en tout point des surfaces externes des véhicules.

Les transports couverts par la présente étude se font généralement sous utilisation exclusive, au moins en ce qui concerne les transports de matières de Catégorie I.

Dans les Etats de l'Union Européenne, les limites annuelles pour le public sont comprises entre 1 et 5 mSv/an. Cette dose peut être atteinte en moins de 3 heures au contact d'un colis (ou dans le cas d'un transport en usage exclusif à la surface externe d'un véhicule) ou une cinquantaine d'heure à 2 mètres. L'exposition des personnes liées aux activités de transport peut donc atteindre des niveaux que l'on ne rencontre normalement que dans les installations nucléaires. Dans une installation nucléaire, les lieux renfermant des colis dont l'intensité de rayonnement atteint les 2 mSv/h doivent être fermés et ne sont accessibles à certaines personnes qu'avec des précautions supplémentaires<sup>35</sup>.

---

<sup>33</sup> C. Birraux, *Rapport sur le contrôle de la sûreté et la sécurité des installations nucléaires*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), Assemblée nationale, 1994.

<sup>34</sup> Utilisation exclusive/Usage exclusif : utilisation par un seul expéditeur d'un véhicule ou d'un grand conteneur, ayant une longueur minimale de 6 m, pour laquelle toutes les opérations initiales, intermédiaires et finales de chargement et de déchargement se font conformément aux instructions de l'expéditeur.

<sup>35</sup> C. Küppers, M. Sailer, *The Mox Industry or The Civilian Use of Plutonium - Risks and Health Effects Associated with the Production and Use of Mox*, Rapport de International Physicians for the Prevention of Nuclear War (IPPNW), 1994.



## A6. Annexe 6

### Caractéristiques des isotopes du plutonium

**Tableau 31** Période radioactive et mode principal de désintégration d'isotopes du plutonium et de l'américium-241

<b>Isotope</b>	<b>Période radioactive (années)</b>	<b>Mode principal de désintégration</b>
Plutonium-238	88	$\alpha$ , X
Plutonium-239	24.390	$\alpha$ , X
Plutonium-240	6.537	$\alpha$
Plutonium-241	15	$\beta$
Plutonium-242	387.000	$\alpha$
Américium-241	458	$\alpha$ , $\gamma$

*Source : Stather, J.-W., et Nénot, J.-C., Toxicité du plutonium, de l'américium, et du curium. Technique et documentation pour la Communauté Economique Européenne, 1978*

## A7. Annexe 7

### Statistiques sur les accidents de transport de matières dangereuses

*Cette annexe a pour but d'éclairer le lecteur sur l'importance et la gravité potentielle des accidents de la route impliquant des matières dangereuses.*

La Mission du Transport des Matières Dangereuses (Direction du transport terrestre, ministère chargé des transports) dresse chaque année un bilan<sup>36</sup> des accidents et incidents survenus au cours de transports de matières dangereuses, qui ont été portés à sa connaissance.

Pour les accidents routiers, le bilan est établi à partir du fichier de la mission, mis à jour essentiellement sur la base des procès verbaux d'accidents recueillis auprès de la Gendarmerie et de la Police.

Les « incidents » (événements impliquant un véhicule de matières dangereuses seul n'ayant entraîné aucun dommage corporel, ni fuites supérieures à 100 litres ou dégâts au domaine public), ne sont pas systématiquement signifiés au ministère des transports. Ils sont sommairement mentionnés, et ne font pas l'objet de statistiques. La mission en indique 24 en 1992 et 34 en 1991.

Pour les accidents et incidents ferroviaires, les données sont recueillies auprès de la SNCF.

Les statistiques concernant le transport de toutes les matières dangereuses permet d'avoir une vue d'ensemble de la typologie des accidents de la route (type d'accident, cause, etc.). Paradoxalement, les statistiques concernant les seuls accidents de matières radioactives (voir Tableau 32) n'apportent que peu d'information dans le cadre de cette étude : bien que peu élevé, le nombre d'accident concerne l'ensemble des matières radioactives, du petit colis contenant une source à usage médicale, au transport d'oxyde de plutonium. Nous n'étudions ici qu'une faible partie des transports de matières radioactives en terme de nombre de colis et de nombre de transports. En 1993, par exemple, l'ensemble des transports par route de matières nucléaires de catégorie I et II dont font partie les transports que nous étudions<sup>37</sup>, s'élevait en effet respectivement à 97 et 18, alors que le nombre total transports de matières radioactives se situe autour de 300.000 par an.<sup>38</sup>

Les statistiques de la Mission Transport de Matières Dangereuses indiquent uniquement la classe de matière (classe 7 pour les matières radioactives) dans un tableau général, les données plus détaillées ne mentionnant pas le type de matière. Certains accidents particuliers sont relatés en raison de leur gravité ou des enseignements que l'on peut en tirer.

Nous indiquons ci-dessous le nombre d'accidents de transport de matières radioactives, mais nous traiterons dans la suite les statistiques portant sur l'ensemble des matières dangereuses pour en dégager les caractéristiques principales.

Les accidents sont classés en deux types :

- les accidents de type C, accidents de circulation au cours desquels la matière dangereuse est restée neutre ;
- Les accidents de type M, accidents caractérisés soit par :
  - des blessures imputables à la matières dangereuses (intoxications, brûlures, malaises, etc.) ;

---

<sup>36</sup> Mission du Transport des Matières Dangereuses (MTMD), *Statistiques sur les Matières Dangereuses - Accidents et incidents concernant le transport par voies routière et ferroviaire des matières dangereuses*, publication annuelle.

<sup>37</sup> Ministère de l'Industrie, des Postes et des Télécommunications et du Commerce Extérieur, *Rapport sur l'application des dispositions de la loi n°80-572 du 25 juillet 1980 sur la protection et le contrôle des matières nucléaires*, 1993.

<sup>38</sup> Birraux, *op. cit.*

- épandage de la matière supérieur à 100 litres ;
- perte de chargement (colis, bouteilles, etc.) suivie d'un épandage supérieur à 100 litres ;
- fuite de gaz ;
- explosion ou incendie du chargement de matières dangereuses.

**Tableau 32 Accidents de transport de matières dangereuses (TMD) et de matières radioactives par route (années 1986-1993 et 1996-1999)**

Année	Accidents "C" ensemble TMD	Accidents "M" ensemble TMD	Accidents "C" matières radioactives	Accidents "M" matières radioactives
1986	138	72	1	-
1987	136	59	2	-
1988	123	73	3	-
1989	124	77	2	-
1990	124	74	2	-
1991	143	50	1	-
1992	94	44	-	-
1993	104	70		
1996	141	93		
1997	139	84	1	-
1998		185		
1999		209		

Source : Mission des Transports des Matières Dangereuses

De façon constante, ce sont les liquides inflammables qui sont le plus touchés par les accidents, et les chiffres montrent que près de 50 % des accidents mettant en jeu des transports de matières dangereuses concernent des transports d'hydrocarbures hautement inflammables, voire explosifs, ayant la capacité de provoquer des incendies de longue durée et pouvant atteindre des températures de plus de 1000°C.

**Tableau 33 Répartition des accidents de transports de matières dangereuses en fonction des matières transportées entre 1996 et 2000 (en % du nombre total d'accidents TMD)<sup>39</sup>**

	Hydrocarbures	GPL	Autres
<b>1996</b>	40 %	13 %	47 %
<b>1997</b>	35 %	14 %	51 %
<b>1998</b>	37 %	13 %	50 %
<b>1999</b>	36 %	18 %	46 %
<b>2000</b>	44 %	11 %	45 %

Source : Mission des Transports des Matières Dangereuses, 2001

Par ailleurs, les statistiques présentées par la Mission des Transports de Matières Dangereuses montrent également que 53 % des accidents mettant en jeu des transports d'hydrocarbures ou de GPL correspondent à des renversements et 40 % à des collisions, le reste étant constitué d'incendies et d'autres événements.

<sup>39</sup> Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Direction des Transports Terrestres, Mission des Transports des Matières Dangereuses, *Étude sur le retour d'expérience du transport routier de marchandises dangereuses (hydrocarbures liquides et GPL)*, novembre 2001.

Cependant, sur la totalité des accidents recensés et dont les données transmises ont été jugées fiables, la MTMD constate des pertes de confinements dans 51 % des cas d'accidents mettant en jeu des hydrocarbures liquides et 8 % des cas pour le GPL. On peut donc conclure qu'environ un accident de transport de matières dangereuses sur quatre correspond à un transport d'hydrocarbures ou GPL avec épandage de son contenu inflammable et/ou explosif et que au moins un accident de transport de matières dangereuses sur dix correspond à une collision avec un transport de d'hydrocarbures ou GPL avec épandage du contenu inflammable et/ou explosif.

Un enseignement majeur des statistiques présentées dans le tableau suivant est que la cause des accidents est principalement imputable au véhicule de matières dangereuses. En effet, dans près de deux cas sur trois, la cause présumée de l'accident est imputable au véhicule de matières dangereuses et notamment au chauffeur du véhicule (47 % des accidents recensés en 1997). Dans environ un cas sur deux, le véhicule de matières dangereuses est seul impliqué. La responsabilité du tiers est mise en cause dans un tiers des cas environ. Les causes externes (intempéries, etc.) représentent une part très faible des accidents : 2,6 % en 1997 par exemple.

Cette information est d'autant plus significative qu'elle contredit l'idée préconçue selon laquelle les chauffeurs de véhicules matières dangereuses sont particulièrement bien sélectionnés, formés et responsabilisés.

**Tableau 34 Cause de l'accident imputable au véhicule de matières dangereuses et nombres de véhicules impliqués par accident (1986-1993 et 1996-1997)**

Année	Total Accidents	Cause imputable au VMD <sup>a</sup>	VMD seul	VMD + poids lourds ou autre <sup>b</sup>
1986	210	126 (dont humaine : 103)	non donné	non donné
1987	195	124 (dont humaine : 104)	110	20
1988	196	128 (dont humaine : 105)	97	26
1989	201	127	97	25
1990	198	132	105	24
1991	193	105 (dont humaine : 90)	104	24
1992	138	82 (dont humaine : 73)	71	24
1993	174		84	23
1996	234		142	25
1997	223 <sup>c</sup>	122 (dont humaine : 89)	134	17

<sup>a</sup> VMD= véhicule de transport de matières dangereuses

<sup>b</sup> autre = véhicule autre que voiture et 2 roues

<sup>c</sup> sur 223 accidents recensés en 1997, seuls 189 sont présentés avec des causes déterminés

Source : Mission des Transports des Matières Dangereuses

Le plus souvent, l'accident est déclenché à la suite d'une faute de jugement par rapport à une situation dangereuse (vitesse excessive compte tenu des circonstances, écart sur accotement, manœuvre maladroite...), ou d'un comportement infractionnel (dépassement de la vitesse autorisée, alcoolémie : 3 cas en 1997, absence ou insuffisance d'arrimage...). La vitesse occupe une place importante dans le déclenchement d'un accident. En outre, le véhicule de matières dangereuses est encore plus souvent responsable du déclenchement des accidents de type M que de type C.

En 1997, sur 223 accidents, 17 ont impliqué le véhicule de matières dangereuses et un poids lourd ou autre, dont 1 avec un autre véhicule de matières dangereuses. Il paraît stupéfiant de voir que ceci peut arriver « aussi souvent ». C'est particulièrement important, dans la mesure où l'on assiste alors à une synergie des risques.

De manière constante, les régions les plus touchées sont les lieux de concentrations des raffineries et des industries chimiques, ou de transit (Rhône-Alpes, Nord-Pas-de-Calais, PACA, etc.). On rencontre régulièrement une fréquence d'accidents élevée dans le Rhône, les Bouches-du-Rhône, Nord, Pas-de-Calais, Seine et Marne, Seine Maritime.

En général, moins du quart des accidents de transport de matières dangereuses surviennent en agglomération, dont la plupart sur les boulevards ou rues, les routes nationales et les chemins départementaux.

**Tableau 35 Part des accidents de transports de matières dangereuses survenant en agglomération (1986-1993 et 1996-1997)**

<b>Année</b>	<b>Total Accidents</b>	<b>Agglomération</b>
1986	210	59 (28,1 %)
1987	195	42 (23,8 %)
1988	196	36 (18,4 %)
1989	201	35 (17,4 %)
1990	198	27 (13,6 %)
1991	193	33 (17,1 %)
1992	138	21 (15,2 %)
1993	174	
1996	234	
1997	223	15 (6,7 %)

*Source : Mission du Transport des Matières Dangereuses*

En ce qui concerne les caractéristiques des voies, la majorité des accidents (environ deux tiers des cas) surviennent en ligne droite (83 des cas sur 138 en 1992) et sur terrain plat (83 cas), dans des conditions atmosphériques normales (72 cas). Ce ne sont donc pas uniquement sur des parcours et dans des conditions « difficiles » que surviennent les accidents.

La lecture du tableau suivant montre que les conséquences de ces accidents varient selon la nature des accidents et le type de matières transportées. D'un point de vue humain, on notera en particulier qu'ils sont beaucoup plus meurtriers que la moyenne des accidents corporels.

**Tableau 36 Accidents du transport de matières dangereuses par route et conséquences humaines des accidents de type "M" (années 1986-1993 et 1996-2000)**

Année	"C"	"M"	Tués	Blessés	Tués par 100 accidents <sup>a</sup>
1986	138	72	9 dont 3 par MD	40 dont 5 par MD	60 (5,94 %) <sup>b</sup>
1987	136	59	8 dont 6 par MD	40 dont 1 par MD	27 (5,76 %)
1988	123	73	5 dont 3 par MD	53 dont 3 par MD	13 (5,99 %)
1989	124	77	10 dont 2 par MD	54 dont 4 par MD	25 (6,17 %)
1990	124	74	4	32 dont 4 par MD	11 (6,32 %)
1991	143	50	6 dont 0 par MD	22 dont 1 par MD	27 (6,45 %)
1992	94	44	2 dont 1 par MD	22 dont 1 par MD	
1993	104	70			
1996	141	93	9 dont 1 par MD	59 dont 10 par MD	25 (6,44%)
1997	139	84	20 dont 16 par MD	100 dont 59 par MD	41 (6,38%)
1998			9 dont 5 par MD	36 dont 8 par MD	32 (6,78 %)
1999			7 dont 2 par MD	37 dont 7 par MD	23 (6,45 %)
2000			9 dont 2 par MD	26 dont 4 par MD	38 (6,30 %)

<sup>a</sup> rapporté au nombre d'accidents corporels

<sup>b</sup> le chiffre entre parenthèse indique le pourcentage de tués dans les accidents corporels de la circulation routière

Source : Mission du Transport des Matières Dangereuses

Les dommages causés par les accidents de transports de matières dangereuses ne sont pas chiffrés dans les documents que la mission recueille, et elle n'avance par conséquent aucune évaluation.

Transports ferroviaires

Les informations concernant les accidents et incidents survenus sur le réseau ferroviaire sont fournies à la mission TMD parla SNCF. Elles sont beaucoup moins détaillées que pour la route.

**Tableau 37 Accidents de Matières Dangereuses sur les Chemins de Fer (1986-1992 et 1997)**

Année	Accidents	dont Matières Nucléaires	Incidents <sup>a</sup>	dont Matières Nucléaires
1986	8		111	1
1987	4	-	105	1 (type B(U))
1988	5	-	69	-
1989	7	-	90	1
1990	18	-	118	1
1991	10	-	121	-
1992	3	-	120	2
1997	5	1	n.d.	n.d.

<sup>a</sup> Boulons desserrés ou vannes mal fermées, joints avariés, fuite ou dégagement d'odeurs divers, dôme mal fermé ou autre, presse-étoupe desserré ou défectueux, soudures ou soupapes défectueuses, surpression, choc, trépidations, ...

Source : Mission du Transport des Matières Dangereuses

Certains accidents ferroviaires sont tout aussi spectaculaires que les accidents routiers. On notera en particulier un évènement, qui, dans le cas de matières radioactives aurait pu avoir des conséquences catastrophiques :

Le 5 février 1997, suite à l'affaissement du ballast, un train de 11 wagons-citernes déraille. Deux wagons, transportant chacun 70 000 l de fioul, se renversent et s'immobilisent en équilibre instable dans un jardin surplombant une maison d'habitation. Une cellule de crise se met en place et décide d'établir un périmètre de sécurité, de procéder à l'évacuation de quatre pavillons, du relogement des familles, et de faire étayer les wagons. Les lieux de l'accident seront surveillés jusqu'à la fin des opérations de secours et la circulation est interrompue sur la route située en contrebas. Le dépotage et le relevage des wagons après remise en état des voies se poursuivent dans des conditions difficiles durant 34 heures.

Le nombre d'accidents de transport de matières dangereuses par voie ferrée est beaucoup moins élevé que pour le transport par route, mais ce sont des mesures tenant au caractère « militaire » des matières que nous étudions qui imposent que le plutonium frais et le combustible MOX frais soient transportés uniquement par voie routière.

Nous avons vu qu'il existe des lieux de « concentration » des accidents. Est-il possible d'éviter ces « couloirs » ? La réglementation ne le prévoit pas, et les informations obtenues auprès de la Mission du Transport des Matières Dangereuses indiquent que rien n'est fait dans ce sens là. En ce qui concerne le stationnement, l'habitude des chauffeurs de se « regrouper » pose effectivement un problème soulevé par la Mission. Pour les transports que nous étudions, cela ne devrait pas concerner les gîtes d'étape qui sont des endroits fermés, gardés, et agréés par le ministère de l'industrie. Nous n'avons pas d'indications pour dire si cela peut concerner les autres haltes.