

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Afin d'adapter cette brochure numérique à tous les navigateurs, nous en avons figé les thèmes en sept rubriques : la matière (R-1), la radioactivité (R-2), la radioactivité dans la nature (R-3), les effets des rayonnements et leurs applications (R-4), l'énergie nucléaire et les réacteurs nucléaires (R-5), le cycle du combustible nucléaire (R-6), la radioactivité : une découverte française (R-7).

Le cycle du combustible nucléaire

Composition du combustible nucléaire utilisé

Le retraitement des combustibles usés

Principe de la séparation de plusieurs éléments par extraction par solvant

Procédé Purex

Cycle de séparation (U+Pu)/(PF+TU)

Cycle de partition U/Pu

Les déchets radioactifs

Les lois sur la gestion des déchets radioactifs

Séparation poussée ? Transmutation ?

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

On appelle *cycle du combustible nucléaire*, l'ensemble des opérations industrielles, physiques et chimiques, qui élaborent et traitent le combustible. Ce cycle est divisé en deux parties :

- **L'amont du cycle** : c'est l'élaboration du combustible uranium.

Extraction de l'uranium

Séparation et purification de l'uranium

Enrichissement en son isotope 235

Fabrication de l'oxyde d'uranium (pour le combustible MOX, sa fabrication à partir d'uranium appauvri et de plutonium issu du retraitement des combustibles usés)

Pendant au moins 3 années, le combustible libère son énergie dans les réacteurs (produisant environ 33 millions de kWh par tonne), il est ensuite stocké dans des piscines sur place dans un premier temps.

- **L'aval du cycle** : c'est l'ensemble des opérations du retraitement des combustibles usés qui conduisent à séparer l'uranium et le plutonium des déchets ultimes.

COMPOSITION DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE USÉ

Radioéléments se trouvant dans les combustibles usés

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

LE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS

Après passage en réacteur, le combustible utilisé renferme encore des éléments valorisables, essentiellement de l'uranium (pour 95,5% du combustible utilisé) et du plutonium (pour 1%), tous deux futurs combustibles nucléaires. Le reste (produits de fission et actinides mineurs ; 3,5%) est appelé « *déchets ultimes* ».

Deux stratégies sont alors possibles : ou bien stocker ces combustibles utilisés en l'état ou bien séparer les éléments valorisables du reste pour ne stocker que ces 3,5% de déchets ultimes, ce qui permet une économie de combustible et de volume de stockage.

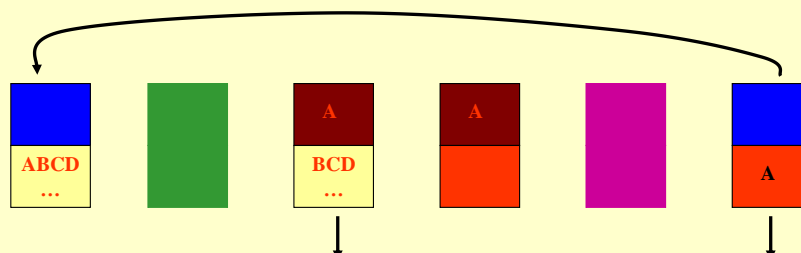
La France a choisi cette seconde voie qui lui permet, en fabriquant un nouveau combustible mixte de plutonium et d'uranium appelé MOX (R-5) et en réutilisant de l'uranium issu du retraitement, d'économiser chaque année 17% de combustible.

L'usine de retraitement des combustibles utilisés (appelée en abrégé « *usine de la Hague* ») se situe dans le nord du Cotentin (département de la Manche). Une série d'opérations chimiques, basée sur le principe de l'extraction par solvant et appelée « *Procédé Purex* », permet d'effectuer ces séparations. L'usine de la Hague a une capacité de retraitement de 1 600 tonnes de combustibles utilisés par an (soit environ le tonnage de déchargement de nos 58 réacteurs). Après avoir été stocké pendant plusieurs années dans des piscines pour laisser décroître la radioactivité, le combustible utilisé est tout d'abord dissous dans de l'acide nitrique concentré. L'uranium et le plutonium sont extraits par un réactif solvant (TBP : tributyl phosphate) dilué dans du dodécane (TPH : tétrapropylène hydrogéné). Ces deux éléments sont ensuite purifiés puis stockés en vue d'une future utilisation (extraction par solvant : procédé PUREX).

Les déchets ultimes sont vitrifiés et entreposés dans un atelier situé sur l'usine en attendant leur stockage futur). Les structures métalliques (coques et embouts des assemblages nucléaires du combustible) sont compactées et entreposées comme les déchets vitrifiés.

Principe de la séparation de plusieurs éléments par extraction par solvant

Ce principe est basé sur le partage d'un élément entre deux phases liquides non miscibles. Ainsi pour séparer l'élément A d'un mélange de plusieurs éléments (ABCD...) en solution en phase aqueuse, on confronte cette phase à une phase solvant judicieusement choisie pour que seul l'élément A soit extrait dans cette phase organique.

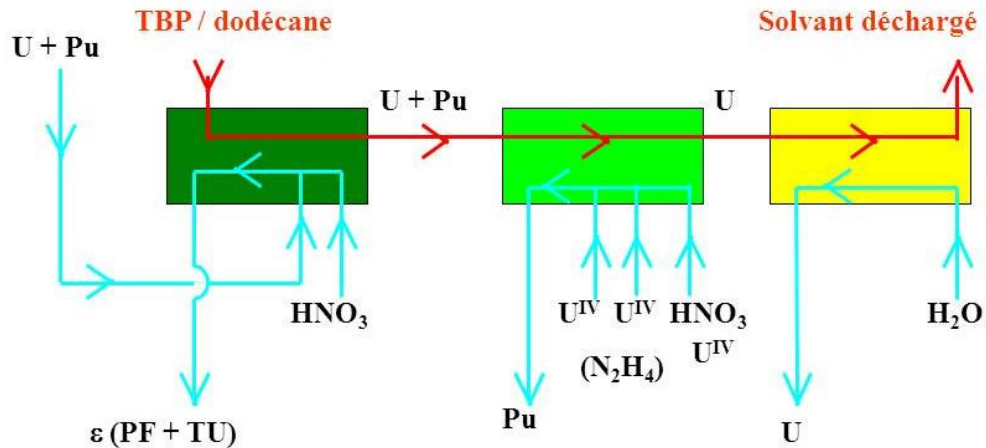


Après **mélange et décantation**, seul A est présent dans la phase solvant. Confronté à une **nouvelle phase aqueuse**, il fait un **retour dans cette phase**. Le solvant libéré de cet élément est régénéré et peut être à nouveau utilisé.

PROCÉDÉ PUREX

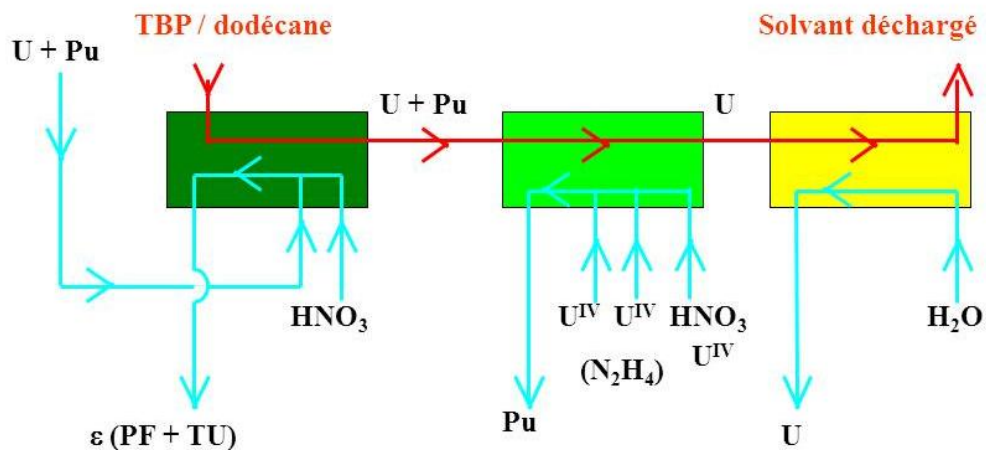
Cycle de séparation (U+Pu)/(PF+TU)

Le mélange (U+Pu) est purifié grâce à une nouvelle extraction. Le plutonium, réduit par l'uranium (IV) stabilisé par N_2H_4 , est alors séparé de l'uranium par un retour en solution aqueuse. Un simple retour dans l'eau permet de récupérer l'uranium de la phase solvant.



Cycle de partition U/Pu

Le mélange (U+Pu) est purifié grâce à une nouvelle extraction. Le plutonium, réduit par l'uranium (IV) stabilisé par N_2H_4 , est alors séparé de l'uranium par un retour en solution aqueuse. Un simple retour dans l'eau permet de récupérer l'uranium de la phase solvant.



LES DÉCHETS RADIOACTIFS

*Un **déchet radioactif** est un matériau qui contient ou est contaminé par un (ou des) radioélément(s) et pour lequel aucune utilisation ultérieure n'est prévue. Selon la durée de vie et la nature du (ou des) rayonnement(s) émis par ce(s) radioélément(s), et selon l'activité massique (Bq/g) du déchet radioactif, celui-ci est classé en plusieurs catégories :*

TFA : déchets de Très Faible Activité,

FMA-VC : déchets de Faible et Moyenne Activité et à Vie Courte,

FAVL/MAVL/HA VL : déchets de faible (F), moyenne (M), haute (H) activité (A) et à vie longue (VL).

Si des solutions ont été trouvées (et sont utilisées) pour la gestion et le stockage des **déchets de très faible activité (30 000 m³/an*)** ou de **faible et moyenne activité à vie courte (17 000 m³/an*)** et si une solution de stockage approprié est sur le point d'aboutir pour les déchets **de faible activité à vie longue (250 m³/an*)**, l'avenir des déchets de **moyenne et haute** activité à vie longue (respectivement **600 m³/an*** et **100 m³/an***) fait l'objet de recherches, définies par la *Loi du 30 décembre 1991*, loi reprise par la *Loi du 28 juin 2006* et transcrite dans le Code de l'environnement.

** source ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs)*

LES LOIS SUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Trois voies de recherche ont été définies par les Lois du 30 décembre 1991 et du 28 juin 2006 :

- 1 – La séparation poussée et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans les déchets.
- 2 – L'étude de la faisabilité du stockage, réversible ou irréversible, en formation géologique profonde, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains comme celui de Bure (Meuse).
- 3 – Le conditionnement et l'entreposage de longue durée qui permettent de disposer de solutions d'attente en conservant ces déchets dans des conditions technologiquement sûres avant toute décision.

La loi 2006-739 du 28 juin 2006, de programme sur la gestion des matières et déchets radioactifs, intègre les objectifs de la loi de 1991 en fixant :

pour l'axe 1 - la 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.

pour l'axe 2 - une 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.

pour l'axe 3 - la 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.

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.

Notre Pays dispose ainsi d'une politique de gestion de ces 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**.

SÉPARATION POUSSÉE ? TRANSMUTATION ?

La **séparation poussée** consiste, par une série d'opérations chimiques, à isoler certains éléments dont la durée de vie est très longue (*pour pouvoir ensuite les transmuter*) ou qui sont susceptibles d'être utilisés en raison de leurs propriétés physiques et donc de trouver des applications dans le domaine industriel.

La **transmutation d'éléments radioactifs à vie longue** consiste à modifier leur structure nucléaire en vue de diminuer très fortement leur durée de vie.

La durée de vie d'un noyau radioactif dépend du nombre de ses protons et de ses neutrons. Si on modifie ce nombre grâce à une réaction nucléaire (en le bombardant avec un neutron par exemple) on va modifier cette durée de vie.

Trois cas de figure sont possibles :
on peut l'allonger
on peut la diminuer
on peut même transformer ce noyau instable, radioactif, en noyau stable.

Il est bien évident que seuls les deux derniers cas sont intéressants pour la gestion des déchets radioactifs (et surtout le troisième !).