



HAL
open science

Revalorisation des matières contenues dans le combustible nucléaire utilisé en France

Vadym Urasov

► **To cite this version:**

Vadym Urasov. Revalorisation des matières contenues dans le combustible nucléaire utilisé en France. Linguistique. 2021. dumas-03419578

HAL Id: dumas-03419578

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03419578v1>

Submitted on 8 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



ESIT – Université Sorbonne Nouvelle – Paris 3

Revalorisation des matières contenues dans le combustible nucléaire utilisé en France

Vadym URASOV

Réalisé sous la direction de Madame Marie-Paule Chamayou

Mémoire de Master 2 professionnel

Parcours : Traduction éditoriale, économique et technique

Français-russe, session de juin 2021



Remerciements

Je remercie tout d'abord Mme Marie-Paule Chamayou, ma directrice de mémoire, pour son soutien et les corrections apportées au présent mémoire, tant pour améliorer sa forme que pour clarifier son contenu. Ses questions m'ont aidé à rendre plus accessible un sujet difficile.

Je remercie également M. Denys Tkachov, mon spécialiste-référent et ami de longue date, qui a pris le temps de lire la traduction du texte-support et me poser des questions.

Enfin, je tiens à remercier tous mes anciens collègues travaillant dans l'industrie nucléaire en Ukraine, aux États-Unis, au Royaume-Uni et en France – traducteurs, ingénieurs et managers, y compris mon père – qui ont au fil des années partagé leurs connaissances et expériences avec moi.

Sommaire

Table d'illustrations	5
Avertissement au lecteur	6
1. Exposé	7
1.1 Introduction	7
1.2 Réaction nucléaire.....	9
1.3 Cycle nucléaire.....	13
1.4 Retraitement du combustible utilisé en France.....	16
1.5 Sensibilité politique du sujet	19
1.6 Réacteurs du futur	20
1.7 Conclusion.....	23
2. Texte-support et sa traduction	25
3. Stratégie de traduction	61
3.1 Choix du texte-support	61
3.2 Méthode de travail.....	63
3.3 Présentation terminologique générale du texte-support	64
3.4 Difficultés de traduction.....	66
Matières nucléaires valorisables	66
Repérage de termes candidats	67
Présélection de termes candidats.....	67
Sélection finale du terme correspondant.....	69
Le combustible nucléaire et ses composants.....	71
Combustible nucléaire.....	71
Assemblage combustible.....	73
Élément combustible.....	79
Crayon combustible	81
Combustible utilisé ou irradié ?.....	84
Le combustible utilisé est-il un déchet ?	85

Entreposage ou stockage ?	87
Traitement et retraitement	90
Équilibre Pu.....	92
Traité relatif à la non-prolifération et directives de l’AIEA.....	94
Sigles	95
4. Analyse terminologique	98
4.1 Fiches terminologiques.....	98
Liste des fiches.....	99
Fiche terminologique français F01.....	100
Fiche terminologique russe F01	101
Fiche terminologique français F02.....	102
Fiche terminologique russe F02	103
Fiche terminologique français F03.....	104
Fiche terminologique russe F03	105
Fiche terminologique français F04.....	106
Fiche terminologique russe F04	107
Fiche terminologique français F05.....	108
Fiche terminologique russe F05	109
4.2 Glossaire français-russe.....	110
4.3 Lexique français-russe.....	122
4.4 Lexique russe-français.....	128
5. Bibliographie selective critique commentée.....	133
Sources en français.....	133
Sources en russe	135
Autres sources	137
6. Bibliographie complète	138
Annexe I : Questions posées et réponses fournies à la suite de la revue de la traduction du texte-support	140
Annexe II : Présentation de difficultés terminologiques dépassant le cadre du texte-support	145
Résumé.....	155

Table d'illustrations

Figure 1 : Fission d'un noyau	10
Figure 2 : Le cycle nucléaire en France	13
Figure 3 : Les composantes du combustible neuf et usé	16
Figure 4 : Surgénérateur SUPERPHENIX à Creys-Malville.....	20
Figure 5 : Assemblage sous eau de combustible de réacteur à eau pressurisée	73
Figure 6 : Grappe de combustible CANDU	75
Figure 7 : Assemblage combustible RBMK	77
Figure 8 : Crayons de combustible.....	81
Figure 9 : Intérieur de crayon combustible	83
Figure 10 : Piscine du bâtiment combustible	87

Avertissement au lecteur

Plusieurs termes relatifs au sujet traité sont répertoriés dans les lexiques du présent mémoire. Les termes figurant dans le glossaire sont marqués en gras (exemple : **terme**) et ceux faisant l'objet d'une fiche terminologique sont en gras et suivis du numéro de la fiche en exposant (exemple : **terme^{F01}**).

1. Exposé

1.1 Introduction

Partout dans le monde, l'énergie nucléaire fait débat depuis de nombreuses décennies. Certains la saluent comme l'énergie du présent et du futur, propre et puissante, qui a le potentiel de satisfaire tous les besoins énergétiques imaginables. D'autres la voient comme sale, dangereuse, trop chère et déjà obsolète, source de problèmes pour tous et encore plus pour les générations à venir.

Il se trouve que toute ma vie est liée à cette forme d'énergie. Petit, je voyais une **centrale nucléaire** depuis ma chambre. Adulte, je voyais depuis mon bureau la fameuse « forêt rousse », cette forêt de pins autour de la centrale de Tchernobyl, exposée à de hauts niveaux de radiation à la suite de l'accident et qui avait changé de couleur à cause de cette exposition. Mon père est un « liquidateur » : il a participé aux travaux de nettoyage après l'accident. Je connais donc le nucléaire intimement.

Pendant ma carrière professionnelle, j'ai participé à des projets qui portent sur la gestion du **combustible nucléaire usé**^{F02}, y compris celui de Tchernobyl. J'ai beaucoup appris sur les modalités pour le rendre sûr. J'ai aussi découvert qu'en réalité, le **combustible usé**^{F02} contient encore beaucoup d'énergie mais que l'Ukraine ne possède pas les technologies requises pour la récupérer.

J'ai également appris que d'autres pays les possèdent, et que parmi eux, il en est un qui fournit particulièrement beaucoup d'efforts pour recycler son **combustible usé**^{F02} afin d'assurer une utilisation la plus complète possible du potentiel énergétique des matières nucléaires. Ce pays, c'est la France.

On extrait de l'**uranium**, exploite des **centrales nucléaires** et stocke le **combustible nucléaire usé**^{F02} dans nombre de pays. C'est cependant en France qu'on trouve un système déjà très avancé pour retraiter le **combustible usé**^{F02}, en récupérer les **matières valorisables** et les réutiliser sous forme de nouveau combustible. C'est le seul pays au monde où le **recyclage** est réalisé à une telle échelle.

Le **recyclage** nucléaire organisé par la France me fascine depuis longtemps. Je pense que c'est le modèle auquel les autres pays nucléarisés devraient aspirer.

Dans cet exposé, nous présenterons d'abord brièvement l'énergie atomique et ses principes physiques. Nous découvrirons ensuite ce qu'est le **combustible nucléaire usé**^{F02} et comment il est traité d'un pays à l'autre ; nous verrons également pourquoi certains pays le considèrent comme un **déchet**, et d'autres non. Puis nous exposerons le **cycle du combustible nucléaire** et comment il peut être organisé selon différentes approches technologiques et politiques. Nous éclairerons l'organisation actuelle de ce **cycle** en France, et verrons comment les **matières valorisables** contenues dans le **combustible usé**^{F02} sont récupérées et réutilisées pour continuer à produire de l'énergie. Enfin, nous concluons en examinant l'énorme réservoir énergétique que représentent ces matières, qui pourrait s'avérer très utile aux générations futures qui seront un jour dépourvues des ressources carbonées qui progressivement s'épuisent.

1.2 Réaction nucléaire

Pour comprendre ce qu'est une **réaction nucléaire**, il faut d'abord revenir à l'**atome**.

Le mot « **atome** » trouve ses origines dans le grec ancien et veut dire « indivisible ». Pourtant, on sait maintenant que l'atome est en réalité divisible. C'est une unité de matière composée d'un noyau unique, lui-même composé de **neutrons** et de protons et entouré d'un « nuage » d'électrons, dont le nombre est égal à celui des protons. Diviser les **atomes** est précisément ce en quoi consiste une réaction nucléaire.

Les particules composantes de l'**atome** sont elles aussi constituées d'autres particules, encore plus petites appelées « quarks ». Mais c'est le niveau subatomique, c'est-à-dire celui des protons et des **neutrons** qui est important pour la production d'énergie nucléaire.

Les **atomes** sont ainsi les constituants élémentaires de toutes les substances, qu'elles soient solides, liquides ou gazeuses. Les **atomes** peuvent se combiner chimiquement avec un ou plusieurs autres atomes.

Au centre de chaque **atome** se trouve donc un noyau dit atomique. Chaque noyau est composé de **neutrons** qui, comme leur nom l'indique, sont électriquement neutres, et de protons qui sont électriquement positifs. On appelle par ailleurs élément chimique l'ensemble des atomes qui présentent un même nombre de protons dans leur noyau. Autrement dit, ce qui différencie les éléments chimiques entre eux est le nombre de leurs protons (Bonin, 2012, p. 7).

Dans une **centrale nucléaire**, la production d'énergie est basée sur ce que l'on appelle la **fission** de noyaux atomiques des éléments chimiques dits lourds. Ce sont les éléments lourds qui contiennent le plus de **neutrons** et de protons et sont le plus propices à une **fission**. Ainsi,

l'élément le plus lourd que l'on trouve dans la nature est l'**uranium**. C'est donc l'**uranium** qui de préférence sert de **combustible** dans la production d'énergie nucléaire (Шведов & Седов, 1979, стр. 29).

La fission est une réaction qui commence avec un **neutron** libre (dit « primaire »)¹ qui frappe un noyau atomique d'un élément **fissile**, le plus souvent l'**uranium**. Le noyau s'en trouve destabilisé et finit par se fissurer, libérant deux ou trois **neutrons**. Si l'un de ces **neutrons** (dits « secondaires ») percute un autre noyau **fissile**, deux ou trois autres **neutrons** seront libérés, et ainsi de suite. C'est ce qu'on appelle « la **réaction en chaîne** » (Barré, 2017, p. 37).

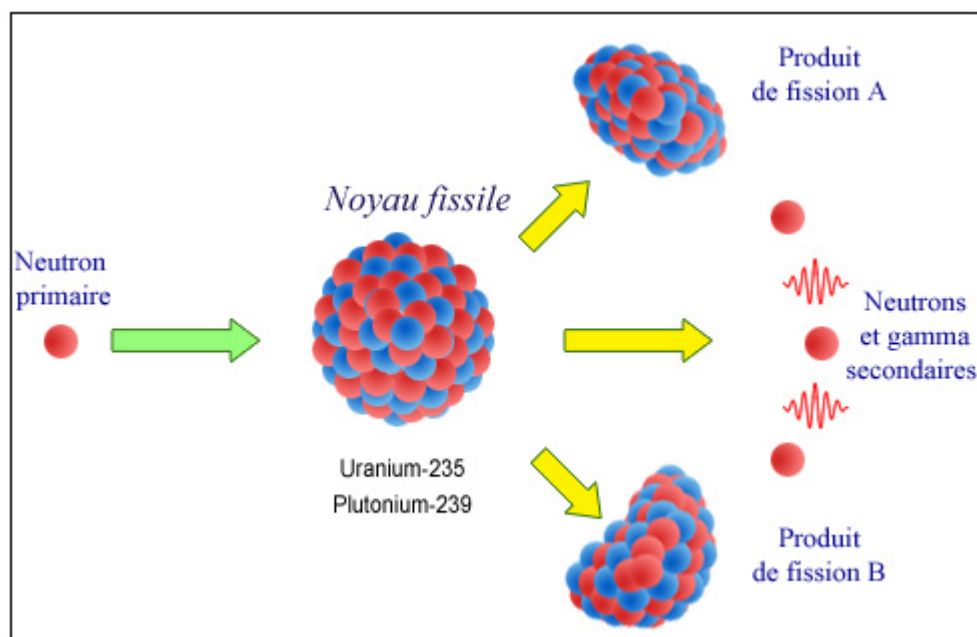


Figure 1 : Fission d'un noyau, source : La radioactivité.com,

<https://www.laradioactivite.com/site/pages/Fission.htm>, consulté le 5 janvier 2021

¹ On utilise principalement du béryllium comme source de neutrons primaires. Mélangé avec une matière alpha-active, le béryllium émet des neutrons en se désintégrant.

En se désintégrant, les noyaux d'**uranium** libèrent des **neutrons** mais produisent également de l'énergie sous forme de chaleur et de rayons gamma (Figure 1). Cette chaleur est récupérée par un **caloporteur** (le plus souvent l'eau) pour produire de la vapeur qui fait tourner des turbines qui en retour transforment l'énergie de la vapeur en électricité. Cette partie d'une **centrale nucléaire** n'est pas trop différente de n'importe quelle autre centrale électrique.

Nous le disions précédemment, tous les noyaux des éléments chimiques sont composés de **neutrons** et de protons et ce qui différencie les éléments chimiques entre eux est le nombre de leurs protons. Autrement dit, tous les atomes d'un même élément chimique partagent le même nombre de protons, qui est 92 dans le cas de l'**uranium**.

Pourtant, à l'intérieur d'un même élément chimique il peut y avoir différentes variétés, dites « **isotopes** ». Ce qui différencie les isotopes d'un même élément est le nombre de leurs **neutrons**. Les **atomes** d'un même élément contiennent donc toujours le même nombre de protons, mais peuvent contenir un nombre différent de **neutrons**.

L'**uranium** naturel présente deux **isotopes**. L'**isotope** « brûlé » lors de la **fission** dans les **réacteurs** est l'**uranium 235**² – c'est l'isotope dit « **fissile** » (Bonin, 2012, p. 54). Il ne représente que 0,7 % de l'**uranium** que l'on trouve dans la nature, et environ 2 à 4 % de l'**uranium enrichi**, qui est le matériau contenu dans le **combustible nucléaire**.

L'autre **isotope** est l'**uranium 238**. Il contient trois **neutrons** de plus et représente plus de 99 % de l'**uranium** naturel et plus de 95 % du **combustible nucléaire**. Il s'agit d'un **isotope** dit « **fertile** », c'est-à-dire qu'en capturant un **neutron** libre, le plus souvent il ne fissionne pas, mais se transforme en **plutonium 239**, qui lui est également « **fissile** » et qui peut donc être « brûlé »,

² 235 est le nombre de masse, c'est-à-dire que le noyau atomique de cet uranium compte 92 protons et 143 neutrons pour une masse atomique de 235,0439299 g/mol.

tout comme l'**uranium 235**. Ainsi, le **plutonium 239** représente une autre source d'énergie, qui au début n'existe pas en tant que telle mais que l'on fabrique artificiellement dans le **réacteur** à partir de l'**uranium 238**. Jusqu'à présent, c'est peut-être le seul cas où l'homme est arrivé à produire une nouvelle source d'énergie sans aller piocher tout simplement dans la nature (Шведов & Седов, 1979, стр. 34).

C'est la fissilité du **plutonium 239** et la fertilité de l'**uranium 238** qui en font des « **matières valorisables** », ce qui signifie qu'ils peuvent être réutilisés pour produire encore plus d'énergie.

Le **combustible nucléaire** est exploité dans le **cœur du réacteur**, lieu de la **réaction en chaîne**, pendant quatre à cinq ans. Le **plutonium 239** est constamment produit pendant toute cette période, et il fournit une partie non négligeable (environ un tiers) de l'énergie produite.

Le **combustible** finit par s'user au fur et à mesure que les éléments **fissiles** sont consommés et qu'apparaissent d'autres éléments artificiels qui absorbent les **neutrons** mais ne fissionnent pas. La **réaction en chaîne** devient donc progressivement moins efficace. Quand le **combustible** doit finalement être retiré du **réacteur**, il contient encore des quantités considérables de **plutonium 239**, qui est déjà **fissile**, et d'**uranium 238**, qui lui peut être transformé en **plutonium**.

1.3 Cycle nucléaire

Le **combustible nucléaire** passe par trois phases : il est d'abord fabriqué, puis il est utilisé, et enfin, il doit être géré en aval. Ces trois phases sont rassemblées sous le terme de **cycle du combustible nucléaire** (Figure 2), lequel représente « l'ensemble des étapes industrielles qu'il faut suivre pour assurer les services du **combustible nucléaire** » (Pataran, 2002, p. 13), y compris les procédés liés à l'extraction et l'**enrichissement** de l'**uranium**, à la fabrication du **combustible** et à son utilisation dans les **cœurs des réacteurs nucléaires**, et jusqu'à l'étape post-utilisation.

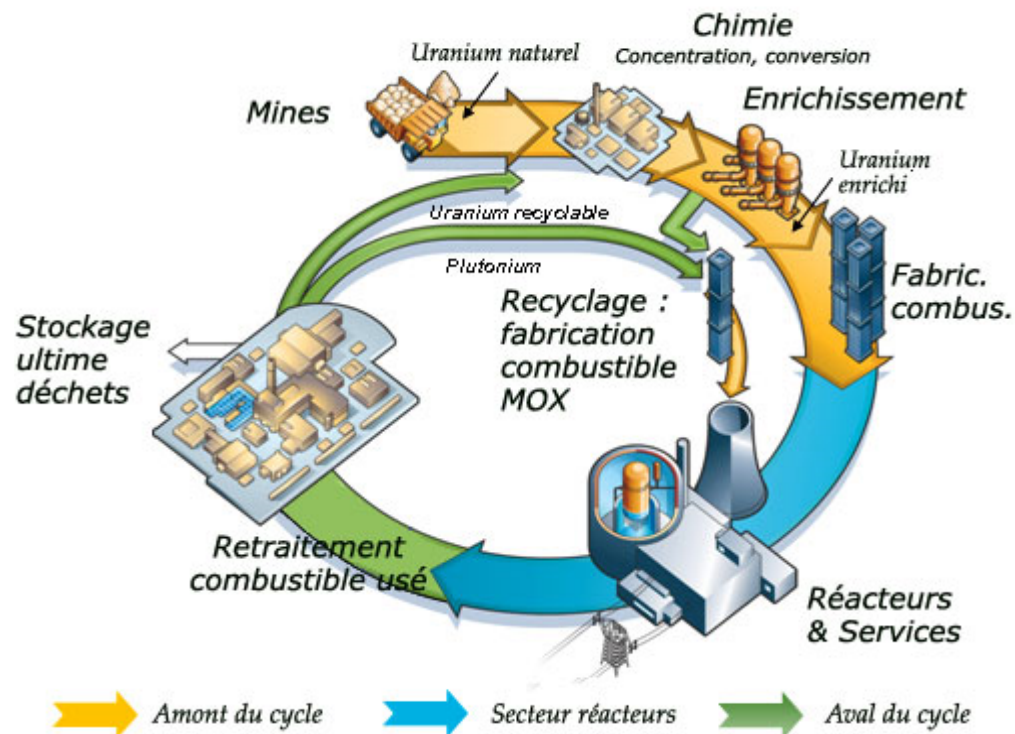


Figure 2 : Le cycle nucléaire en France, source : La radioactivité.com,

https://www.laradioactivite.com/site/pages/Cycle_Combustible_Nucleaire.htm, consulté le 5

janvier 2021

Le **combustible nucléaire usé**^{F02} est en effet techniquement retraitable et réutilisable, et c'est surtout « l'aval » du cycle, c'est-à-dire « la partie qui reçoit le combustible déchargé des réacteurs » (Pataran, 2002, p. 18) qui s'occupe de la gestion du **combustible usé**^{F02}. L'organisation de cette étape finale du **cycle nucléaire**, qui permet de « boucler » le cycle, relève cependant d'une décision tant politique que technologique. On parle alors de cycle « fermé » et de cycle « ouvert ».

En effet, réutiliser le **combustible nucléaire** demande de recourir à des technologies complexes de retraitement que peu de pays possèdent. Certains pays ont donc opté pour une solution simple et définitive : ne pas réutiliser leur **combustible usé**^{F02}, lequel représente alors un « **déchet** » destiné à l'enfouissement dans des couches géologiques profondes. En l'absence de recyclage, le cycle est qualifié d'« ouvert ». C'est le cas en Suède, par exemple. L'option est techniquement tout à fait valable, mais elle signifie une perte définitive du potentiel énergétique encore énorme du **combustible usé**^{F02}. Le volume des « **déchets** » s'en trouve également accru, incluant par ailleurs des matériaux qui ne sont pas nécessairement des **déchets** à proprement parler.

D'autres pays ont opté pour une solution différée car même s'ils sont bien conscients du potentiel énergétique du **combustible usé**^{F02}, ils ne disposent cependant pas actuellement des technologies de **retraitement**. Le plus souvent, le combustible est donc « entreposé » en sûreté. Le but est de s'assurer que le combustible soit disponible quand les capacités technologiques permettront le **recyclage**. Là aussi, le cycle est donc ouvert, mais provisoirement. C'est le cas aux États-Unis, ainsi que dans mon pays, l'Ukraine.

D'autres pays encore se sont déjà dotés de technologies de **retraitement**. Ces pays sont en général ceux où l'énergie nucléaire a atteint le niveau de développement le plus élevé. Parmi eux on compte la Russie, le Royaume-Uni, le Japon et la France. En France plus particulièrement, le **plutonium** et l'**uranium 238** sont habituellement recyclés sous forme de **combustible MOX**

(*Mixed-oxide*, mélange d'**oxydes d'uranium** et du **plutonium**). C'est ce que l'on appelle un cycle « fermé ».

C'est de la gestion actuelle de l'**uranium** et surtout du **plutonium** récupéré du **combustible usé**^{F02} en France dont il est question dans le texte-support que j'ai choisi.

1.4 Retraitement du combustible utilisé en France

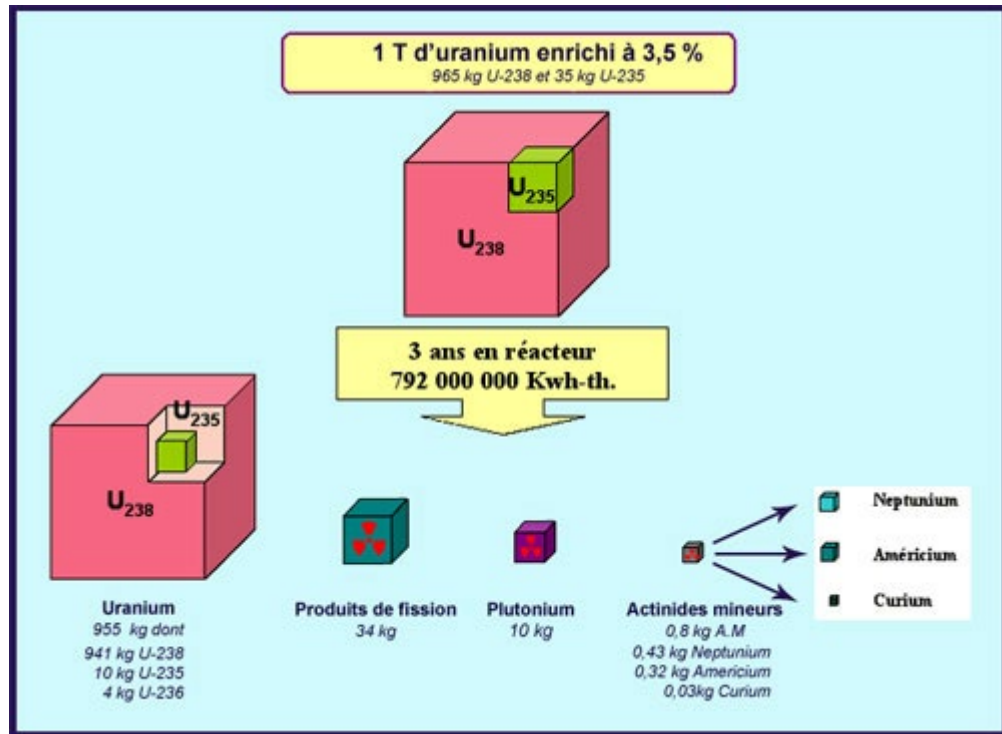


Figure 3 : Les composantes du combustible neuf et utilisé

Source : La radioactivité.com,

https://www.laradioactive.com/site/pages/Combustible_Nucleaire_Use.htm, consulté le 5 janvier 2021

Le **combustible usé**^{F02} contient environ 1 % d'**uranium 235** et environ 1 % de **plutonium** (Figure 3), directement réutilisables pour produire de l'énergie. Il est par ailleurs composé de plus de 90 % d'**uranium 238**, qui n'est que très faiblement radioactif et qui peut être **recyclé** et converti en combustible.

Pour le reste, il contient aussi des quantités non négligeables de produits de **fission**, ainsi que des produits d'activation et des « actinides », autant d'éléments artificiels formés dans les **réacteurs** par capture successive de **neutrons**. Ce sont ces éléments qui empêchent l'utilisation continue du

combustible après trois à cinq ans. Ils capturent des **neutrons**, mais ne fissionnent pas ; c'est ce que l'on appelle la « capture parasite ».

Les produits de **fission** et d'activation, ainsi que les actinides représentent la vaste majorité de la radioactivité contenue dans le **combustible usé**^{F02}, qui le rend dangereux. Il faut donc séparer l'**uranium** et le **plutonium**, qui ont une utilité énergétique, des autres matières, non réutilisables et de faible volume, mais hautement radioactives (Reuss, 2007, p. 75).

De fait, le **retraitement** du **combustible usé**^{F02} a un triple objectif. Premièrement, il permet d'en récupérer les **matières valorisables** et de les recycler, pour ainsi approfondir l'usage du potentiel énergétique des matières nucléaires déjà extraites. Deuxièmement, il permet d'isoler les produits de **fission**, qui ensemble sont hautement radioactifs même s'ils ne représentent qu'un pourcentage très faible du volume ; il devient ainsi possible de réduire le volume des **déchets** qui exigent un confinement et un enfouissement géologique. Troisièmement, sont ainsi créés des stocks de matériaux indispensables pour les **réacteurs nucléaires** du futur, dont il sera question ci-dessous.

Par ailleurs, le **retraitement** du combustible permet aussi d'économiser les matières premières en limitant l'extraction d'**uranium** naturel, agissant ainsi en faveur de l'environnement, même si cet argument écologique n'est que rarement invoqué (Pataran, 2002, p. 15).

Après avoir séjourné dans un réacteur, le **combustible usé**^{F02} est d'abord **refroidi** dans une **piscine** sur le site de la centrale, pendant environ un an. Il est ensuite acheminé vers l'usine de La Hague pour une autre période d'**entreposage**^{F04}, puis fait l'objet d'un **retraitement**. À cet effet, le **combustible usé**^{F02} est d'abord découpé et ensuite dissous dans de l'acide, ce qui permet de le traiter chimiquement pour en récupérer les **matières valorisables**, particulièrement le **plutonium** et l'**uranium 235**. Puis, ce **plutonium** est mélangé à de l'**uranium appauvri** (il est dit appauvri car sa teneur en **uranium 235** est très faible) pour produire un nouveau combustible appelé **MOX**

(*Mixed uranium and plutonium OXide*, mélange d'**oxydes d'uranium** et de **plutonium**, dont le nom est calqué sur celui du combustible le plus couramment utilisé : l'**UOX** (*Uranium OXide*). Près de la moitié des **centrales nucléaires** de France utilisent aujourd'hui du combustible **MOX** qui charge jusqu'à un tiers de leurs **cœurs** (Reuss, 2007, p. 80).

Les produits de **fission** et d'activation, hautement radioactifs, sont, eux, stabilisés dans une matrice de verre, par un processus que l'on appelle la « vitrification ». Ces **déchets** vitrifiés sont bien plus sûrs et faciles à manipuler pour les insérer dans des surconteneurs (contenants externes supplémentaires à visée protectrice) et les déposer dans un lieu de **stockage**^{F04} définitif.

Parmi les nations industrialisées, la France a fait peut-être le plus de progrès vers un **retraitement** et une réutilisation les plus complets du **combustible nucléaire usé**^{F02}. Le pays a réalisé son premier procédé de **retraitement** à l'usine de Marcoule dans le Gard. C'est cependant l'usine Orano de La Hague dans la Manche qui est actuellement considérée comme le leader mondial dans le **retraitement** du **combustible nucléaire usé**^{F02}.

C'est ce recyclage de **matières valorisables** contenues dans le **combustible nucléaire usé**^{F02}, ce « bouclage du cycle » tel qu'il existe aujourd'hui, qui est le sujet du texte-support.

1.5 Sensibilité politique du sujet

Étant **fissiles**, le **plutonium** 239 tout comme l'**uranium** 235 peuvent être utilisés pour fabriquer des armes atomiques. Le tout premier **réacteur nucléaire** aux États-Unis avait précisément pour but la production de **plutonium** militaire. La deuxième bombe atomique, larguée sur Nagasaki, était une bombe à **plutonium** (Mahaffey, Atomic Accidents, 2014, p. 43).

La communauté internationale a donc intérêt à sécuriser le **plutonium** et prévenir que ce matériau ne tombe dans les mains de groupes terroristes et d'États parias. Sa gestion fait l'objet de traités internationaux, notamment le Traité sur la **non-prolifération** des armes nucléaires de 1968, et d'un régime de garanties assurées par l'**Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)**, dont l'objectif est de décourager la prolifération des armes nucléaires.

De rigoureux contrôles sont réalisés pendant toutes les étapes de séparation et de gestion du **plutonium**. Les États déclarent annuellement auprès de l'**AIEA** les quantités de **plutonium** qui ont été séparées ou qui sont présentes dans des stocks de combustible (Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, 2018, p. 43/101).

Le texte-support contient les références au traité international sur la **non-prolifération** des armes atomiques et à des directives de l'**AIEA** sur la gestion du **plutonium**.

1.6 Réacteurs du futur



Figure 4 : Surgénérateur Superphénix à Creys-Malville

Source : La Radioactivité.com, <https://www.laradioactivite.com/site/pages/lasurgeneration.htm>,
consulté le 5 janvier 2021

Même usé (à cause de la présence trop importante de produits de fission et d'activation, et d'actinides), le **combustible nucléaire** contient bien des **matières valorisables** ; qui plus est, il conserve toujours plus de 90 % de son potentiel énergétique. Au lieu d'être considéré comme un « **déchet** », on peut donc le voir à juste titre comme une source d'énergie pratiquement inépuisable. Comme on l'a vu ci-dessus, son potentiel est déjà exploité en partie dans plusieurs pays telle la France.

Mais il importe encore plus que l'**uranium** et le **plutonium** puissent un jour être utilisés comme combustible dans les **réacteurs à neutrons rapides**. En effet, ces **réacteurs** de nouvelle génération promettent une véritable abondance d'énergie pour l'humanité pour les siècles à venir, car fondés eux aussi sur l'exploitation du **plutonium 239** comme **cœur fissile** et de l'**uranium 238** comme couverture **fertile**, (couverture constituée d'un matériau à irradier dit fertile, placé à la périphérie du cœur du réacteur) ils produisent plus de ressources énergétiques

qu'ils n'en consomment. C'est pourquoi on les appelle aussi les réacteurs **surgénérateurs** (Figure 4).

Les **réacteurs à neutrons rapides** pourront également nous aider à nous débarrasser des véritables **déchets nucléaires** que sont les matériaux radioactifs non valorisables.

Comme nous l'avons vu précédemment, c'est la capture de **neutrons** qui fait fonctionner un **réacteur nucléaire**. Cette capture aboutit soit à la transformation du noyau capturant en un autre élément (ainsi l'uranium 238 devient plutonium 239), soit à une déstabilisation prenant la forme d'une **fission** du noyau capturant, qui provoque la réaction nucléaire. Cette règle vaut également pour les éléments issus d'une capture parasite, c'est-à-dire qu'en les exposant aux **neutrons**, on peut soit transformer les éléments fortement radioactifs en d'autres éléments, moins nocifs, soit les faire fissionner. Il faut juste suffisamment de **neutrons**, ce qui n'est pas envisageable dans un **réacteur** classique.

En effet, dans les **réacteurs** traditionnels, dits « à **neutrons lents** », les **neutrons** sont précieux. Il y en a à peine assez pour maintenir une **réaction en chaîne** efficace. Un matériau dit modérateur est utilisé pour ralentir les neutrons et ainsi augmenter la probabilité de fission et donc la continuité de la réaction en chaîne. Des neutrons sont néanmoins perdus parce qu'ils sont capturés par le modérateur. En revanche, la technologie des **réacteurs à neutrons rapides** n'incorpore pas de modérateur et les **neutrons** y sont donc très rapides. Il y en a par ailleurs assez pour, tout en même temps, produire de l'énergie, convertir un matériau **fertile** en matériau **fissile**, et transformer les éléments radioactifs en éléments plus stables.

Entrée en service en 1966, l'usine de retraitement de La Hague avait été conçue pour extraire du **plutonium** pour les futurs **réacteurs à neutrons rapides**, qui étaient alors censés bientôt être mis en route. De tels **réacteurs** ont existé et continuent effectivement d'exister dans plusieurs pays.

On estimait même alors qu'à l'horizon 2000 ils contribueraient à hauteur de près de 30 % de toute l'énergie nucléaire produite dans le monde (Маргулис, 1988, стр. 207). Les **réacteurs à neutrons rapides** Phénix (à Marcoule dans le Gard) et Superphénix (à Creys-Malville dans l'Isère) ont ainsi été exploités pendant plusieurs décennies en France avec des résultats techniques très prometteurs.

Le développement des **réacteurs à neutrons rapides** a été grandement freiné pour diverses raisons économiques et surtout politiques : la disponibilité des ressources naturelles d'**uranium**, la reconversion d'une partie des stocks d'armes nucléaires à des fins énergétiques, mais surtout le fait que l'humanité continue de tabler sur les ressources énergétiques carboniques (pétrole, charbon et gaz) qui restent abondantes et peu chères. Les **réacteurs à neutrons rapides** français ont, quant à eux, été mis à l'arrêt pour des raisons purement politiques (arrivée au pouvoir en 1997 d'un gouvernement auquel participaient Les Verts (Bonin, 2012, p. 83).

Finalement, les **réacteurs** actuels à **neutrons** lents ont pris le relais pour assurer le **recyclage**. Mais un jour, avec l'épuisement inévitable des autres ressources énergétiques, la filière des neutrons rapides ne pourra que renaître et prendre son véritable envol (Reuss, 2007, p. 79).

Le **recyclage** des matières nucléaires dans les **réacteurs à neutrons rapides** n'est que brièvement évoqué dans le texte-support. Cependant, cette notion est indispensable pour comprendre la vraie valeur énergétique des matières impliquées.

1.7 Conclusion

Fut une époque où le pétrole était bien connu de l'homme mais très peu utilisé. En dehors de son application militaire (on le jetait sur les navires ennemis pour les incendier) et de servir pour un éclairage rudimentaire, pendant de nombreux siècles, l'homme n'avait guère trouvé d'utilité à cette matière. Pourtant, c'est précisément le pétrole qui sert de base énergétique à notre société moderne.

L'**uranium** et le **plutonium** se trouvent actuellement dans une niche équivalente à celle que le pétrole occupait avant l'ère industrielle : on sait fabriquer des bombes avec, mais nos capacités à réaliser leur potentiel énergétique demeurent encore extrêmement limitées.

Ce serait donc faire preuve d'une vision à très court terme que de priver les générations futures de cette source d'énergie formidable dont nous savons encore bien mal tirer parti. Pour l'instant, l'usage que nous en faisons demeure embryonnaire mais un jour viendra où nous en profiterons pleinement. Les ingénieurs du nucléaire font ce qu'ils peuvent pour bien gérer cette ressource, en retirer les éléments nocifs, la réutiliser mais surtout la conserver précieusement pour les générations à venir.

Un autre sujet n'a pas été abordé : le **thorium**. Le **thorium** est un élément encore plus abondant dans la nature que l'**uranium**, et il peut également être utilisé comme **combustible nucléaire**. Le thorium ne « brûle » pas directement dans un **réacteur**, mais il est **fertile** : en capturant un **neutron** il se transforme en **uranium 233**, qui lui est **fissile** tout comme l'**uranium 235** ou le **plutonium 239**. Il faut donc arriver à exposer le thorium aux **neutrons**, dans un **réacteur** alimenté en **uranium** et en **plutonium**.

Ces trois éléments – l'**uranium**, le **plutonium** et le **thorium** – ont le potentiel de satisfaire tous les besoins énergétiques de l'humanité pour des centaines, voire des milliers d'années. Il s'agit là d'un réservoir énergétique gigantesque qu'on a à peine commencé à exploiter (Reuss, 2007, p. 113).

Les humains ont été gâtés depuis deux siècles industriels par l'abondance des combustibles fossiles, plus précisément le charbon, le pétrole et le gaz naturel, qui ont été préférés à toute autre forme d'énergie. On sait cependant que ces ressources sont tarissables et que la situation actuelle n'est donc pas soutenable à long terme. La manne des énergies carbonées ne durera pas infiniment.

L'humanité commence également à prendre conscience des conséquences climatiques de l'utilisation démesurée des hydrocarbures. Avec la hausse des températures, la question de la diminution de notre empreinte carbone se pose. L'homme devra faire un choix : soit il se serre la ceinture en terme énergétique, soit il développe d'autres sources d'énergie.

Les ressources énergétiques renouvelables, bien que propres, sont trop faibles en puissance et trop intermittentes pour satisfaire tous nos besoins énergétiques. (Маргулис, 1988, стр. 156). Elles sont certes plus ou moins compatibles avec un style de vie frugal, mais le fonctionnement d'une économie moderne requiert des sources énergétiques bien plus puissantes, pilotables et disponibles sur demande. Tôt ou tard, l'humanité retournera vers le nucléaire.

Même si les matières que l'on récupère du **combustible usé**^{F02} ne sont pas complètement réutilisées aujourd'hui, elles trouveront sans aucun doute leur utilité plus tard. « Ce qui est **déchet** aujourd'hui peut devenir ressource demain » (Bonin, 2012, p. 196). Et jusque-là, c'est la France qui a fait le plus de progrès vers l'objectif de sauvegarder le plus de **matières nucléaires valorisables** et de les rendre disponible à une utilisation ultérieure.

2. Texte-support et sa traduction

Le texte-support est tiré de la *Présentation du « Cycle du combustible » français en 2018*, publiée le 27 juillet 2018 par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, dont nous avons traduit les pages 37-44.

La version complète du rapport est disponible en ligne à l'adresse suivante : http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/HCTISN_rapport_cycle_2018_cle0af1f2.pdf

Le texte source contient 3 469 mots, et sa traduction 2 884 mots.

Dans la partie qui suit, à compter de la page 29, l'original en français est présenté sur les pages impaires et la traduction russe sur les pages paires.

Toutes les notes de bas de page présentes dans le texte-support ont été gardées telles quelles (y compris la numérotation) et traduites en russe.

Les termes qui font partie du glossaire sont présentés en **gras**.

Les termes pour lesquels des fiches terminologiques ont été créées sont marqués du numéro de fiche. Exemple : **entreposage**^{F04}.

Les expressions ou phrases représentant des difficultés de traduction particulières faisant l'objet d'une discussion dans la Stratégie de traduction sont surlignées **en gris**.

Une fois terminée, la traduction a été revue par mon spécialiste-référent, M. Denys Tkachov. Diplômé de l'Institut d'ingénierie nucléaire d'Obninsk, une des écoles les plus renommées dans

le domaine du nucléaire dans l'ex-URSS, M. Tkachov, anciennement de la Centrale nucléaire de Tchernobyl, est en ce moment employé en tant que conseiller principal pour les technologies nucléaires chez Enconet Consulting GmbH à Vienne en Autriche.

La revue par M. Tkachov n'a pas suscité de modifications extensives de la traduction effectuée. Cependant il a posé nombre de questions qui sont, ainsi que les réponses fournies par mes soins, présentées en **Annexe I** (en russe).

Matières nucléaires valorisables

Pour le plutonium :

Le plutonium est valorisé pour fabriquer du combustible **MOX** : cf. § II.3.2.4.2 Le **recyclage** du **plutonium**. Pour mémoire, de l'ordre de 10,8 tML de **plutonium** sont produites par an (soit 5 kg pour un **assemblage**^{F01} **combustible usé**^{F02} de 500 kg).

Pour l'uranium de retraitement :

Pour mémoire, pour un **traitement** de l'ordre de 1 080 t par an, 1 026 tML d'**URT** sont produites par an (soit 470 kg pour un assemblage **combustible usé**^{F02} usé de 500 kg).

Aujourd'hui, l'**uranium de retraitement** n'est plus valorisé, mais il l'a été et il est prévu qu'il le soit à nouveau à partir de 2023.

En effet, l'**URT** peut être ré-enrichi pour produire de l'**uranium de retraitement enrichi (URE)** utilisé pour la fabrication de combustibles **URE**.

Повторно используемые ядерные материалы

Плутоний:

Плутоний используется для производства ядерного топлива типа **МОКС**: см. § П.3.2.4.2

Повторное использование плутония. Напомним, что ежегодно производится порядка 10,8 тТМ плутония (что соответствует 5 кг на каждую **отработавшую**^{F02} **тепловыделяющую сборку**^{F01} весом 500 кг).

Переработанный уран:

Напомним, что в результате **переработки** порядка 1 080 т исходного материала ежегодно производится 1 026 тТМ **переработанного урана** (что соответствует 470 кг на каждую **отработавшую тепловыделяющую сборку**^{F02} весом 500 кг).

В настоящее время **переработанный уран** повторно не используется; при этом его повторное использование осуществлялось ранее и предполагается его возобновление с 2023 года.

С практической точки зрения, **переработанный уран** может быть обогащен повторно для производства **обогащенного переработанного урана** и изготовления из него ядерного топлива.

En France, les 4 **réacteurs** de 900 MWe de la **centrale nucléaire** de Cruas sont autorisés à fonctionner avec du **combustible URE**. De 1994 à 2013, sur 850 tonnes environ d'URT produites chaque année dans les usines de la Hague, de 300 à 600 tonnes étaient annuellement ré-enrichies³. 4 350 tonnes d'URT ont ainsi pu être ré-enrichies pour fabriquer environ 540 tonnes de combustibles **URE** sur cette période.

Le chargement de combustible **URE** a été interrompu en 2013 pour des raisons industrielles, économiques et environnementales. Après irradiation dans les réacteurs de Cruas, le combustible **URE** n'a pas été retraité. Les **combustibles URE usés**^{F02} sont actuellement **entreposés**^{F04} en **piscine**, essentiellement à La Hague.

EDF a décidé de reprendre à partir de 2023 le **recyclage** de l'URT dans certains de ses **réacteurs**. Cette reprise du recyclage de l'URT a pour objectif d'utiliser au mieux les matières nucléaires issues du **traitement** des combustibles **UNE** usés (actuellement environ 1 026 tonnes d'URT sont produites par an) et de stabiliser puis réduire à terme le stock d'URT lui appartenant (ce stock s'élève actuellement à environ 19 800 tonnes).

²⁶ Le ré-enrichissement de l'URT français a été effectué à l'étranger (Russie et Pays-Bas), car la technologie de diffusion gazeuse mise en œuvre dans l'installation française d'Orano (George Besse I) ne le permettait pas (elle était dédiée exclusivement à l'enrichissement de l'uranium naturel).

Четыре энергоблока мощностью 900 МВт-э АЭС Крюа во Франции имеют разрешение на эксплуатацию ядерного топлива из обогащенного переработанного урана. В период с 1994 по 2013 гг., из около 850 тонн переработанного урана, ежегодно производимых на установках комплекса Ла-Аг, от 300 до 600 тонн обогащались повторно⁴. Таким образом, за указанный период 4 350 тонн переработанного урана были обогащены повторно для изготовления около 540 тонн ядерного топлива из обогащенного переработанного урана.

Загрузка топлива из обогащенного переработанного урана в реакторы была остановлена в 2013 году по технологическим, экономическим и экологическим соображениям. После облучения в реакторах АЭС Крюа, ядерное топливо из обогащенного переработанного урана повторно не перерабатывалось. **Отработавшее ядерное топливо**^{F02} из обогащенного переработанного урана в настоящее время находится на **промежуточном хранении**^{F04} в бассейнах выдержки, главным образом в Ла-Аг.

Компанией EDF было принято решение возобновить **повторное использование переработанного урана** на некоторых энергоблоках с 2023 года. Возобновление повторного использования переработанного урана позволит более эффективно использовать ядерные материалы, извлеченные в результате **переработки** отработавшего ядерного топлива из **обогащенного природного урана** (в настоящее время ежегодно производится около 1 026 тонн переработанного урана), а также стабилизировать, а со временем и сократить соответствующие запасы переработанного урана (которые составляют в настоящее время порядка 19 800 тонн).

²⁶ Повторное обогащение переработанного урана АЭС Франции осуществлялось за рубежом (в России и Нидерландах), поскольку технология газовой диффузии, реализованная на соответствующей установке компании Ogope во Франции (Жорж Бесс I), не позволяет его производить (она предназначена исключительно для обогащения природного урана).

Pour ce qui concerne la fabrication de combustibles **URE** de 1994 à 2013 ainsi que l'utilisation de l'**URE** prévue à partir de 2023 se référer à l'*Annexe 6 : Perspectives de valorisation de l'URT*.

II.3.2.4 L'**entreposage**^{F04} d'**URT** et le **recyclage** du **plutonium**

II.3.2.4.1 L'**entreposage**^{F04} d'**URT**

L'**URT** est généralement conditionné sous forme d' U_3O_8 dans des **conteneurs** métalliques de 220 L, d'une contenance moyenne de 250 kg d'uranium avant d'être transporté et **entreposé**^{F04}.

Au 31 décembre 2016, l'inventaire d'**uranium de retraitement (URT)** **entreposé**^{F04} par **Orano** (ex- AREVA), faisait état de l'ordre de 29 600 tonnes, dont environ 19 800 tonnes en attente de restitution à **EDF** - ce dernier en étant le propriétaire, les 9 800 tonnes restantes constituent pour la majeure partie la propriété d'**Orano** et de ses clients étrangers ; ces quantités sont réparties sur les sites suivants :

Вопросы изготовления ядерного топлива из **обогащенного переработанного урана** в период с 1994 по 2013 гг., а также предполагаемого использования **обогащенного переработанного урана** с 2023 г. рассматриваются в *Приложении 6: Перспективы повторного использования переработанного урана.*

II.3.2.4 **Промежуточное хранение**^{F04} **переработанного урана** и **повторное использование плутония**

II.3.2.4.1 **Промежуточное хранение**^{F04} **переработанного урана**

В общем случае, **переработанный уран** в виде U_3O_8 упаковывается в металлические **контейнеры** объемом 220 л, содержащие в среднем 250 кг урана, которые перевозятся на **промежуточное хранение**^{F04}.

По состоянию на 31 декабря 2016 г, суммарные запасы **переработанного урана**, находящиеся на **промежуточном хранении**^{F04} на объектах компании **Orano** (бывшая AREVA), составляли порядка 29 600 тонн, из которых около 19 800 тонн ожидает возвращения в **EDF** (которая является их владельцем); остальные 9 800 тонн принадлежат в основном компании **Orano** и ее иностранным заказчикам. Указанное количество распределено между объектами следующим образом:

Site	Quantités à fin 2016 (Arrondies 10 tML)
Tricastin	29 440 tML
La Hague	170 tML
Total Sites Orano	29 610 tML
Dont clients étrangers	2 680 tML ⁵

Figure 12 : Inventaire de l'**uranium de retraitement** détenu par **Orano**, en attente de restitution à **EDF** et aux clients étrangers (au 31 décembre 2016)

Cet inventaire augmente actuellement d'environ 1 026 t/an dans l'attente de la reprise du **recyclage** de l'URT.

II.3.2.4.2 Le **recyclage** du **plutonium**

II.3.2.4.2.1 La fabrication du combustible **MOX**

Environ 10,8 tonnes de **plutonium** issues du traitement des **combustibles UNE usés**^{F02}, associées à de l'**uranium appauvri** (celui-ci entrant à plus de 90% dans la composition du **combustible**) sont mises en œuvre chaque année pour la fabrication d'**assemblages combustible**^{F01} dits « **MOX** » (Mélange d'Oxydes de plutonium et d'**uranium appauvri**).

²⁷ Lors des opérations de retraitement des combustibles usés, l'URT est affecté en qualité et en quantité à chaque client, en fonction des tonnages traités. L'URT est ensuite entreposé par Orano, en attente de restitution au client. En tant que matière valorisable, elle peut ensuite faire l'objet de transactions commerciales entre les différents clients.

Объект	Количество по состоянию на конец 2016 г. (округление до 10 тТМ)
Трикастен	29 440 тТМ
Ла-Аг	170 тТМ
Всего объекты Orano	29 610 тТМ
В т.ч. принадлежит иностранным заказчикам	2 680 тТМ ⁶

Рис. 12: Запасы **переработанного урана** на объектах компании **Orano**, ожидающего возвращения компании **EDF** и иностранным заказчикам (по состоянию на 31 декабря 2016)

Указанные запасы ежегодно увеличиваются на 1 026 тонн в год в ожидании возобновления **повторного использования переработанного урана**.

II.3.2.4.2 Повторное использование плутония

II.3.2.4.2.1 Изготовление ядерного топлива типа МОКС

Порядка 10,8 тонны плутония, извлекаемого при переработке **отработавшего ядерного топлива**^{F02} из **обогащенного природного урана**, используется ежегодно в смеси с **обедненным ураном** (составляющим свыше 90 % материала **ядерного топлива**) для изготовления **тепловыделяющих сборок**^{F01} типа «МОКС» (смесь оксидов **плутония** и **обедненного урана**).

²⁷ В ходе переработки отработавшего ядерного топлива, переработанный уран распределяется по количеству и качеству между заказчиками соответственно исходному объему топлива, поступившего на переработку. Переработанный уран затем помещается на промежуточное хранение на объектах компании Orano в ожидании возвращения заказчику. Представляя собой коммерческую ценность, данный материал может выступать в качестве объекта транзакций между различными заказчиками.

Le combustible **MOX** est aujourd'hui fabriqué par Orano dans l'usine MELOX à Marcoule selon les étapes décrites sur la figure ci-dessous. Il est constitué d'environ 10% de **plutonium** et d'environ 90% d'**uranium appauvri**.

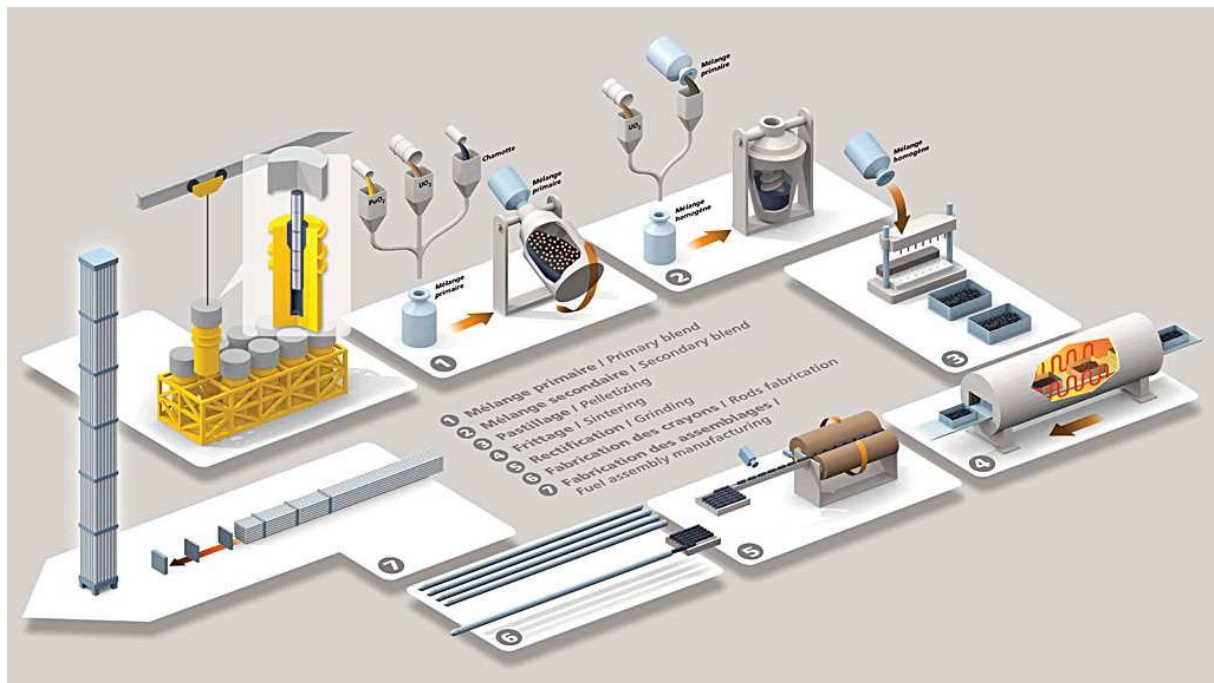


Figure 13 : Procédé de fabrication du combustible **MOX**

Ядерное топливо типа **МОКС** изготавливается компанией **Orano** на установке MELOX комплекса Маркуль по технологии, основные этапы которой представлены графически на рисунке. Состав данного топлива представлен примерно на 10% **плутонием** и на 90% **обедненным ураном**.

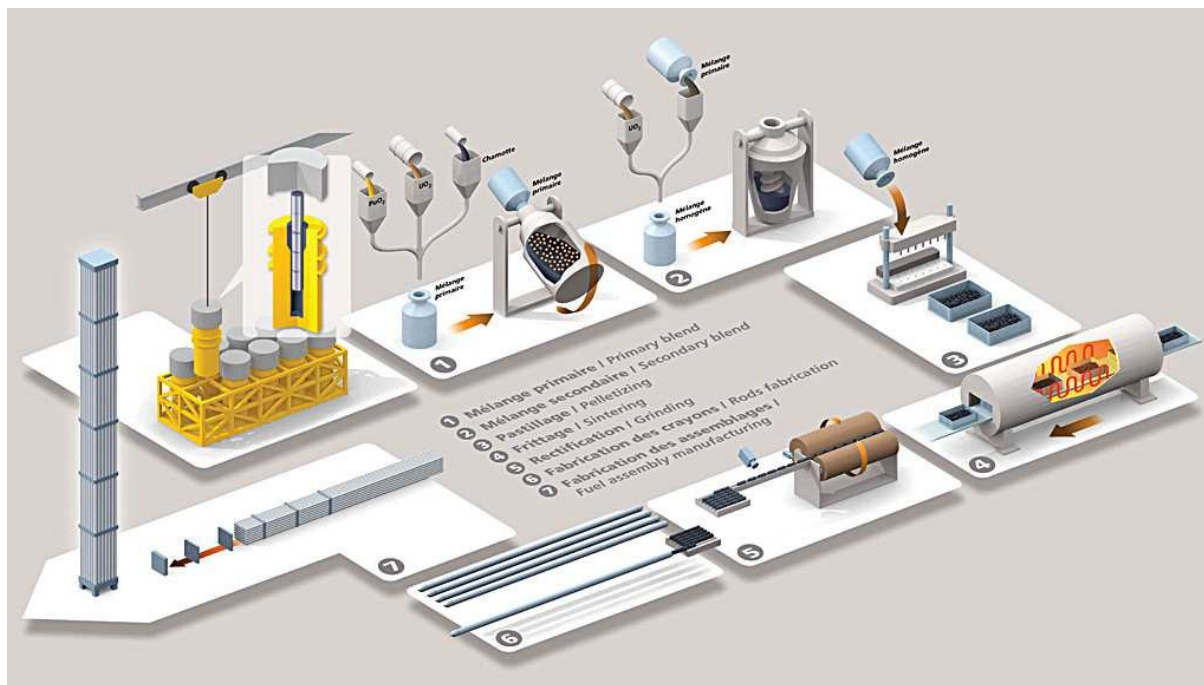


Рис. 13: Технологический процесс изготовления ядерного топлива **МОКС**

La fabrication du **combustible MOX** s'apparente à celle des combustibles à **oxyde d'uranium**. Elle se déroule selon les phases suivantes (les repères mentionnés étant ceux figurant sur le schéma de la figure 13 ci-dessus) :

- La production d'un mélange primaire, à partir de poudres d'**oxyde de plutonium**, d'**oxyde d'uranium appauvri** et de « chamotte » : le procédé mis en œuvre permet de recycler au travers de cette « chamotte » (cf. repère 1) des rebuts de fabrication. Les rebuts qui ne peuvent être recyclés directement sont envoyés à l'usine de La Hague en vue de leur **traitement**. Typiquement, le taux de rebut représente de l'ordre de 3 à 5 tML pour 100 tML produites à MELOX, l'objectif permanent étant de réduire ce taux ;
- La production du mélange secondaire (cf. repère 2) : de l'**oxyde d'uranium appauvri** est ajouté au mélange primaire pour obtenir la teneur en **plutonium** recherchée, entre environ 3 et 12 %, selon les besoins des **réacteurs** ;
- Le pastillage (cf. repère 3) : après une étape d'homogénéisation, la poudre est transférée dans des presses permettant d'obtenir des **pastilles** dites « pastilles crues » ;
- Le frittage (cf. repère 4) : les **pastilles** crues sont introduites dans des fours à haute température pour être converties en céramique ;
- La rectification (cf. repère 5) : les **pastilles** sont rectifiées entre deux meules afin d'obtenir le diamètre requis, au micron près. Les **pastilles** non conformes sont renvoyées en amont pour y être recyclées sous forme de « chamotte » ;

Изготовление **МОКС-топлива** во многом аналогично производству топлива из **оксида урана**. Оно предусматривает следующие этапы технологического процесса (они также представлены схематически на рис. 13):

- Производство первичной смеси из порошков **оксида плутония**, **оксида обедненного урана** и т.н. «шамота» (технологический процесс реализован таким образом, чтобы хвосты производства перерабатывались в виде шамота – см. п. 1). Хвосты производства, которые не могут быть переработаны по месту, направляются для **переработки** на комплекс Ла-Аг. Как правило, неперерабатываемые хвосты составляют порядка 3-5 тТМ на каждые 100 тТМ производства установки MELOX; ведется постоянная работа по снижению данного количества;
- Производство вторичной смеси (см. п. 2): к первичной смеси добавляется **оксид обедненного урана** для обеспечения необходимого содержания **плутония** – от 3 до 12 %, в зависимости от потребностей **реактора**;
- Прессование (см. п. 3): после гомогенизации, готовый порошок направляется на прессование, результатом которого являются так называемые «сырые» **топливные таблетки**;
- Спекание (см. п. 4): сырые **таблетки** помещаются в высокотемпературные печи для спекания в керамические изделия;
- Шлифовка (см. п. 5): изготовленные **таблетки** обрабатываются двумя шлифовальными головками для точного обеспечения (до микрона) необходимого диаметра. Не соответствующие предъявляемым требованиям **таблетки** отбраковываются и возвращаются в начало технологического цикла в виде «шамота»;

- Le gainage (cf. repère 6) : les pastilles sont ensuite insérées dans des tubes en alliage de zirconium appelés "**crayons**"^{F03}. Un **crayon d'assemblage**^{F01} type **REP 900 MWe** mesure environ 4 mètres de long et est composé d'environ 320 **pastilles** en fonction des exigences des clients. Les **crayons**^{F03} sont ensuite nettoyés, puis contrôlés ;
- L'assemblage (cf. repère 7) : cette dernière étape consiste à insérer les crayons dans une structure métallique pour former un "**assemblage**"^{F01}. Cet **assemblage**^{F01} constitue le produit fini livré au client. Ces **assemblages**^{F01} sont également soumis à des contrôles de fabrication, afin de vérifier leur futur comportement en **réacteur**.

La teneur en plutonium des **combustibles MOX** est adaptée de façon à atteindre des performances équivalentes à celles de l'UOX (actuellement 8,65% pour le **combustible MOX** d'EDF).

L'**uranium appauvri** pour la fabrication de **combustible MOX** au sein de l'usine MELOX est sous forme de poudre d'oxyde d'uranium (UO₂). Jusqu'en 2009, l'**UO₂ appauvri** était produit à partir de nitrate d'uranyle appauvri dans l'atelier TU2 du Tricastin, mis depuis à l'arrêt. Depuis 2011, l'**UO₂ appauvri** est obtenu par défluoration directe d'UF₆ appauvri au sein de l'usine de fabrication de combustible de **Framatome** de Lingen (Allemagne).

De façon à accroître la flexibilité de production, **Orano** évalue actuellement la potentielle construction d'un atelier qui permettrait de nouveau la fabrication d'UO₂ à partir de nitrate d'uranyle issu d'une dissolution de l'U₃O₈ appauvri (procédé analogue à celui mis en œuvre dans l'ex-atelier TU2).

- Размещение в оболочки (см. п. 6): таблетки устанавливаются в трубки из циркониевого сплава – «**ТВЭЛЫ**»^{F03}. Длина **ТВЭЛА**^{F03} **тепловыделяющей сборки**^{F01} **реактора с водой под давлением** мощностью 900 МВт-э составляет около 4 м; в него помещаются порядка 320 **топливных таблеток** (точное количество зависит от требований заказчика). **ТВЭЛЫ**^{F03} затем подвергаются очистке и приемочному контролю;
- Производство тепловыделяющих сборок (см. п. 7): заключительный этап, предполагающий размещение ТВЭЛОВ в металлическом каркасе, образующем «**тепловыделяющую сборку**»^{F01}. **Тепловыделяющая сборка**^{F01} представляет собой законченное изделие, поставляемое заказчику. **Тепловыделяющие сборки**^{F01} также проходят приемочный контроль для подтверждения свойств, важных для их будущей эксплуатации в **реакторе**.

Содержание **плутония** в **МОКС-топливе** определяется таким образом, чтобы его эксплуатационные характеристики были аналогичны урановому топливу (в настоящее время для **МОКС-топлива** EDF оно составляет 8,65%).

Обедненный уран, применяемый для изготовления **МОКС-топлива** на установке MELOX, имеет форму порошка оксида урана (UO₂). Вплоть до 2009 г, **обедненный UO₂** изготавливался из нитрата уранила, обедненного на установке TU2 комплекса Трикастен, которая была затем остановлена. Начиная с 2011 г, **обедненный UO₂** получается в результате прямого дефторирования UF₆, обедненного на заводе по изготовлению ядерного топлива **Framatome** в г. Линген (Германия).

С целью повышения технологической гибкости своего производства компания **Orano** рассматривает в настоящее время возможность сооружения установки, которая позволила бы возобновить производство UO₂ из нитрата уранила, полученного растворением обедненного U₃O₈ (процесс, аналогичный существовавшему на бывшей установке TU2).

II.3.2.4.2.2 La valorisation sous forme de **combustible MOX**

Le **recyclage** du **plutonium** s'est mis en place progressivement avec le démarrage de l'usine de fabrication MELOX, puis l'augmentation progressive du nombre de **réacteurs** autorisés à utiliser du **MOX** et la hausse de la teneur d'incorporation du **plutonium** dans les **MOX** (gestion dite « Parité MOX »).

De 22 **réacteurs** en 2010, ce sont maintenant 24⁷ **réacteurs** qui sont autorisés par décret pour utiliser du combustible MOX. Près de 10 % de l'électricité nucléaire est aujourd'hui produite grâce à ce combustible.

Les 24 **réacteurs** qui sont autorisés à utiliser du **combustible MOX** sont les réacteurs du palier CPY - 900 MWe, à l'exception des 4 **réacteurs** de Cruas, c'est-à-dire :

- Les 4 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Dampierre,
- Les 6 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Gravelines,
- Les 4 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Blayais (cf. note 28),
- Les 4 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Tricastin,
- Les 4 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Chinon,
- Les 2 **réacteurs** de la **centrale nucléaire** de Saint-Laurent.

Ces **réacteurs** sont signalés par un point rouge sur la carte de France des réacteurs (cf. Figure 1).

²⁸ Pour 2 des 24 réacteurs, une autorisation spécifique de l'ASN est toutefois nécessaire, ces réacteurs devraient être moxables en 2019/2020 d'après EDF (il s'agit de 2 réacteurs de la centrale nucléaire de Blayais).

II.3.2.4.2.2 Повторное использование в виде **МОКС-топлива**

Повторное использование плутония было поэтапно реализовано с вводом в работу установки MELOX, с последующим постепенным увеличением числа **энергоблоков**, имеющих разрешение на эксплуатацию **МОКС-топлива**, и повышением содержания **плутония в МОКС-топливе** (т.н. «МОКС-паритет»).

Разрешение на эксплуатацию МОКС-топлива, имевшееся в 2010 г. у 22 **энергоблоков**, в настоящее время выдано 24 **энергоблокам**⁸. На сегодняшний день порядка 10 % электрической энергии ядерного происхождения производится благодаря эксплуатации данного вида топлива.

24 **энергоблока**, имеющие разрешение на эксплуатацию **МОКС-топлива**, относятся к серии СРУ мощностью 900 МВт-э (за исключением 4-х **энергоблоков** АЭС Крюа):

- 4 **энергоблока** АЭС Дампьер,
- 6 **энергоблоков** АЭС Гравлин,
- 4 **энергоблока** АЭС Блайе (см. прим. 28),
- 4 **энергоблока** АЭС Трикастен,
- 4 **энергоблока** АЭС Шинон,
- 2 **энергоблока** АЭС Сен-Лоран.

Эти **энергоблоки** обозначены красными точками на карте АЭС Франции (см. рис. 1).

²⁸ При этом для двух из 24 энергоблоков требуется специальное разрешение Агентства ядерной безопасности Франции (ASN). По сведениям EDF, применение МОК-топлива на этих энергоблоках предполагается с 2019/2020 г. (речь идет о двух энергоблоках АЭС Блайе).

Ce combustible est chargé dans les **réacteurs** adaptés, à hauteur de 30% d'assemblages combustibles MOX dans un **cœur**, le reste du cœur du réacteur étant constitué d'**assemblages combustibles**^{F01} « classiques » (i.e. fabriqués à partir de **pastilles** d'**uranium naturel enrichi** « UNE »).

Désormais, les **combustibles MOX** sont conçus pour être équivalents en termes de propriété énergétique aux combustibles **UNE** contenant 3,7% en **uranium 235** chargés dans les mêmes réacteurs (i.e un **assemblage combustible MOX** produit la même énergie qu'un combustible **UNE**).

Depuis 1987, environ 5 200 **assemblages MOX** (soit 2 400 tML) ont été chargés en réacteur, ce qui représente le recyclage d'environ 140 tonnes de **plutonium**.

Zoom sur les taux de recyclage :

Sur 1 200 tonnes de combustibles chargées chaque année dans les **réacteurs**, 120 tonnes sont des combustibles **MOX** fabriqués à partir des 10,8 tonnes de **plutonium** recyclé.

Ядерное топливо типа МОКС применяется на приспособленных к нему энергоблоках, составляя 30 % загрузки **активной зоны** – остальная часть загрузки представлена **тепловыделяющими сборками**^{F01} «классического» типа (т.е. изготовленному с применением **топливных таблеток** из **обогащенного природного урана**).

Проектные характеристики МОКС-топлива определяются таким образом, чтобы по своим тепловыделяющим свойствам оно было аналогично топливу из природного **урана** с обогащением 3,7% по **урану-235**, используемому в этой же активной зоне (т.е. тепловыделение **МОКС-сборки** должно соответствовать сборке из **обогащенного природного урана**).

Начиная с 1987 г, на эксплуатацию в активных зонах было установлено около 5 200 тепловыделяющих сборок типа **МОКС** (т.е. 2 400 тТМ), что соответствует **повторному использованию** примерно 140 тонн **плутония**.

Коэффициент повторного использования извлеченных материалов – подробно:

Из 1 200 тонн ядерного топлива, ежегодно загружаемого в активные зоны энергоблоков, 120 тонн представлены МОКС-топливом, изготовленным с применением 10,8 тонны **плутония**, извлеченного из отработавшего топлива.

Si l'on comptabilise les quantités de matières recyclées, il convient de considérer un taux de recyclage inférieur à 1% correspondant au rapport 10,8 t (matières recyclées) / 1200 t (matières totales chargées).

Si l'on considère le potentiel énergétique des matières, on peut considérer que la fraction économisée de combustible frais à l'**uranium naturel enrichi** permise par le **recyclage** du **plutonium** conduit à établir le rapport 120 t (combustibles issus du recyclage) / 1200 t (totalité des combustibles), ce qui représente un taux de recyclage de 10%⁹. C'est également un taux de 10% qu'il convient de retenir si l'on considère l'économie d'**uranium** naturel permise par le **combustible MOX** (au total 18 000 t d'**uranium** naturel ont été économisées depuis 1987).

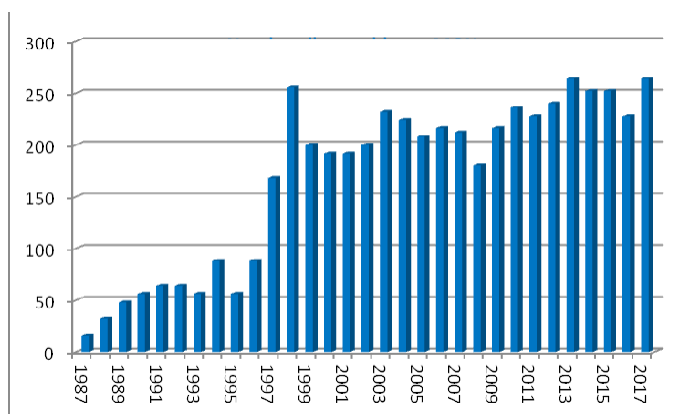


Figure 14 : Chronique de chargement du combustible MOX dans les réacteurs du parc (nombre annuel d'assemblages).

Les **combustibles MOX** ne sont aujourd'hui pas retraités après avoir été utilisés en réacteur.

²⁹ Ce taux s'élèverait à 16 % avec la reprise du recyclage de l'uranium de retraitement sur les 4 réacteurs de Cruas (ces réacteurs fonctionneraient avec 74 t d'URE par an environ).

Если принять за основу общее количество возвращенного в цикл топливного материала, то коэффициент повторного использования составит менее 1% (10,8 т повторно использованных материалов на 1200 т исходной загрузки).

Если принять за основу энергетический потенциал топливных материалов, то можно заключить, что экономия свежего ядерного топлива из **обогащенного природного урана**, достигнутая в результате **повторного использования плутония**, составляет 120 т (переработанное ядерное топливо) на 1200 т (суммарное количество ядерного топлива), что соответствует коэффициенту повторного использования 10%¹⁰. Коэффициент 10% можно принять соответствующим экономии природного **урана** в результате применения **МОКС-топлива** (суммарная экономия природного **урана** с 1987 г. составила 18 000 т).

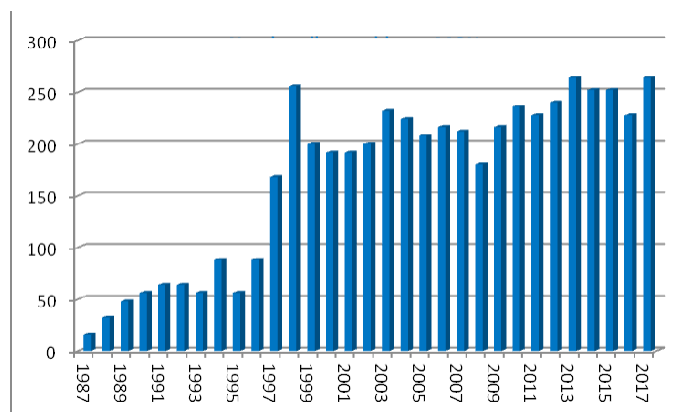


Рис. 14: Хронология загрузки МОКС-топлива в активные зоны энергоблоков (количество тепловыделяющих сборок в год).

МОКС-топливо после его эксплуатации в активной зоне в настоящее время не перерабатывается.

²⁹ Данный коэффициент составит 16 % при возобновлении повторного использования переработанного урана на четырех энергоблоках АЭС Крюка (данные энергоблоки могут потреблять около 74 т обогащенного переработанного урана в год).

Au plan technique, des campagnes industrielles menées à La Hague ont montré que les **combustibles MOX usés** peuvent être retraités selon le même procédé que les **combustibles UNE usés**^{F02}. Ce **recyclage** du **plutonium** contenu dans les **combustibles MOX usés** est étudié dans le cadre du PNGMDR 2016- 2018.

Ces études¹¹ menées par le CEA en lien avec **EDF** et **Orano** dressent le bilan des études de caractérisation technique de scénarios industriels mettant en œuvre différentes options de **cycle du combustible**, le multi-recyclage en **RNR** (référence actuelle) ainsi que l'option de multi-recyclage en **REP**. Concernant cette dernière option, un programme de recherche et de développement conjoint CEA, **EDF**, **Framatome** et **Orano** est actuellement en cours en vue d'envisager la fabrication au début des années 2020, à l'issue de démonstrations de sûreté et sous réserve des autorisations administratives requises, d'un assemblage test de **combustible MOX** afin de tester un second cycle de **recyclage** du **plutonium** dans un **réacteur REP** français.

Dans les conditions d'utilisation actuelle du parc nucléaire français, le **recyclage** du **plutonium** contenu dans les **combustibles MOX** n'est pas réalisé car ce **plutonium** présente un **potentiel énergétique** moindre que celui du **plutonium** extrait du **combustible UNE usé**^{F02}. Cette différence est due à la modification de la composition **isotopique** du **plutonium** durant le séjour en réacteur.

³⁰ Études menées principalement au titre des articles 11 et 51 de l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 (cf. Annexe 7 : *Perspectives d'évolution du « cycle » sur le long terme*).

Проведенные на комплексе Ла-Аг промышленные испытания показали, что с технической точки зрения, **отработавшее МОКС-топливо** может перерабатываться по той же технологии, что и **отработавшее топливо^{F02}** из **обогащенного природного урана**. Повторное использование **плутония**, содержащегося в **отработавшем МОКС-топливе**, было темой исследования, выполненного в рамках Национального плана обращения с радиоактивными материалами и отходами (PNGMDR) в 2016-2018 годах.

Исследование¹², проведенное Комиссариатом по атомной энергии совместно с **EDF** и **Orano**, подвело итоги технического анализа возможных вариантов реализации **ядерного топливного цикла**: многократного повторного использования в **реакторах на быстрых нейтронах** (вариант, принятый на сегодняшний день в качестве основного) и многократного повторного использования в **реакторах с водой под давлением**. В рамках последнего варианта в настоящее время ведется совместная исследовательская программа Комиссариата по атомной энергии, **EDF**, **Framatome** и **Orano**, предусматривающая создание в начале 2020-х годов (по результатам обоснований безопасности и при условии получения необходимых разрешений), пилотной сборки **МОКС-топлива** для подтверждения реализуемости второго цикла **повторного использования плутония** во французских **реакторах с водой под давлением**.

При текущих режимах работы АЭС Франции не предусматривается **повторное использование плутония**, содержащегося в **МОКС-топливе**, поскольку его **энергетический потенциал** ниже, чем у **плутония**, извлекаемого из **отработавшего топлива^{F02}** из **обогащенного природного урана**. Это связано с изменениями **изотопного состава плутония** при его эксплуатации в активной зоне.

³⁰ Данные исследования ведутся главным образом согласно статьям 11 и 51 постановления от 23 февраля 2017 г., принятого в соответствии с декретом № 2017-231 от 23 февраля 2017 г. (см. Приложение 7: *Перспективы долгосрочного развития ядерного цикла*).

Ainsi, en France, compte tenu des conditions techniques et économiques actuelles, il n'est aujourd'hui pas considéré comme intéressant par **EDF** de valoriser immédiatement cette matière dans le parc de **réacteurs à eau pressurisée**. Les **combustibles MOX usés**^{F02}, après avoir suffisamment **refroidi**^{F04} dans les **piscines BK**, sont évacués et sont actuellement **entreposés**^{F04} dans l'usine **Orano** de La Hague. A fin 2016, cet **entreposage**^{F04} est de l'ordre de 1 330 tonnes et constitue une réserve énergétique de **plutonium** qui pourrait être utilisée à plus long terme pour l'alimentation des **réacteurs** de 4ème génération (cf. *Annexe 7 : Perspectives d'évolution du « cycle » sur le long terme*).

II.3.2.4.2.3 La gestion du stock de **plutonium**

Traité relatif à la non prolifération

La France est une partie contractante au **traité sur la non-prolifération** ouvert à la signature à Washington, Londres et Moscou le 1er juillet 1968, et entré en vigueur le 5 mars 1970. En adhérant à ce traité, elle s'est engagée à ne pas fournir de produits **fissiles** spéciaux à d'autres Etats. Les directives de l'**AIEA** relatives à la gestion du plutonium du 16 avril 1998 (INFCIRC/549) rappellent les engagements pris par la France le 28 novembre 1997 en matière de gestion du **plutonium** séparé ou contenu dans du combustible non irradié en vue d'éviter de contribuer au risque de prolifération. Ces engagements consistent notamment à gérer le **plutonium** de manière compatible avec les décisions nationales sur le « **cycle du combustible** » nucléaire tout en garantissant l'utilisation pacifique du plutonium, par un équilibrage de l'offre et de la demande de **plutonium** séparé ou contenu dans du combustible non irradié.

Таким образом во Франции, с учетом имеющихся технических и экономических условий, компания **EDF** не считает целесообразным немедленное повторное использование указанных материалов в **реакторах с водой под давлением**. **Отработавшее МОКС-топливо**^{F02} вывозится с площадок АЭС после достаточной **выдержки**^{F04} в **приреакторных бассейнах** и в настоящее время размещается на **промежуточное хранение**^{F04} на территории комплекса **Orano** Ла-Аг. По состоянию на конец 2016 года, на **промежуточном хранении**^{F04} находится порядка 1 330 тонн такого топлива. Оно составляет энергетический резерв **плутония**, который может в более долгосрочной перспективе использоваться для загрузки **энергоблоков** 4-го поколения (см. *Приложение 7: Перспективы долгосрочного развития ядерного цикла*).

II.3.2.4.2.3 Обращение с запасами **плутония**

Договор о нераспространении

Франция является одной из сторон **Договора о нераспространении** ядерного оружия, который был открыт к подписанию в Вашингтоне, Лондоне и Москве 1 июля 1968 года и вступил в силу 5 марта 1970 года. Подписав данный договор, Франция обязалась не поставлять **делящиеся материалы** специального назначения другим странам. Руководящие принципы **МАГАТЭ** по обращению с плутонием от 16 апреля 1998 (INFCIRC/549) закрепили обязательства, принятые Францией 28 ноября 1997 года относительно обращения с выделенным **плутонием** или **плутонием**, содержащимся в необлученном ядерном топливе, с целью предотвращения риска его несанкционированного распространения. Данные обязательства предусматривают, в частности, обращение с **плутонием** в соответствии с принятыми в стране решениями относительно реализации «**ядерного топливного цикла**» под гарантиями мирного применения **плутония**, с обеспечением баланса между производством и потреблением **плутония**, содержащегося в необлученном ядерном топливе или выделенного из него.

Qu'est-ce que le **plutonium** séparé ? L'irradiation du combustible en **réacteur** produit du **plutonium**. Le **retraitement** a notamment pour objet de séparer et récupérer le **plutonium** contenu dans le **combustible irradié**. Le plutonium, issu de l'opération de retraitement, est appelé **plutonium** séparé, afin de le distinguer du **plutonium** contenu dans du **combustible**.

Cette distinction est importante en termes de **non-prolifération** car la technique de séparation est très difficile à maîtriser. Elle a été consacrée par les directives de l'**AIEA** relatives à la gestion du **plutonium** (INFCIRC/549) que la France a décidé d'appliquer le 28 novembre 1997. Le **plutonium** séparé est ensuite engagé dans le processus de fabrication du **combustible MOX**. Selon les directives précitées, on parle alors de **plutonium** en cours de fabrication ou contenu dans des **éléments combustibles MOX irradiés**.

« L'équilibre Pu »

Dans ce contexte, le **plutonium** est intégralement recyclé « en ligne »¹³ en tenant compte des délais techniques (environ 3 ans de stock de **plutonium EDF** à La Hague) et des fluctuations de production des différentes usines. Pour cela, et afin de ne pas accroître le stock de **plutonium**, le contrat entre **EDF** et **Orano** prévoit que la quantité de **combustible usé**^{F02} traitée annuellement est déterminée de telle sorte que l'ensemble du **plutonium** ainsi récupéré soit recyclé « en ligne » dans la fabrication du **combustible MOX** destiné à être chargé dans les **réacteurs** autorisés à cet effet.

³¹ Le recyclage « en ligne » signifie qu'il n'y a pas augmentation des stocks : le plutonium récupéré doit être recyclé au fil de l'eau (aux délais techniques près).

Что представляет собой выделенный **плутоний**? **Плутоний** образуется при облучении ядерного топлива в **реакторе**. Одной из задач **переработки отработавшего ядерного топлива** является выделение и извлечение из него **плутония**. **Плутоний**, извлеченный в результате **переработки**, называется «выделенным» – в отличие от **плутония**, содержащегося в ядерном топливе.

Данное различие имеет значение для режима **нераспространения**, поскольку технология выделения **плутония** очень сложна в реализации. Данное различие закреплено в Руководящих принципах **МАГАТЭ** по обращению с **плутонием** (INFCIRC/549), решение о применении которых было принято Францией 28 ноября 1997 года. Выделенный **плутоний** затем используется при изготовлении **ядерного топлива типа МОКС**. Таким образом, согласно указанным Руководящим принципам, рассматривается **плутоний**, применяемый при изготовлении **МОКС-топлива** или содержащийся в **облученном МОКС-топливе**.

«Плутониевый баланс»

В данном контексте **плутоний** полностью возвращается в цикл «в оперативном режиме»¹⁴ с учётом технических ограничений (около 3 лет выдержки принадлежащего **EDF плутония** на комплексе Ла-Аг) и колебаний производительности соответствующих заводов. С данной целью, а также чтобы предотвратить увеличение запасов **плутония**, соглашением между **EDF** и **Orano** предусматривается, что количество ежегодно перерабатываемого **отработавшего ядерного топлива**^{F02} определяется таким образом, чтобы весь извлекаемый из него **плутоний** мог «оперативно» возвращаться в цикл и использоваться для изготовления **МОКС-топлива**, предназначенного для эксплуатации на **энергоблоках**, имеющих соответствующие разрешения.

³¹ «Оперативное» повторное использование означает отсутствие роста имеющихся запасов: извлеченный плутоний должен тут же возвращаться в цикл (с учетом технических ограничений).

La mise en place progressive de l'utilisation du **MOX**, réalisée de 1995 à 2007, a conduit à la constitution de stocks de **plutonium** séparés à toutes les étapes du processus industriel. Ces stockstampons, ou en-cours usines, sont nécessaires à la fluidité opérationnelle et à la gestion des aléas.

EDF adapte le niveau de **traitement** de ses **combustibles usés**^{F02} à la capacité de recyclage dans ses réacteurs moxés. Ce principe permet de s'assurer que seul le **plutonium** strictement nécessaire sera produit de façon à maîtriser le stock de « **plutonium séparé** ».

Le principe de gestion qu'applique **EDF** est celui d'un maintien d'un **équilibre « Pu »** entre :

- Le flux d'oxyde de plutonium provenant du retraitement des **combustibles usés**^{F02} et
- Le flux nécessaire à la fabrication de **combustibles MOX**.

EDF indique au sein de l'*Annexe 3 : Quantités de combustible chargé, évacué, traité entre 2010 et 2016* que la quantité de **combustibles UNE usés traitée** est liée à la capacité des tranches du parc à recevoir du **combustible MOX** (actuellement 22 tranches CPY 900 MWe sur 24 autorisées à utiliser du **combustible MOX**). On ne traite pas plus de **combustibles UNE usés** que l'on ne peut charger de **combustibles MOX** dans les réacteurs dédiés. C'est le principe de l'égalité des flux qui évite d'entreposer du « **plutonium séparé** » en quantité supérieure à celle nécessitée par le fonctionnement du cycle (« **plutonium engagé** » dans la fabrication et stock de sécurité).

Постепенная реализация программы применения **МОКС-топлива** с 1995 по 2007 годы привела к образованию запасов выделенного **плутония** на всех этапах технологического процесса. Такие оперативные резервы необходимы для обеспечения технологической гибкости и управления непредвиденными ситуациями.

Компания **EDF** корректирует производительность своих мощностей по **переработке отработавшего ядерного топлива**^{F02} соответственно готовности энергоблоков принимать **МОКС-топливо** на эксплуатацию. Данный принцип обеспечивает, что извлекается только тот объем **плутония**, который не будет увеличивать уже существующие запасы **выделенного плутония**.

Данный принцип применяется EDF с целью обеспечить **«плутониевый баланс»** между:

- Объемом оксида плутония, поступающего от переработки **отработавшего ядерного топлива**^{F02};
- Объемом его потребления для изготовления **МОКС-топлива**.

Согласно информации **EDF**, представленной в *Приложении 3: Объемы загруженного, выгруженного и переработанного ядерного топлива с 2010 по 2016 годы*, количество **перерабатываемого отработавшего ядерного топлива из обогащенного природного урана** привязано к готовности энергоблоков АЭС принять **МОКС-топливо** на эксплуатацию (в настоящее время 22 энергоблока серии СРУ мощностью 900 МВт-э из 24 имеют разрешение на использование **МОКС-топлива**). То есть, **отработавшее ядерное топливо из обогащенного природного урана** перерабатывается в объеме не большем, чем его могут принять **энергоблоки** в виде **МОКС-топлива**. Это и есть принцип баланса между производством и потреблением «выделенного **плутония**», который позволяет предотвратить образование его запасов сверх технологической необходимости (**плутоний**, предназначенный для изготовления, плюс резерв).

Lors de la fabrication du **combustible MOX** dans l'usine MELOX de Marcoule appartenant à Orano Cycle, des **assemblages combustibles**^{F01} **MOX** peuvent être produits et rebutés (cf. II.3.2.4.2.1 La fabrication du combustible MOX). Il peut s'agir de rebuts de fabrication tels qu'il en existe dans toute activité de production industrielle, conditionnés principalement sous forme d'**assemblages**^{F01}, comme des **combustibles MOX** dont le client final n'a pas accepté la livraison pour des raisons contractuelles ou industrielles. Ces rebuts appartiennent à **Orano** et à **EDF**, ils sont considérés comme des **matières valorisables** du fait du potentiel énergétique qu'ils contiennent. Ils sont actuellement **entreposés**^{F04} à l'usine de La Hague dans des **piscines**. Typiquement, le taux de rebut représente de l'ordre de 4 à 6 **tML** pour 120 **tML** produites à MELOX. Le taux moyen de **plutonium** contenu dans les **rebuts** est de l'ordre de 7%, ce qui représente environ 350 kg de **plutonium**. Toute activité de fabrication comporte un taux de rebuts, les 350 kg immobilisés dans le **MOX** rebuté en font partie ; ils ne contribuent pas actuellement à « l'**équilibre Pu** », dans la mesure où ils ne seront valorisés qu'après **traitement**. Toutefois, il s'agit de comparer ces 350 kg à la quantité de **plutonium** entrant dans la fabrication de **combustibles MOX**, pour mémoire 10,8 tonnes chaque année et de garder à l'esprit qu'il ne s'agit pas de **plutonium** séparé et que le **traitement** des rebuts **MOX**, dont la faisabilité a été démontrée, permettrait de réintroduire ce **plutonium** dans le procédé de **traitement**.

При производстве **МОКС-топлива** на установке MELOX в Маркуле, принадлежащей Orano Cycle, **тепловыделяющие сборки**^{F01} **МОКС** могут изготавливаться и отбраковываться (см. П.3.2.4.2.1 Изготовление МОКС-топлива). Брак встречается при любом промышленном производстве; в данном случае речь идет главным образом о **тепловыделяющих сборках**^{F01} **МОКС-топлива**, не принятых конечным заказчиком по контрактным и производственным причинам. Отбракованные материалы принадлежат **Orano** и **EDF** и рассматриваются как **ценные** ввиду их энергетического потенциала. В настоящее время они находятся на **промежуточном хранении**^{F04} в **бассейнах выдержки** комплекса Ла-Аг. Как правило, объем **брака** составляет порядка 4-6 **тТМ** на каждые 120 **тТМ** производства установки MELOX. Среднее содержание **плутония** в **отбракованной** продукции составляет порядка 7%, что соответствует около 350 кг **плутония**. Для любой производственной деятельности характерен некоторый процент брака – к нему относятся 350 кг, содержащиеся в отбракованном **МОКС-топливе**; они в настоящее время не участвуют в «**плутониевом балансе**» в том смысле, что они будут извлечены только при **переработке**. При этом следует сравнить эти 350 кг с количеством **плутония**, ежегодно поступающего на производство **МОКС-топлива** (напомним – 10,8 тонны) и учитывать, что речь не идет о выделенном **плутонии**, и что возможность **переработки** отбракованного **топлива МОКС** существует, что позволит вернуть данный **плутоний** в технологический процесс **переработки**.

La France s'est engagée à déclarer chaque année à l'AIEA les quantités de **plutonium** séparé ou contenu dans du **combustible non irradié entreposés**^{F04} en France. Ces déclarations sont consultables sur le site de l'AIEA¹⁵. Au 31 décembre 2016, sur la base de cette déclaration, en France, on comptabilise 81,7 tonnes de **plutonium** séparé¹⁶ ou présent dans du **combustible MOX** non irradié en cours de fabrication ou fabriqué, dont :

- 43,8 tonnes sont **entreposés**^{F04} à La Hague. Ce stock correspond au plutonium séparé non irradié issu du **retraitement** du **combustible usé**^{F02}, dans l'attente de sa **réutilisation** dans les **assemblages combustibles**^{F01} **MOX** ;
- 9,2 tonnes sont dites « engagées » dans le processus de fabrication des **assemblages combustibles**^{F01} **MOX** qui se déroule principalement dans l'usine de fabrication MELOX ;
- 28,1 tonnes sont contenues dans des **assemblages combustibles**^{F01} **MOX** non irradiés. Ces **assemblages**^{F01} en attente d'expédition sont **entreposés**^{F04} sur le site de MELOX et de façon conjoncturelle sur le site de La Hague ou entreposés en **piscine de réacteur** avant leur chargement. Quant aux **assemblages combustibles**^{F01} **MOX** considérés comme rebutés, ils sont **entreposés**^{F04} en **piscine** sur le site de La Hague en attente de leur **retraitement** ;

³² <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium>

³³ L'irradiation du combustible en réacteur produit du plutonium. Le retraitement a notamment pour objet de séparer et récupérer le plutonium contenu dans le combustible irradié (pour le conditionnement cf. § II.2.3.1). Le plutonium, issu de l'opération de retraitement, est appelé plutonium séparé, afin de le distinguer du plutonium contenu dans du combustible irradié. Cette distinction est importante en termes de non-prolifération car la technique de séparation est très difficile à maîtriser. Elle a été consacrée par les directives de l'AIEA relatives à la gestion du plutonium (INFCIRC/549) que la France a décidé d'appliquer le 28 novembre 1997

Франция обязалась ежегодно направлять в МАГАТЭ декларации с указанием объемов **плутония**, выделенного или содержащегося в **необлученном ядерном топливе**, находящемся на **промежуточном хранении**^{F04} во Франции. Эти декларации доступны на Интернет-сайте МАГАТЭ¹⁷. Согласно данным декларации, по состоянию на 31 декабря 2016 г. во Франции насчитывалось 81,7 тонны **плутония**, выделенного¹⁸ или содержащегося в необлученном **МОКС-топливе**, изготовленном или находящемся на изготовлении, из которых:

- 43,8 тонны находятся на **промежуточном хранении**^{F04} в Ла-Аг. Данное количество соответствует необлученному **плутонию**, выделенному при **переработке отработавшего ядерного топлива**^{F02} и ожидающему **повторного использования** в составе **тепловыделяющих сборок**^{F01} МОКС;
- 9,2 тонны предназначены для использования при изготовлении **тепловыделяющих сборок**^{F01} МОКС, которое осуществляется главным образом на установке MELOX;
- 28,1 тонны содержатся в необлученных **тепловыделяющих сборках**^{F01} МОКС. Указанные **тепловыделяющие сборки**^{F01} находятся на **промежуточном хранении**^{F04} на объекте MELOX (и частично Ла-Аг) в ожидании отправки, или по необходимости на **промежуточном хранении**^{F04} в **приреакторных бассейнах выдержки** в ожидании загрузки. Что касается отбракованных **тепловыделяющих сборок**^{F01} МОКС, они находятся на **промежуточном хранении**^{F04} в **бассейнах выдержки** комплекса Ла-Аг в ожидании **переработки**;

³² <https://www.iaea.org/publications/documents/infircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium>

³³ Плутоний образуется при облучении ядерного топлива в реакторе. Одной из задач переработки отработавшего ядерного топлива является выделение и извлечение из него плутония (вопрос его кондиционирования рассматривается в § II.2.3.1). Плутоний, извлеченный в результате переработки, называется «выделенным» – в отличие от плутония, содержащегося в облученном ядерном топливе. Данное различие имеет значение для режима нераспространения, поскольку технология выделения плутония очень сложна в реализации. Его определение содержится в Руководящих принципах МАГАТЭ по обращению с плутонием (INFCIRC/549), решение о применении которых было принято Францией 28 ноября 1997 г.

- Une très faible quantité (0,5 tonne) est présente dans le procédé d'installation de **traitement** de La Hague et une autre est **entreposée**^{F04} dans des installations de recherche.

Sur ces 81,7 tonnes, 65,4 tonnes sont de propriété française (la quasi-totalité par **EDF** et **Orano**) et 16,3 tonnes sont de propriété étrangère.

Le stock de **plutonium** relevant des activités militaires est couvert par le secret défense.

- Очень небольшое количество (0,5 т) участвует в технологическом процессе **переработки** на Ла-Аг, и еще меньшее количество находится на **промежуточном хранении**^{F04} в исследовательских установках.

Из указанных 81,7 тонны, 65,4 тонны принадлежат Франции (практически полностью – **EDF** и **Orano**), и еще 16,3 тонны – иностранным государствам.

Запасы **плутония**, используемые в оборонной деятельности, относятся к военной тайне.

3. Stratégie de traduction

3.1 Choix du texte-support

Le nucléaire est mon domaine de spécialisation depuis vingt ans et il ne faisait guère de doute qu'il serait aussi l'objet de mon mémoire. Le nucléaire est néanmoins une discipline vaste et multidimensionnelle et j'ai donc essayé de circonscrire mon champ de recherche.

L'un des sujets qui me passionnent depuis longtemps est la perception très répandue – et faussée – qui veut que le combustible nucléaire usé soit un « déchet » représentant un problème quasiment insolvable qui pèsera lourd sur les futures générations. Je voulais donc trouver un texte qui me permettrait de démontrer que cela n'est pas le cas, et que dans certains pays, notamment la France, des procédés existent déjà qui permettent de retraiter le combustible nucléaire usé afin d'en extraire les éléments valorisables. Le défi dans ce cas était de trouver un texte qui serait à la fois spécialisé et accessible au grand public.

Heureusement, l'industrie nucléaire en France se caractérise par son ouverture quasi-complète. Seules les applications militaires demeurent fermées au grand public, alors que le reste des activités nucléaires sont très transparentes, avec des documents rendus publics, disponibles à la consultation en ligne.

Le respect de cette transparence est notamment la mission du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (<http://www.hctisn.fr/>), qui se définit comme une « instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire ».

Le Comité publie régulièrement des rapports sur l'état de l'industrie nucléaire en France, y compris sur le retraitement du combustible nucléaire usé et la réutilisation des matériaux qui en sont tirés. C'est pour cette raison que j'ai choisi comme sujet la réutilisation actuelle de matières nucléaires valorisables, et que mon texte-support a été extrait (pp. 37-44) d'une présentation de l'état du cycle nucléaire français publié le 27 juillet 2018 par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire : *Présentation du « Cycle du combustible » français en 2018*.

Le texte donne une idée générale des pratiques actuelles en France pour récupérer, traiter et réutiliser les matériaux valorisables présents dans le combustible nucléaire usé déchargé des réacteurs français.

Le texte de départ ne m'a pas posé de difficultés stylistiques particulières. Son style étant très direct et austère, je n'ai pas rencontré de tournures de langage parlé ou familier ni d'humour. De plus, ce genre de texte m'est bien connu du fait de mon expérience professionnelle. Je n'ai pas eu de difficulté de reformulation en traduisant ce texte-support.

Du point de vue terminologique, en revanche, plusieurs questions méritent une explication détaillée. J'aborde cet aspect dans les sections suivantes.

3.2 Méthode de travail

En effectuant la traduction, je me suis tout d'abord appuyé sur mon expérience professionnelle. De 2001 à 2020, j'ai travaillé en tant que traducteur sur deux projets de gestion du combustible nucléaire usé en Ukraine. Le cycle nucléaire ne m'était donc pas inconnu : je possédais déjà une connaissance assez nette de ce que représente le combustible nucléaire, en quoi il consiste, quels sont ses usages, etc.

Si mon expérience était assez pointue, elle n'était pourtant pas complètement pertinente. En effet, les projets sur lesquels j'ai travaillé avaient pour but de mettre le combustible usé en **entreposage à sec**. La technologie de retraitement n'existe pas en Ukraine car le cycle nucléaire y est provisoirement « ouvert » ; il ne s'agissait donc ni de récupération ni de réutilisation des matières valorisables contenues dans le combustible usé. Je n'avais donc pas d'expérience directe avec cette partie du cycle nucléaire (**l'aval du cycle**), et j'ai dû me renseigner. Pour cela, j'ai consulté nombre de sources littéraires et de sites Internet.

J'utilise habituellement le logiciel Trados pour mes traductions, et je l'ai donc également utilisé pour cette traduction, même si son utilité s'est avérée plutôt limitée dans la mesure où il n'y avait pratiquement pas de répétitions dans le texte.

3.3 Présentation terminologique générale du texte-support

Sur le plan linguistique, le recyclage des matières nucléaires représente un domaine très spécialisé, avec une terminologie bien précise, qui se trouve à la limite de la physique, de la chimie, de l'ingénierie, voire de la politique.

La traduction correcte de textes dans ce domaine exige donc des connaissances techniques assez vastes et pluridisciplinaires, en même temps qu'une compréhension approfondie du sujet pour assurer le bon choix de termes correspondants dans la langue cible. Sur certaines questions, telle la non-prolifération, les connaissances dans le domaine politique sont essentielles, voire primordiales.

Les termes physiques que l'on trouve dans le texte se subdivisent en deux catégories. La première porte sur l'atome, décrivant les changements de la structure nucléaire. Mon texte-support ne concerne cependant pas particulièrement les processus physiques auxquels obéissent les matériaux composant le combustible nucléaire pendant son exploitation, et les termes de cette catégorie ne sont donc pas nombreux (« irradiation », « réacteur », etc.). Plus nombreux sont les termes physiques de la deuxième catégorie qui décrivent les procédés industriels (« diffusion », « enrichissement », etc.).

Les termes chimiques sont amplement utilisés pour décrire les procédés employés pour retraiter le combustible usé (« oxyde », « dissolution », « nitrate », « défluoration », etc.).

Les termes techniques les plus nombreux sont ceux d'une nature plutôt mécanique, qui décrivent les procédés que l'on trouve aussi dans d'autres domaines industriels (« frittage », « homogénéisation », « fabrication », « rebuts », etc.). Cependant, certains termes qui sont aussi présents dans d'autres filières techniques ont une signification bien précise dans l'industrie

nucléaire, qui peut être différente de celle employée ailleurs. Il s'agit surtout des termes qui décrivent le combustible nucléaire (« crayon », « assemblage », « pastille »).

Les matières récupérées du combustible nucléaire pouvant être utilisées pour fabriquer des armes atomiques, leur gestion est un sujet politiquement sensible. C'est pour cette raison que quelques termes politiques interviennent également dans le texte, notamment « non-prolifération ».

Les plus intéressants sont les termes qui représentent certaines ambiguïtés dans l'une et/ou l'autre des deux langues : « traitement/retraitement », « stockage/entreposage », « élément combustible », « matières valorisables », etc., ainsi que les nombreux sigles propres à ce domaine.

Nous verrons ci-dessous quelques exemples des difficultés rencontrées en traduisant le texte-support. Certains de ces points peuvent sembler aller de soi pour un traducteur qui travaille déjà dans le domaine, mais ne sont pas si évidents pour un non-initié. D'autres sont de vraies difficultés même pour un spécialiste.

Quelques particularités terminologiques très intéressantes que l'on peut observer dans l'industrie nucléaire, mais qui dépassent le cadre du texte-support, sont présentées en **Annexe II**.

3.4 Difficultés de traduction

Matières nucléaires valorisables

C'est le titre même de mon texte-support qui pose le problème terminologique probablement le plus conséquent : « *Matières nucléaires valorisables* ».

Même si la technologie de retraitement du combustible nucléaire usé existe en Russie/Union Soviétique depuis des décennies, on observe toujours une absence apparente d'un correspondant universellement accepté en russe pour cette expression française, qui est pourtant la notion centrale de mon texte-support.

« On extrait les matières valorisables (uranium et plutonium) pour utilisation ultérieure et les autres produits radioactifs considérés comme déchets ultimes » (Bonin, 2012, p. 162). Les matières valorisables sont donc l'uranium et le plutonium extraits du combustible nucléaire ayant déjà séjourné dans un réacteur.

L'expression est aussi attestée dans d'autres sources, tels le site La Radioactivité (« Parmi les espèces radioactives présentes dans les combustibles usés déchargées des réacteurs deux possèdent une valeur énergétique et sont considérées comme des *matières valorisables*. Ce sont le plutonium et l'uranium »¹⁹), (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS), ou le site de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, ANDRA (« Les *matières valorisables* sont des substances pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement »²⁰).

¹⁹ La Radioactivité.com, <https://www.laradioactivite.com/site/pages/MatieresValorisables.htm>, consulté le 5 janvier 2021.

²⁰ Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), <https://www.andra.fr/cigeo/protger-des-dechets-radioactifs-les-plus-dangereux/les-dechets-destines-cigeo-des-dechets>, consulté le 5 janvier 2021.

« Matières valorisables » semble être le seul terme utilisé en français.

Pourtant, c'est loin d'être le cas en russe, où il existe plusieurs expressions, plus ou moins correspondantes, pour décrire cette réalité. Cela a donc nécessité un effort terminologique plus approfondi.

Repérage de termes candidats

Plusieurs termes candidats ont donc pu être repérés dans la littérature et les médias techniques en russe, tels *извлекаемые материалы* (attesté dans les médias spécialisés, tel le site www.atomic-energy.ru²¹), *регенерированный уран* (Красноруцкий & Кирсанова, 2019, стр. 77), *переработанный уран* (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009, стр. 21), *повторно используемые материалы* (Брюхин & Устинов, 2012, стр. 2), *ценные компоненты* (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 260) et (Шведов & Седов, 1979, стр. 70). Il a donc été nécessaire de « présélectionner » les termes repérés pour en choisir les meilleurs candidats.

Présélection de termes candidats

Le terme *извлекаемые материалы* (littéralement, matières extractibles ou celles en train d'être extraites) a un sens assez proche de l'expression « matières valorisables » en français, mais il manque le côté « valeur ». Cette nuance est pourtant significative car il n'est pas uniquement question de matières que l'on peut extraire ; ce sont des matières qui ont une valeur énergétique très importante. Ce terme a donc été écarté.

²¹ www.atomic-energy.ru, portail d'information russe sur l'énergie nucléaire, <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2018/02/01/82931>, consulté le 5 janvier 2021.

Le terme *регенерированный уран*, ainsi que ses termes frères *рециклированный уран* et *переработанный уран* (littéralement, uranium régénéré, retraité ou recyclé) sont très répandus dans la littérature technique. Il est vrai que plus de 90 % des matières extraites du combustible nucléaire usé sont de l'uranium. Néanmoins, ces expressions ne couvrent que l'uranium, laissant de côté l'aspect très important du plutonium, qui est l'une des raisons principales pour lesquelles des États entreprennent de retraiter leur combustible nucléaire usé. De plus, le terme russe suggère une matière déjà recyclée, alors qu'en français on parle plutôt d'une matière valorisable ou recyclable, c'est-à-dire qu'elle présente un potentiel de revalorisation. Malgré sa présence très conséquente dans la littérature, ce terme a lui aussi dû être écarté.

Le terme *повторно используемые материалы* (littéralement, matières réutilisables ou en train d'être réutilisées) est également très répandu dans la littérature technique. Il est plus englobant que *регенерированный уран* et il exprime très nettement l'idée de réutilisation de matières.

Le terme *ценные компоненты* (littéralement, composants de valeur) est proche du sens de l'expression source en français et communique très bien le côté « valeur » de ces matières. Il est attesté dans la littérature à la fois relativement ancienne (Шведов & Седов, 1979) et très récente (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018).

Ce sont donc les deux derniers termes qui ont été retenus comme candidats à la sélection finale.

Sélection finale du terme correspondant

Malgré sa proximité de sens avec l'expression source française, le terme *ценные компоненты* n'a été repéré que dans deux références en russe. De plus, dans la référence la plus récente il n'est attesté qu'une seule fois, et dans le contexte de retraitement des déchets radioactifs liquides qui peuvent encore contenir des matières valorisables, notamment du plutonium (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 260). C'est donc un contexte proche de celui du texte-support, mais pas tout à fait le même.

On trouve le terme *повторно используемые материалы* dans un ouvrage récent (Брюхин & Устинов, 2012) qui est directement pertinent pour la thématique du texte-support : le recyclage des matières récupérées du combustible usé pour en fabriquer du nouveau combustible (dit MOX).

Ce terme est également attesté dans plusieurs expressions annexes trouvées dans la littérature technique, telles « подвергнуть переработке означает... *повторно использовать* в ядерном реакторе » (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009, стр. 5), et dans les médias spécialisés (« когда появится возможность *использовать материалы повторно* »²² et « *повторно используется* не только плутоний, содержащийся в ОЯТ, но и невыгоревший уран-235 »²³).

Parfois on trouve les expressions annexes qui utilisent ce terme côte-à-côte avec d'autres termes candidats, tels « *повторное использование регенерированного урана* » (ИТЦП «ПРОРЫВ»,

²² [www.atomic-energy.ru](https://www.atomic-energy.ru/news/2014/10/31/52533), portail d'information russe sur l'énergie nucléaire, <https://www.atomic-energy.ru/news/2014/10/31/52533>, consulté le 5 janvier 2021

²³ [www.atomic-energy.ru](https://www.atomic-energy.ru/news/2016/09/16/69038), portail d'information russe sur l'énergie nucléaire, <https://www.atomic-energy.ru/news/2016/09/16/69038>, consulté le 5 janvier 2021

2018, стр. 56), « *регенерировать* для *повторного использования* более 95 % остающегося урана-238 и урана-235, а также образовавшегося плутония-239 »²⁴.

La décision a donc été prise d'utiliser le terme *повторно используемые ядерные материалы* comme terme correspondant le plus proche du terme français « *matières valorisables* ».

²⁴ Présentation de Rosatom, Société nationale russe pour l'énergie atomique, <http://science.spb.ru/files/tehplatformy/neutron/presentation/files/assets/common/downloads/publication.pdf>, consulté le 5 janvier 2021

Le combustible nucléaire et ses composants

Il y a nombre de points à faire sur le combustible nucléaire. Certains sont relativement simples, d'autres bien plus approfondis.

Combustible nucléaire

« La teneur en plutonium des **combustibles** MOX est adaptée de façon à atteindre des performances équivalentes à celles de l'UOX »

C'est un fait que par extension, on appelle le combustible nucléaire *combustible*. La définition classique de combustible est « corps se combinant avec l'oxygène en dégageant de la chaleur grâce à une réaction chimique qui mobilise les électrons périphériques des éléments se combinant » (Pataran, 2002, p. 13).

Comme on l'a vu dans l'Exposé ci-dessus, il n'y a pas de combustion dans un réacteur, tout comme il n'y a pas d'oxygène impliqué dans les réactions nucléaires, qui sollicitent de plus les noyaux d'éléments plutôt que les électrons. Pourtant, c'est bien le mot « combustible » qui est utilisé dans l'industrie, avec nécessairement la précision « nucléaire » afin de le différencier de tout autres types de combustible.

Le terme « combustible » a un correspondant en russe : *горючее*. Néanmoins, ce correspondant ne lui est pas complètement équivalent dans le domaine du nucléaire et on lui préfère le terme russe *топливо*, lequel correspond normalement au mot français « carburant ». *Топливо* a en effet une signification bien plus large pouvant certes comprendre les carburants liquides tels le diesel, l'essence, etc., mais aussi dans certains cas le gaz naturel. Il est hyperonymique du terme russe *горючее*.

Pourtant, dans la littérature technique dans les deux langues on ne trouve que très rarement les expressions « carburant nucléaire » ou *ядерное горючее* : seul « combustible nucléaire » et respectivement *ядерное топливо* sont acceptables afin d'éviter toute confusion avec d'autres types de combustible. Ces deux expressions constituent donc des unités terminologiques nominalement insécables, même si, dans le langage courant, « combustible » et *топливо* tout court sont plus souvent utilisés.

Assemblage combustible

« Environ 10,8 tonnes de plutonium issues du traitement des combustibles UNE usés, associées à de l'uranium appauvri (celui-ci entrant à plus de 90 % dans la composition du combustible) sont mises en œuvre chaque année pour la fabrication d'**assemblages combustibles** dits « MOX » (Mélange d'Oxydes de plutonium et d'uranium appauvri). »



Figure 5 : Assemblage sous eau de combustible de réacteur à eau pressurisée, source : La Radioactivité.com, <https://www.laradioactivite.com/site/pages/CombustibleNucleaire.htm>, consulté le 5 janvier 2021

Un assemblage de combustible nucléaire (Figure 5) désigne un ensemble de composants fabriqués et assemblés avec une grande précision. C'est un produit de haute technologie qui contient :

- « La matière active, soit la céramique d'uranium et/ou du plutonium sous forme de pastilles ;
- Le crayon qui confine la céramique dans une gaine métallique ;
- La structure d'ensemble qui assure la cohésion de la géométrie » (Pataran, 2002, p. 64).

Ce sont des centaines d'« assemblages » qui constituent le cœur du réacteur nucléaire.

En France, tous les réacteurs nucléaires actuellement exploités sont d'un seul type (réacteur à eau pressurisée, REP) et la terminologie étant très unifiée, cela simplifie considérablement le choix de termes. « Assemblage combustible » ou « assemblage » tout court sont les deux termes qui prévalent, avec « élément combustible » parfois aussi attesté (Bonin, 2012, p. 147).

Au Canada, où un autre type de réacteur prévaut (le CANada Deuterium Uranium, CANDU), un autre terme est en usage courant pour désigner un « assemblage combustible » : la « grappe de combustible » (Figure 6) (Commission canadienne de sûreté nucléaire).



Figure 6 : Grappe de combustible CANDU, source : Commission canadienne de sûreté nucléaire, <https://nuclearsafety.gc.ca/fra/waste/high-level-waste/index.cfm?pedisable=true>, consulté le 5 janvier 2021

La situation en russe est plus compliquée. Même s'il n'existe pas de différences observables entre l'usage en Russie et dans d'autres pays russophones, on trouve en russe une pluralité terminologique pour désigner un « assemblage combustible », ce qui constitue un phénomène très intéressant. Plusieurs termes existent et coexistent, créant parfois de la confusion.

Cette pluralité est attribuable en partie au fait que plusieurs filières de réacteurs coexistent en pays russophones et particulièrement en Russie (dont les trois principales sont le VVER, le RBMK et le BN²⁵).

Le terme russe préconisé comme correspondant d'« assemblage combustible » par l'AIEA est *тепловыделяющая сборка* (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 235).

²⁵ VVER pour Vodo-Vodianoï Energuetitcheski Reaktor (Водо-Водяной Энергетический Реактор) ; RBMK pour Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyï (Реактор Большой Мощности Канальный) ; BN pour Bystryï Natrievyï (Быстрый Натриевый).

Il signifie littéralement « assemblage émetteur de chaleur ». Curieusement, on ne trouve absolument pas l'idée de dégagement de chaleur dans les termes correspondants en français : « assemblage combustible » ou « élément combustible » en France, et « grappe de combustible » au Canada.

ТВС, qui est le sigle de *тепловыделяющая сборка* est très couramment utilisé, voir par exemple (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 80, 83, 84, 88), ainsi que (Красноручкий & Кирсанова, 2019, стр. 76). Il n'existe apparemment pas de sigle correspondant en français.

D'autres termes russes existent aussi et sont relativement répandus.

Ainsi, *топливная сборка*, qui est l'équivalent mot-à-mot d'« assemblage combustible », est lui aussi un terme légitime attesté dans plusieurs sources, notamment dans (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 235) et (Брюхин & Устинов, 2012, стр. 8).

Encore un autre terme est *топливная кассета* (littéralement, « cassette de combustible »), attesté notamment dans (Маргулис, 1988, стр. 164). *Сборка твэлов* (littéralement, « assemblage de crayons combustibles ») est attesté aussi dans la littérature (Шведов & Седов, 1979, стр. 63). Cependant, on ne trouve pas ces deux derniers termes dans la littérature plus récente, ce qui laisse à penser qu'ils tombent progressivement en désuétude.

La terminologie russe pour parler de l'assemblage combustible RBMK (celui, notamment, de Tchernobyl) est encore plus complexe. Cet assemblage consiste en effet en deux sous-assemblages distincts montés en série sur une tige commune (Figure 7) : « Les assemblages combustibles sont constitués par deux ensembles (« sous-ensembles ») avec 18 barres de combustible et une tige de support »²⁶.

²⁶ <https://fr.qwe.wiki/wiki/RBMK>

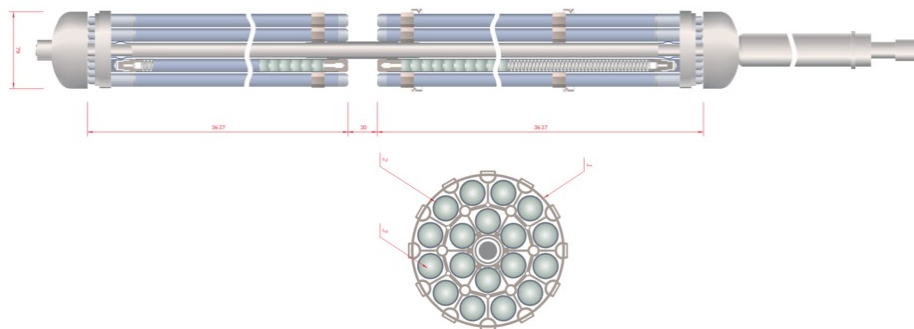


Figure 7 : Assemblage combustible RBMK, source : University of Calgary, Energy Education, <https://energyeducation.ca/encyclopedia/RBMK>, consulté le 5 janvier 2021

Ces sous-assemblages sont appelés en russe *пучки твэл*, littéralement « faisceaux de crayons combustibles ». Dans le contexte d’entreposage et de traitement de ce combustible, les faisceaux de crayons se trouvent éventuellement séparés.

Il convient donc de faire attention afin de ne pas parler d’« assemblages » quand il ne s’agit que de sous-assemblages individuels, et vice versa. De mon expérience pratique à Tchernobyl, je sais que certains ingénieurs utilisent aussi le terme *касета* comme synonyme de « faisceaux de

crayons », lorsque d'autres l'utilisent comme synonyme d'« assemblage combustible », créant parfois encore plus de confusion.

Parmi cette pluralité de termes russes, il fallait n'en choisir qu'un seul, de préférence le plus répandu. Le choix a donc été fait en faveur du terme recommandé par le Glossaire de l'AIEA²⁷ et attesté dans de nombreuses sources russes (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009), (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018), ainsi qu'ukrainiennes (Красноруцкий & Кирсанова, 2019) : « *тепловыделяющая сборка* » ou son sigle correspondant, *ТВС*.

Les appellations attestées pour décrire un assemblage combustible sont présentées dans la **Fiche terminologique F01**.

La contrepartie d'« assemblage combustible » dans un réacteur nucléaire est la grappe de contrôle, pour laquelle on trouve un éventail de termes dans les deux langues encore plus large que pour « assemblage combustible » (voir la **Fiche terminologique F05**). Néanmoins, comme les grappes de contrôle ne sont pas directement évoquées dans le texte-support, la relation terminologique complexe et intéressante entre les deux notions est explorée en plus de détail en **Annexe II**.

²⁷ Le « Glossaire de sûreté de l'AIEA – Terminologie employée en sûreté nucléaire et radioprotection », édité en 2007, est consultable sous les liens suivants, respectivement en russe et en français :
https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/IAEASafetyGlossary2007/Glossary/SafetyGlossary_2007r.pdf
<http://www-ns.iaea.org/downloads/standards/glossary/safety-glossary-french.pdf>

Élément combustible

« Selon les directives précitées, on parle alors de plutonium en cours de fabrication ou contenu dans des **éléments combustibles** MOX irradiés »

« Élément combustible » est défini dans le Glossaire de l'AIEA comme synonyme de « barre de combustible » (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 55), ce qui en fait donc un synonyme de « crayon combustible » (voir ci-dessous dans **Crayon**).

On peut néanmoins citer une autre définition, plus restrictive : « Lorsqu'il contient de la matière fissile, le crayon est un élément combustible » (Bonin, 2012, p. 259). Selon cette définition donc, un crayon devient élément combustible uniquement quand il est chargé de matière fissile, mais pas de matière fertile ou absorbante.

Cet usage n'est cependant attesté qu'épisodiquement dans d'autres sources, où « élément combustible » est alors utilisé le plus souvent comme synonyme d'« assemblage combustible ». Bernard Bonin, ancien directeur scientifique du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)²⁸, parle quant à lui de transport et d'entreposage des « éléments combustibles » : et c'est bien sous forme d'assemblages que l'on transporte et entrepose le combustible usé (Bonin, 2012, p. 148).

Dans beaucoup de contextes, tel dans la phrase citée ci-dessus, cette différence n'a pas vraiment d'importance. Un assemblage combustible est en effet constitué de plusieurs crayons combustibles. On peut donc parler d'« élément combustible » comme synonyme des deux : d'assemblage et de crayon.

²⁸ Ancien directeur scientifique au CEA, Bernard Bonin est membre du conseil scientifique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire où il a notamment dirigé un service sur la recherche autour de la gestion des déchets radioactifs. Il est aussi l'auteur de plusieurs ouvrages sur l'énergie nucléaire.

Ce n'est que dans un contexte où les crayons individuels peuvent se trouver séparés de leur assemblage que cette distinction devient décisive.

Il peut cependant arriver que dans certains contextes, le terme « élément combustible » renvoie à une réalité floue (assemblage ou crayon ?) ; son usage est alors à proscrire afin d'éviter toute confusion.

Le rapport parfois compliqué entre « élément combustible » et « élément absorbant », qui dépasse le cadre du texte-support, est également abordé en **Annexe II**.

Crayon combustible

« Le **gainage** (cf. repère 6) : les **pastilles** sont ensuite insérées dans des tubes en alliage de zirconium appelés "**crayons**". Un **crayon** d'assemblage type REP 900 MWe mesure environ 4 mètres de long et est composé d'environ 320 **pastilles** en fonction des exigences des clients. »



Figure 8 : Crayons de combustible, source : La Radioactivité.com,

<https://www.laradioactivite.com/site/pages/assemblagesdereacteursrep.htm>, consulté le 5 janvier

2021

Les assemblages combustibles sont donc constitués de « crayons » (Figure 8). Un « crayon » est défini comme un « tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, constituant du cœur d'un réacteur nucléaire, quand il contient une matière fissile, fertile ou absorbante. » (Bonin, 2012, p. 259).

Encore un autre synonyme est également attesté en français pour parler de crayon combustible : « barre de combustible » (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 55). Curieusement, « crayon combustible » qui est le terme prévalent dans toutes les autres sources consultées en français, ne paraît pas du tout dans le Glossaire de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007).

« Crayon » est traduisible en russe dans le contexte du combustible nucléaire par *твэл*, qui est un abrégé de *тепловыделяющий элемент*, c'est-à-dire « élément émetteur de chaleur » (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 235).

Il existe des sources où on trouve la forme capitalisée *ТВЭЛ*. Cependant, *ТВЭЛ* est aussi le nom du fabricant russe de crayons combustibles et d'assemblages combustibles. La version capitalisée est donc généralement à éviter pour ne pas créer de la confusion avec le nom de l'entreprise.

Le Glossaire de l'AIEA donne encore un autre terme comme synonyme de *твэл* : *топливный стержень*. Pourtant, ce terme n'est pratiquement pas attesté dans les sources en russe consultées. On peut donc en déduire que ce terme est généralement à éviter.

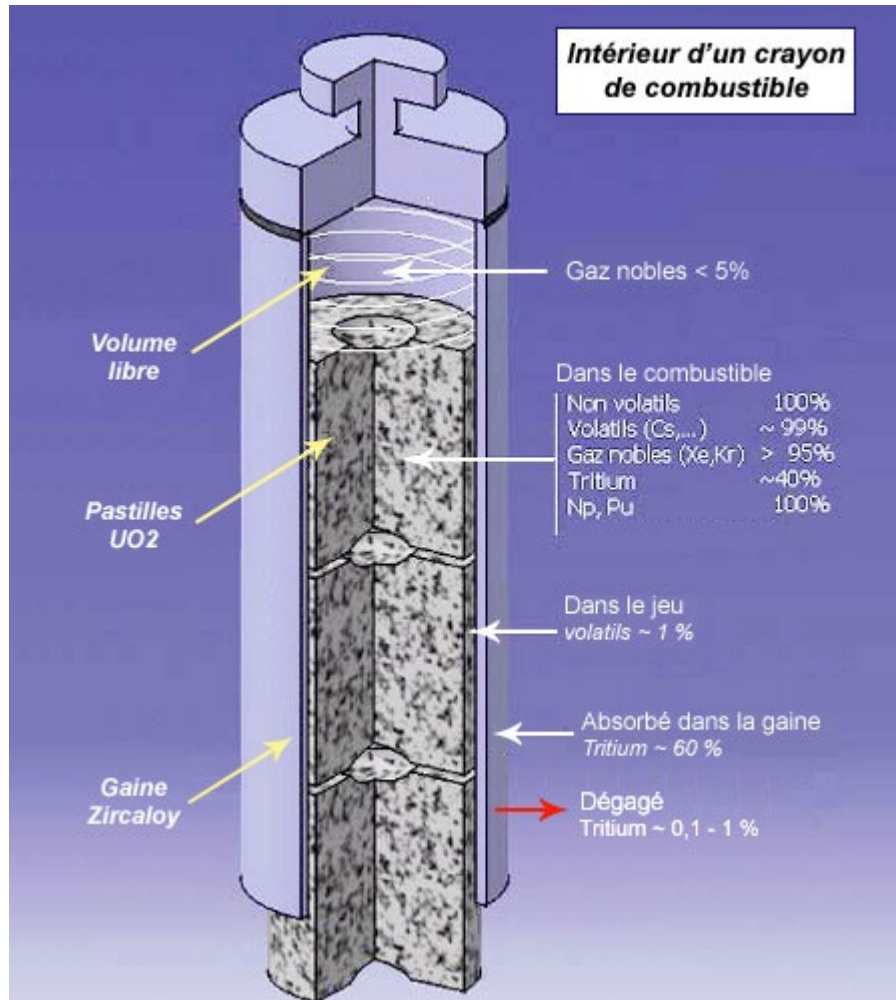


Figure 9 : Intérieur de crayon combustible, source : La Radioactivité.com, https://www.laradioactivite.com/site/pages/Combustible_Nucleaire_Use.htm , consulté le 5 janvier 2021

Les pastilles de combustible sont donc insérées dans les tubes qu'on appelle « gaines » pour fabriquer les crayons (Figure 9) – c'est ce procédé qu'on appelle le gainage. Le terme à utiliser en russe pour les gaines est *оболочка твэл* (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 137), littéralement « *enduit d'élément émetteur de chaleur* ».

Combustible usé ou irradié ?

« Pour mémoire, de l'ordre de 10,8 tML de plutonium sont produites par an (soit 5 kg pour un assemblage **combustible usé** de 500 kg) »

« Le retraitement a notamment pour objet de séparer et récupérer le plutonium contenu dans le **combustible irradié** »

Les deux sont des expressions légitimes attestées par plusieurs sources, ainsi que leurs correspondants russes, respectivement *отработавшее топливо* et *облученное топливо*. (Il existe également en russe le terme *отработанное топливо*, qui est une variante légèrement différente de *отработавшее топливо* d'un point de vue grammatical, sans différence de sens.)

La différence entre *usé* et *irradié* relève surtout de la sémantique. Ainsi, le Glossaire de l'AIEA indique que « L'adjectif "usé" laisse entendre que le *combustible usé* ne peut pas être utilisé tel quel comme combustible. Dans la pratique, toutefois, l'expression *combustible usé* sert souvent à désigner du combustible qui a été utilisé en tant que tel mais qui ne le sera plus, que cela soit possible ou non » (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 25).

La même différenciation sémantique existe en russe entre « *отработавшее топливо* » et « *облученное топливо* » (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 156).

Le combustible usé est-il un déchet ?

Il y a souvent confusion autour des termes « déchets nucléaires » et « combustible usé ». Dans les médias, les journalistes ont tendance à inclure le « combustible usé » dans les « déchets nucléaires ».

Pourtant, cela peut être le cas dans un pays et ne pas l'être dans un autre. Ainsi, exactement la même matière peut être considérée comme un « déchet » dans un pays et une « matière valorisable » dans un autre conformément aux critères qui ont été adoptés. Il s'agit d'une question politico-économique plutôt que technologique ou écologique.

Spécialiste de la gestion des déchets radioactifs, Bernard Bonin définit le « déchet nucléaire » comme un « résidu inutilisable issu de l'exploitation de l'énergie nucléaire » (Bonin, 2012, p. 260) tandis que le Glossaire de l'AIEA y voit tout simplement une « matière pour laquelle on ne prévoit pas d'utilisation » (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 39).

Comme vu précédemment, on prévoit bien une utilisation ultérieure pour le « combustible usé » français, qui est retraité et recyclé. Il ne constitue donc pas un « déchet » en France, et ce mot ne peut pas être utilisé pour le décrire. Il faut donc veiller à ne pas utiliser l'expression « déchets nucléaires », du moins en français et en russe, pour décrire le combustible usé dans un contexte où ce combustible est retraité, tel le contexte français.

Il est cependant possible d'inclure le « combustible usé » dans les « déchets nucléaires » dans d'autres cas, y compris dans un contexte francophone autre que français, car là où le « combustible usé » n'est pas retraité et recyclé, il constitue effectivement un « déchet » conformément à la politique nationale sur cette question.

Ainsi, selon la définition de la Commission canadienne de sûreté nucléaire, « Au Canada, les déchets radioactifs de haute activité sont surtout constitués de combustible nucléaire usé (irradié) » (Commission canadienne de sûreté nucléaire).

La même différenciation existe en russe avec les expressions *отходы* et *отработавшее ядерное топливо* (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 156).

Entreposage ou stockage ?

« Les combustibles URE usés sont actuellement **entreposés** en piscine »

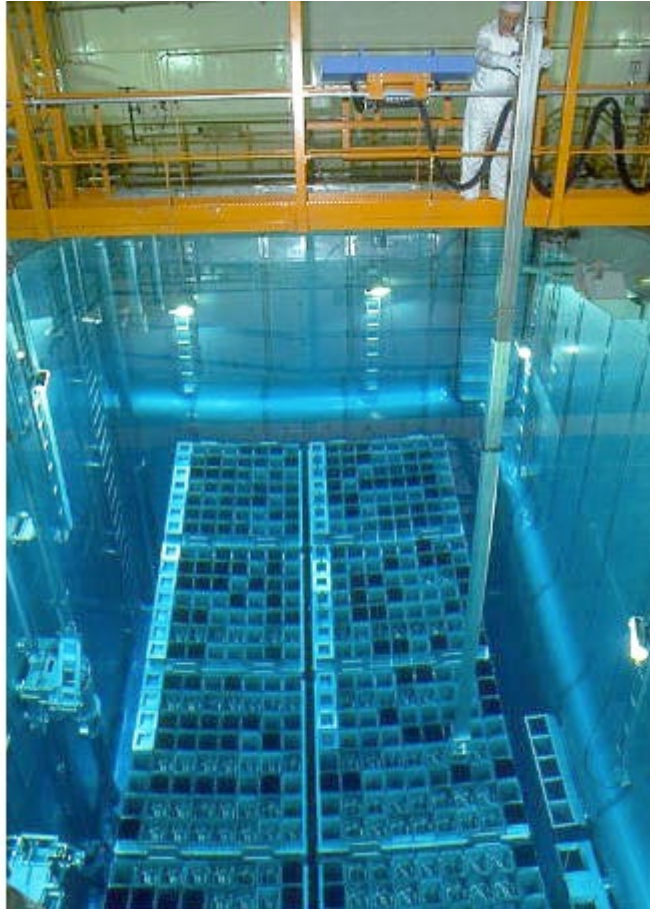


Figure 10 : Piscine du bâtiment combustible de la centrale de Chooz B1 en Champagne-Ardennes, source : La Radioactivité.com, <https://www.laradioactivite.com/site/pages/SortieReacteur.htm>, consulté le 5 janvier 2021

Il existe parfois une confusion autour des termes « entreposage » et « stockage ». En France, ce sont des antonymes, mais cela n'est pas forcément le cas ailleurs.

En France, avant d'être retraité, le combustible nucléaire usé est entreposé, c'est-à-dire stocké provisoirement (« le stockage provisoire, qu'on dénomme entreposage » (Pataran, 2002, p. 17)) dans des piscines à eau (Figure 10). Le but est de laisser le temps nécessaire pour que sa radioactivité résiduelle puisse déjà décroître en amont, simplifiant ainsi la gestion ultérieure. Bernard Bonin précise pour sa part que l'entreposage « consiste à disposer les déchets ou le combustible usé en bon ordre dans un endroit sûr, avec le projet de les reprendre plus tard pour leur assurer un destin plus pérenne » (Bonin, 2012, p. 181).

On trouve également le terme de « refroidissement » comme synonyme d'entreposage, mais il décrit surtout la première phase de l'entreposage sur le site de la centrale nucléaire (Pataran, 2002, p. 75).

Au contraire, le stockage est lui définitif puisqu'il « consiste à placer les déchets ultimes dans une formation géologique profonde pour les mettre à l'abri des agressions du milieu naturel et de l'homme, le temps que la décroissance radioactive ait fait son œuvre » (Bonin, 2012, p. 181).

Un autre terme employé occasionnellement pour parler de stockage profond (ou géologique) est « enfouissement » (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS).

Néanmoins, dans un pays qui ne prévoit pas de recycler le combustible nucléaire usé, on utilise le terme « stockage » pour décrire tant l'entreposage en piscine que l'entreposage à sec qui s'ensuit, même si les deux sont temporaires. Tel est le cas notamment du Canada (Commission canadienne de sûreté nucléaire).

Une différentiation similaire existe en russe, où on parle de *промежуточное хранение* pour entreposage, et de *окончательное захоронение* (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 36) ou de

окончательная изоляция pour stockage définitif. (Le second terme est à privilégier pour le stockage géologique²⁹ de déchets radioactifs ultimes (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 247) – ce qui est en fait un synonyme d'« enfouissement »).

Dans le texte source il s'agit bien d'un « entreposage en piscine » (Figure 10), plutôt qu'à sec, car la France ne pratique pas l'entreposage à sec. Dans ce cas, on parle en russe de *мокрое хранение* ou de *промежуточное хранение в бассейне* (Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 271). Il existe cependant encore un autre mot couramment utilisé : *выдержка* (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009, стр. 5) ou (Шведов & Седов, 1979, стр. 140). Ce terme n'est appliqué qu'à l'entreposage de combustible usé dans des piscines à eau ; dans ce sens, ce terme correspond donc au terme français « refroidissement ». Ce refroidissement peut s'effectuer soit sur le site de la centrale (dans des piscines appelées en russe *приреакторные бассейны* – c'est l'expression que j'ai utilisée pour traduire « piscines ВК », voir ci-dessous dans **ВК** sous **Sigles**), soit sur un site hors centrale (Pataran, 2002, p. 76)

²⁹ Le stockage peut être géologique, mais aussi en surface dans le cas de déchets de faible activité.

Traitement et retraitement

« Pour mémoire, pour un **traitement** de l'ordre de 1 080 t par an, 1 026 tML d'URT sont produites par an (soit 470 kg pour un assemblage combustible usé de 500 kg). »

« Aujourd'hui, l'uranium de **retraitement** n'est plus valorisé, mais il l'a été et il est prévu qu'il le soit à nouveau à partir de 2023. »

En France, on utilise souvent les termes « traitement » et « retraitement » comme des synonymes interchangeables pour parler de recyclage du combustible usé. Tel est le cas de mon texte-support. « Traitement de combustible usé » est défini dans une de mes sources françaises comme « l'ensemble des opérations conduisant à la récupération en vue de recyclage des éléments chimiques conservant une valeur énergétique » (Bonin, 2012, p. 152). Cette définition reflète l'approche française qui considère que le combustible usé doit être retraité et recyclé.

Dans un contexte où « traitement » signifierait autre chose que retraitement/recyclage, il serait plus prudent d'utiliser le terme « gestion ».

Dans plusieurs pays, dont l'Ukraine, le traitement (la gestion) du combustible usé renvoie à l'entreposage (Красноруцкий & Кирсанова, 2019) plutôt qu'à la « récupération en vue de recyclage des éléments chimiques » précédemment citée.

La traduction de « traitement de combustible usé » doit donc être un correspondant choisi en fonction du contexte. L'expression correspondante en russe sera *переработка отработавшего топлива* dans le contexte de la France (ou d'un autre pays où le recyclage du combustible usé est mis en œuvre), mais *обращение с отработавшим топливом* dans un autre contexte.

Si ce point terminologique n'est pas directement pertinent dans le cadre du texte-support où ces deux termes sont synonymiques, il faut néanmoins en tenir compte dans d'autres contextes.

Équilibre Pu

« Le principe de gestion qu'applique EDF est celui d'un maintien d'un **équilibre « Pu »** entre :

- Le flux d'oxyde de plutonium provenant du retraitement des combustibles usés et
- Le flux nécessaire à la fabrication de combustibles MOX »

La notion d' « équilibre Pu » (Pu signifiant *plutonium*) est politiquement très importante dans le contexte de retraitement de combustible usé en France.

Le principe de cet équilibre est défini comme suit par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire : « On ne traite pas plus de combustibles UNE³⁰ usés que l'on ne peut charger de combustibles MOX dans les réacteurs dédiés » (Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, 2018, p. 43/101). Autrement dit, le volume de plutonium séparé du combustible usé doit être inférieur ou égal au volume de plutonium qui peut être consommé dans les réacteurs sous forme de combustible MOX. Le but est d'éviter la création d'un stock de plutonium non utilisé qui pourrait alors être éventuellement détourné vers des usages non énergétiques, à savoir vers la fabrication d'armes nucléaires.

Telle quelle, cette notion n'existe pas en russe. En effet, si la technologie de retraitement du combustible nucléaire usé existe depuis de nombreuses décennies en Russie, l'utilisation de combustible MOX y est extrêmement récente puisqu'elle n'a commencé qu'en 2020³¹.

Ne trouvant pas de correspondant en russe, j'ai dans un premier temps proposé deux termes candidats pour « équilibre Pu » : *плутониевое равновесие* et *плутониевый баланс*. J'ai ensuite

³⁰ UNE désigne l'uranium naturel enrichi.

³¹ Site de Rosatom, Société nationale russe pour l'énergie atomique, <https://www.rosatom.ru/journalist/news/pervaya-seriynaya-partiya-moks-topliva-zagruzhenâ-v-reaktor-na-beloyarskoy-aes/>, consulté le 5 janvier 2021.

cherché à les faire valider par la littérature spécialisée russophone, mais ni l'un ni l'autre n'ont pu être attestés.

Une recherche sur Internet a néanmoins abouti à un résultat pour l'un d'entre eux : *плутониевый баланс*, proposé par atominfo.ru, un site dédié à l'énergie nucléaire, dans un entretien avec un spécialiste du domaine qui aborde la question sujet :

«От нас требуется замкнуть топливный цикл по урану и плутонию, чтобы, вернув регенерируемые из ОЯТ уран и плутоний в реакторы, обеспечить нужный плутониевый баланс, в отличие от сегодняшней ситуации, когда плутоний только нарабатывается, но не потребляется»³².

Le choix a été donc fait en faveur du terme *плутониевый баланс* qui est attesté une seule fois dans une source en russe jugée fiable.

³² <http://atominfo.ru/newsz/a0722.htm>, entretien avec Anatoliy Zrodnikov, professeur à l'Institut d'ingénierie nucléaire d'Obninsk, une des écoles les plus renommées dans le domaine du nucléaire en Russie (consulté le 5 janvier 2021)

Traité relatif à la non-prolifération et directives de l'AIEA

La France est une partie contractante au traité sur la non-prolifération ouvert à la signature à Washington, Londres et Moscou le 1^{er} juillet 1968, et entré en vigueur le 5 mars 1970.

En adhérant à ce traité, elle s'est engagée à ne pas fournir de produits fissiles spéciaux à d'autres États.

Les directives de l'AIEA relatives à la gestion du plutonium du 16 avril 1998 (INFCIRC/549) rappellent les engagements pris par la France le 28 novembre 1997 en matière de gestion du plutonium séparé ou contenu dans du combustible non irradié en vue d'éviter de contribuer au risque de prolifération. »

Comme il s'agit de titres de documents officiels appartenant au domaine de la sécurité nucléaire au niveau international, il fallait utiliser les titres exacts de ces documents tels qu'ils existent en russe.

Le titre officiel russe du Traité sur la non-prolifération a été donc récupéré du site web des Nations unies (Договор о нераспространении ядерного оружия³³), et le titre officiel russe de la Directive relative à la gestion du plutonium de l'AIEA a été récupéré du site web de celle-ci (Руководящие принципы МАГАТЭ по обращению с плутонием³⁴).

³³ Site de l'ONU, https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/npt.shtml, consulté le 5 janvier 2021.

³⁴ Site de l'AIEA, https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc549a6-9_rus.pdf, consulté le 5 janvier 2021.

Sigles

« Pour mémoire, pour un traitement de l'ordre de 1 080 t par an, 1 026 tML d'URT sont produites par an (soit 470 kg pour un assemblage combustible usé de 500 kg). »

« En effet, l'URT peut être ré-enrichi pour produire de l'uranium de retraitement enrichi (URE) utilisé pour la fabrication de combustibles URE. »

Le texte source est truffé d'abréviations : URE, URT, UNE, UOX, MOX, tML, etc. La plupart de ces sigles ne présentent pas beaucoup de difficultés. Certains sont expliqués dans le texte (URT, UNE, URE), d'autres sont explicités dans la littérature dédiée à l'industrie nucléaire (AIEA, MOX, RNR, REP, MWe) ou connus de la société française plus largement (EDF).

En règle générale, j'ai décodé les sigles français dans la traduction russe afin de rendre le texte cible le plus facilement lisible par un lecteur russophone. Ainsi, URT (uranium de retraitement) a été traduit par *переработанный уран*, URE (uranium de retraitement enrichi) par *обогащенный переработанный уран*, REP (réacteur à eau pressurisée) par *реактор с водой под давлением*, etc., sans inventer de sigles en russe là où ils n'existent pas ou ne sont pas répandus.

Par convention, les noms des usines ou des procédés industriels qui sont des sigles à l'origine (tel MELOX, mélange d'oxydes) ainsi que les noms d'entreprise (EDF) paraissent tels quels dans le texte russe, sans traduction ni translitération.

Font exception les cas où les sigles correspondants en russe existent déjà et sont bien connus de l'industrie ; c'est notamment le cas de MOX (traduit par МОКС), d'AIEA (traduit par МАГАТЭ).

Il y a cependant deux sigles relativement plus difficiles.

tML

« 1 026 tML d'URT sont produites par an »

« tML », qui ne dit absolument rien à un non-initié, est pourtant l'unité de mesure centrale dans le domaine de la gestion du combustible nucléaire, neuf et usé. Je savais déjà, par mon expérience de la gestion du combustible nucléaire usé, que tML signifie « tonnes de métaux lourds ».

Le combustible nucléaire exploité en réacteur existe le plus souvent sous forme céramique, à savoir sous forme d'UO₂ (dioxyde d'uranium). Pendant les différentes phases en aval et en amont du cycle, l'uranium et le plutonium peuvent cependant aussi prendre d'autres formes, notamment prendre l'aspect de solutions chimiques, et donc être combinés à d'autres matières (Шведов & Седов, 1979, стр. 71). Afin de se concentrer sur les matières qui nous intéressent – l'uranium et le plutonium – on ne comptabilise que ces deux-là, ignorant toutes les autres matières susceptibles d'entrer dans le processus. Les ML, métaux lourds, sont donc l'uranium et le plutonium ; ils sont mesurés en tonnes, peu importe la forme chimique précise sous laquelle ils se trouvent à un moment donné.

Un sigle correspondant existe en russe : *mTM*, pour *тонн тяжелых металлов*.

BK

Seul un sigle a nécessité une vraie recherche terminologique : « BK ».

« Les combustibles MOX usés, après avoir suffisamment refroidi dans les piscines **BK**, sont évacués et sont actuellement entreposés dans l’usine Orano de La Hague ».

Même s’il est évident de ce fragment qu’il s’agit des piscines d’entreposage du combustible sur les sites des centrales nucléaires, la signification de l’abréviation n’était pas immédiatement évidente.

Une recherche pour « piscine BK » dans le moteur de recherche Google a vite abouti à l’expression « bâtiment de stockage du combustible (BK) », proposée par une société participant à la construction de ce type de bâtiment³⁵. B renvoie donc à « bâtiment » et K (et non C) à « combustible ». Le correspondant en russe de cette expression est donc *приреакторные бассейны выдержки*, qui signifie « piscines d’entreposage du combustible sur les sites des centrales », sans préciser si les piscines se trouvent dans un bâtiment séparé ou non. Le terme russe renvoie donc aux piscines tandis que le terme français renvoie au bâtiment qui abrite ces mêmes piscines.

³⁵ Serapid Rigid Chain Technology, <https://www.serapid.com/fr/applications/industrie-energie/centrale-nucleaire-epr-flamanville-76-france>, consulté le 5 janvier 2021. L’Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) emploie lui aussi ce terme : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/reacteurs-nucleaires-France/Pages/2-reacteurs-nucleaires-France-Presentation-reacteur.aspx#.X93dNPZFx3c, consulté le 5 janvier 2021.

4. Analyse terminologique

4.1 Fiches terminologiques

Comment lire une fiche terminologique

Les fiches terminologiques ci-après sont constituées de tout ou partie des champs suivants :

- VE : VEEdette (terme faisant l'objet de la fiche et ses synonymes)
- FR : Français
- RU : Russe
- DOM : DOMaine en français
- CTX : ConTeXte
- COL : COLlocations
- ID : IDentification de l'auteur

Bureau émetteur (organisme pour lequel la fiche a été rédigée) : ESIT ; Collection terminologique à laquelle appartient la fiche : MEM21 pour un mémoire soutenu en 2021; Auteur de la fiche : VUR = Vadym Urasov

- Notes :

EXP = renseignements encyclopédiques qui ne font pas partie de la définition

USG = indications relatives à l'USaGe, au niveau de la langue, au registre, à la région, etc.

ANT = ANTONyme

RF : RéFérences (sources bibliographiques)

Liste des fiches

Vedette française	Numéro	Vedette russe
assemblage combustible	F01	тепловыделяющая сборка
combustible usé	F02	отработавшее ядерное топливо
crayon	F03	ТВЭЛ
entreposage	F04	промежуточное хранение
grappe de contrôle	F05	поглощающий стержень

Fiche terminologique français

F01

VE FR	assemblage combustible [1] assemblage [2] élément combustible [3] grappe de combustible [4]	
DF	Ensemble d'éléments combustibles et de composants associés qui est chargé dans un cœur de réacteur et en est retiré ultérieurement d'un seul tenant.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	À la sortie du réacteur, les assemblages combustibles usés sont entreposés dans une piscine d'eau pendant plusieurs années pour assurer la décroissance des éléments radioactifs (produits de fission) à courte durée de vie.	
COL	* usé, neuf	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Un assemblage combustible groupe un ensemble de crayons combustible maintenus ensemble par des grilles de support. Ce sont les assemblages combustibles qui forment le cœur d'un réacteur nucléaire.
	EXP2	Lorsqu'ils sont retirés des réacteurs, les assemblages combustibles usés sont stockés pendant quelques années dans des piscines d'eau.
	EXP3	En France, les assemblages combustibles de réacteurs à eau pressurisée sont acheminés dans des châteaux de transport (emballages de transport de matières radioactives munis d'un écran de protection radiologique). Ces châteaux contiennent chacun 12 assemblages combustibles , sous air sec. Ils sont transportés jusqu'à l'usine de traitement soit par camion, soit par train
	ANT	grappe de commande, barre de commande, grappe de contrôle, barre absorbante
	USG	[3] est à éviter car polysémique : le terme peut aussi désigner un crayon combustible. [4] est utilisé principalement au Canada.
RF	(Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 12) [DF] ; (Bonin, 2012, pp. 148, 151, 166,) [1] [2] [3] [CTX] [EXP3] [EXP4] ; (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.) https://www.laradioactivite.com/site/pages/assemblagesdereacteursrep.htm [EXP1] ; (Commission canadienne de sûreté nucléaire, s.d.) https://nuclearsafety.gc.ca/fra/waste/high-level-waste/index.cfm?pedisable=true [4] [EXP2]	

Fiche terminologique russe

F01

VE RU	тепловыделяющая сборка [1] топливная сборка [2] ТВС [3] топливная кассета [4] сборка твэлов [5]	
DF	Комплект тепловыделяющих элементов (твэлов) и связанных с ними компонентов, которые загружаются в активную зону реактора в качестве единого блока и впоследствии удаляются из нее.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Расчетный код валидирован на результатах экспериментов по переносу и поглощению кислорода при течении тяжелого жидкометаллического теплоносителя в макетах тепловыделяющих сборок , выполненных в АО «ГНЦ РФ — ФЭИ».	
COL	отработавшая, свежая, поврежденная, кондиционная, рабочая *	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Тепловыделяющая сборка представляет собой группу твэлов, удерживаемых дистанционирующими решетками. Из тепловыделяющих сборок формируется активная зона ядерного реактора.
	EXP2	В некоторых случаях тепловыделяющая сборка может состоять из двух «подборок», именуемых «пучками твэл».
	EXP3	После извлечения из активной зоны реактора тепловыделяющие сборки хранятся на протяжении нескольких лет в воде в бассейне выдержки.
	EXP4	Во Франции тепловыделяющие сборки реакторов с водой под давлением (аналог ВВЭР) перевозятся в экранированных транспортных контейнерах в сухой воздушной среде. Вместимость каждого такого контейнера составляет 12 сборок . Контейнер с тепловыделяющими сборками перевозится на перерабатывающий завод либо железнодорожным, либо автомобильным грузовым транспортом.
	ANT	поглощающий стержень, стержень регулирования, стержень СУЗ, управляющий стержень
RF	(Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 235) [DF] ; (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 118) [1] [CTX] ; (Брюхин & Устинов, 2012, стр. 8, 7) [2] [3] ; (Маргулис, 1988, стр. 164) [4] ; (Шведов & Седов, 1979, стр. 63) [5] ; (Колпаков & Селиванникова, 2009, стр. 27, 53) [EXP1] [EXP2] ; (Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом", 2014, стр. 156) [EXP3] ; (Bonin, 2012, pp. 148, 166) [EXP4] [EXP5]	

Fiche terminologique français

F02

VE FR	combustible usé [1] combustible irradié [2]	
DF	Combustible nucléaire retiré d'un réacteur après irradiation, qui n'est plus utilisable sous sa forme présente en raison d'un appauvrissement des matières fissiles, d'une accumulation de poison ou d'un endommagement par irradiation.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Au moment où l'on arrête la combustion pour remplacer l'élément usé par un neuf, le combustible usé a la composition pondérale typique donnée dans le tableau.	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Le combustible nucléaire est exploité dans le cœur de réacteur pour produire de l'énergie pendant plusieurs années. Il est donc irradié de nombreuses fois. Ce combustible est jugé usé dès lors que sa capacité à participer à une réaction en chaîne devient insuffisamment efficace. Le moment précis où le combustible sera considéré comme « usé » varie en fonction de type de réacteur, des conditions de fonctionnement, du niveau d'enrichissement initial, etc.
	EXP2	Le processus d'« usure » du combustible nucléaire est une combinaison de consommation de son contenu initial en matériau fissile, de production de nouveau matériau fissile et d'accumulation de « poisons neutroniques », c'est-à-dire des éléments qui absorbent les neutrons sans participer à la réaction de fission en chaîne.
	ANT	combustible neuf, combustible frais, combustible non irradié
	USG	« Combustible usé » est le terme et le plus répandu. Cependant, l'adjectif « usé » peut laisser entendre que le combustible ne sera plus jamais utilisé en tant que combustible. C'est pour cette raison que le terme « combustible irradié » est parfois privilégié.
RF	(Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 25) [DF] [USG] ; (Bonin, 2012, pp. 146, 147) [EXP1] [EXP2] [CTX] ; (Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, 2018, p. 45/101) [1] ; (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.) https://www.laradioactivite.com/site/pages/Combustible_Nucleaire_Use.htm [2]	

Fiche terminologique russe

F02

VE RU	отработавшее ядерное топливо [1] ОЯТ [2] отработанное топливо [3] облученное топливо [4]	
DF	Ядерное топливо, удаленное из реактора после облучения, которое более не пригодно для использования в данной форме вследствие обеднения делящегося материала, накопления поглотителя (нейтронов) или радиационных повреждений.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Термин «топливный цикл» указывает на тот факт, что отработавшее или облученное ядерное топливо (ОЯТ) после прохождения специальной переработки может использоваться повторно	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Ядерное топливо эксплуатируется для производства энергии в активной зоне реактора на протяжении нескольких лет, подвергаясь многократному облучению. Топливо становится отработавшим тогда, когда эффективность его участия в цепной реакции деления становится недостаточной. Точный момент перехода топлива в категорию «отработавшего» зависит от типа ядерного реактора, условий его эксплуатации, исходного обогащения и т.д.
	EXP2	Процесс «отработки» ядерного топлива представляет собой сочетание расходования исходного содержания делящегося материала, воспроизводства нового делящегося материала и накопления «отравляющих веществ» – элементов, которые поглощают нейтроны, но не участвуют в цепной реакции деления.
	ANT	свежее ядерное топливо, необлученное ядерное топливо
	USG	[2] – сокращение от [1]. «Отработавшее» или «отработанное топливо» – наиболее распространенный термин. При этом прилагательное «отработавшее» предполагает, что такое топливо не может использоваться в той форме, в которой оно находится. В этой связи предпочтительным может быть термин «облученное топливо».
RF	(Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 156) [DF] [USG] ; (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009, стр. 4, 7) [1] [CTX] ; (Красноруцкий & Кирсанова, 2019, стр. 74) [2] ; (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 244) [3] ; (Шведов & Седов, 1979, стр. 60) [4] ; (Bonin, 2012, pp. 146, 147) [EXP1] [EXP2]	

Fiche terminologique français

F03

VE FR	crayon [1] crayon combustible [2] barre de combustible [3] élément combustible [4] aiguille de combustible [5]	
DF	Tube de faible diamètre, fermé à ses deux extrémités, constituant du cœur d'un réacteur nucléaire quand il contient une matière fissile, fertile ou absorbante.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Lorsqu'il contient de la matière fissile, le crayon est un élément combustible.	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Les crayons combustibles contiennent le plus souvent des pastilles en céramique d'oxide d'uranium (UOX) ou d'oxide d'uranium mélangé à de l'oxide de plutonium (MOX), enfermées dans des gaines en alliage de zirconium.
	EXP2	Dans certains cas, les crayons combustibles peuvent aussi contenir un matériau absorbant, tel le gadolinium, qui est consommé progressivement en cours d'exploitation.
	EXP3	Les crayons combustibles sont regroupés en assemblages combustibles.
	EXP4	Les barres ayant le même aspect géométrique que les crayons combustibles mais contenant exclusivement un matériau absorbant sont appelées « barres de commande ».
	ANT	barre de commande, barre de contrôle, barre absorbante
	USG	[4] est à éviter car polysémique : le terme peut aussi désigner un assemblage combustible. [5] est à privilégier pour les réacteurs à neutrons rapides.
RF	(Bonin, 2012, pp. 69, 93, 259) [1] [4] [DF] [CTX] [EXP3] [EXP4] ; (Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, 2018, p. 34/101) [2] ; (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.) https://www.laradioactivite.com/site/pages//controledereactivite.htm [3] ; (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 153) [5] ; (Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 6) [USG] ; (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), 2012, pp. 25, 72) [EXP1] [EXP2]	

Fiche terminologique russe

F03

VE RU	твэл [1] тепловыделяющий элемент [2] ТВЭЛ [3] топливный стержень [4] твэг [5]	
DF	Стержневой сердечник ядерного топлива, его оболочка и любые связанные с ними компоненты, необходимые для формирования конструкционной единицы.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Время работы ТВЭЛОВ сравнимо со временем морального и материального старения реактора (15-20 лет).	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	ТВЭЛ представляет собой колонку керамических топливных таблеток из оксида урана (UOX) или смеси оксидов урана и плутония (MOX), заключенных внутри оболочек из сплава на основе циркония.
	EXP2	В некоторых случаях ТВЭЛ также может содержать поглощающий материал, который постепенно выгорает при эксплуатации – например, гадолиний.
	EXP3	ТВэлы группируются в тепловыделяющие сборки.
	EXP4	Стержни идентичной ТВЭЛАМ геометрической формы, но содержащие только поглощающий материал, называются «поглощающими стержнями».
	USG	[1] и [3] – сокращения от [2]. [3] – также название российского предприятия, производящего твэлы и тепловыделяющие сборки; соответственно, [3] предпочтительно использовать для обозначения предприятия (ТВЭЛ), а [1] – для его продукции (твэлы). [4] практически не отмечен в технической литературе, за исключением (Международное агентство по атомной энергии, 2007). [5] представляет собой твэл с содержанием гадолиния – выгорающего поглотителя нейтронов.
	ANT	поглощающий элемент (пэл), стержень регулирования, поглощающий стержень, стержень СУЗ, управляющий стержень
RF	(Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 235) [DF] ; (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009, стр. 97) [CTX] ; (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 259, 115, 117) [1] [2] [4] ; (Энциклопедия физики и техники (Encyclopédie de la physique et de la technologie), б.д.) http://femto.com.ua/articles/part_2/3989.html [3] ; (Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом", 2014, стр. 25, 168, 161) [5] [EXP1] [EXP2] [EXP4]	

Fiche terminologique français

F04

VE FR	entreposage [1] refroidissement [2] stockage [3]	
DF	Opération consistant à placer les substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée à cet effet, dans l'attente de les récupérer.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	L' entreposage intervient d'abord sur le site du réacteur pendant environ une année, puis sur le site des installations de traitement (en France à l'usine AREVA de La Hague) pendant 3 à 8 ans suivant les cas.	
COL	* à sec, en piscine	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Une fois déchargés du réacteur, les assemblages combustibles usés sont provisoirement entreposés dans une piscine à eau afin d'assurer leur refroidissement et l'abaissement de leur niveau de radioactivité. Les assemblages combustibles sont inspectés une fois par an pendant la période de maintenance annuelle, et ceux qui sont jugés usés sont retirés et placés dans les piscines.
	EXP2	En France, la phase de refroidissement a lieu d'abord dans la piscine jointive du réacteur et peut durer six mois, un an, voire plus longtemps. Elle est suivie par l'acheminement vers l'usine de La Hague où l'entreposage en piscine dure encore plusieurs années avant le retraitement.
	EXP3	Dans de nombreux pays (mais pas en France) on pratique aussi l' entreposage à sec dans des conteneurs remplis de gaz inerte et conducteur tel l'hélium.
	USG	[1], [2] et [3] peuvent tous les trois être utilisés dans le contexte d'une piscine ; [2] est utilisé quasi-uniquement pour un entreposage en piscine ; [1] étant plus large, il peut aussi décrire l'entreposage à sec ; [3] est antonyme de [1] et [2] en France, mais synonyme dans d'autres pays, tel le Canada, où l'utilisation ultérieure du combustible usé n'est pas prévue. Il n'y a donc pas d'« entreposage » tel quel, et on parle de « stockage en piscine », suivi d'un « stockage à sec ». [3] au Canada uniquement. En France, « stockage » est un antonyme.
	ANT	enfouissement
RF	(Bonin, 2012, pp. 262, 151, 152) [1] [DF] [CTX] ; (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), 2012, pp. 71, 82) [EXP1] ; (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 57) [EXP3] ; (Pataran, 2002, p. 75) [2] [EXP2] ; (Commission canadienne de sûreté nucléaire, s.d.) https://www.cnsccsn.gc.ca/fra/waste/high-level-waste/index.cfm?pedisable=true [3] [USG]	

Fiche terminologique russe

F04

VE RU	промежуточное хранение [1] выдержка [2]	
DF	Содержание радиоактивных источников, отработавшего топлива или радиоактивных отходов в установке, которая обеспечивает их изоляцию, с намерением их последующего извлечения.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Таким образом, в стоимость свежего уранового топлива ВВЭР включаются затраты на переработку ОЯТ, промежуточное хранение и окончательное захоронение образующихся РАО	
COL	сухое, мокрое *; * в бассейне	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	После выгрузки из реактора отработавшие тепловыделяющие сборки помещаются на промежуточное хранение – « выдержку » – в наполненном водой бассейне для их охлаждения и снижения уровней радиоактивности. Тепловыделяющие сборки помещаются в бассейны ежегодно во время планового ремонта энергоблока.
	EXP2	Во Франции выдержка сначала осуществляется в приреакторном бассейне в течение 6-12 месяцев или более, после чего отработавшие тепловыделяющие сборки перевозятся на завод Ла-Аг для выдержки в течение еще нескольких лет и последующей переработки.
	EXP3	Во многих странах (но не во Франции) осуществляется также сухое промежуточное хранение в контейнерах, заполненных инертным теплопроводящим газом – например, гелием.
	USG	[2] используется только для мокрого промежуточного хранения (в бассейне).
	ANT	захоронение, окончательная изоляция
RF	(Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 270, 271) [DF] [EXP3]; (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 255, 36) [1] [CTX] ; (Шведов & Седов, 1979, стр. 140) [2] ; (Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом", 2014, стр. 152, 156) [EXP1] ; (Pataran, 2002, p. 75) [EXP2]	

Fiche terminologique français

F05

VE FR	grappe de contrôle [1] barre de pilotage [2] grappe de commande [3] barre de commande [4] barre absorbante [5] barre de contrôle [6] élément absorbant [7]	
DF	Barre ou ensemble de tiges solidaires mobiles contenant une matière absorbant les neutrons qui, suivant la position dans le cœur d'un réacteur nucléaire, influe sur sa réactivité.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	On dispose pour cela de deux moyens complémentaires : des crayons absorbants groupés en « grappes de contrôle » plus ou moins introduites dans le cœur. ; L'introduction d'un absorbant de neutrons soluble, l'acide borique, en acide borique (sic), un absorbant de neutrons dilué en faible concentration dans l'eau primaire.	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Les grappes de contrôle contiennent un matériau neutrophage tel le bore, l'hafnium, le cadmium, le cobalt, etc.
	EXP2	En fonctionnement normal, les grappes de contrôle maniables servent à réguler la puissance du réacteur. On les retire pour augmenter la puissance et on les insère pour la faire baisser. C'est leur fonction de pilotage.
	EXP3	En cas de situation accidentelle toutes les grappes de contrôle tombent par automatisme dans le cœur pour absorber les neutrons libres et ainsi assurer l'arrêt immédiat de la réaction en chaîne. C'est leur fonction d'arrêt de sûreté.
	EXP4	Les grappes de contrôle peuvent être soit intégrées à l'intérieur des assemblages combustibles, soit en être séparées. Les plus souvent maniables, certaines peuvent être immobiles dans le cœur pour équilibrer les champs neutroniques.
	USG	[6] est déconseillé par la Commission générale de terminologie et de néologie
	ANT	crayon combustible, assemblage combustible
RF	(Bonin, 2012, pp. 258, 61, 63) [2] [5] [DF] [EXP1] ; (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.) https://www.laradioactivite.com/site/pages/lesgrappesdecontrôle.htm [1] [3] [CTX] [EXP2] [EXP3] ; (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 4) [4] ; (Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 11) [USG] ; (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), 2012, pp. 35, 51) [6] [EXP4] ; (Couturier, Yéhia, & Grolleau, 2019, p. 128) [7]	

Fiche terminologique russe

F05

VE RU	поглощающий стержень [1] стержень СУЗ [2] регулирующий стержень [3] стержень регулирования [4] орган СУЗ [5] пэл [6] регулирующая кассета [7]	
DF	Вещество, используемое для снижения реактивности активной зоны реактора благодаря высокому значению сечения поглощения нейтронов, которым оно обладает.	
DOM	énergie nucléaire	
CTX	Регулирование реактивности и мощности осуществляется за счёт перемещения стержней СУЗ в реакторе.	
ID	ESIT MEM 2021 VUR	
Notes	EXP1	Поглощающие стержни содержат материал, являющийся сильным поглотителем нейтронов: бор, гафний, кадмий, кобальт и т.д.
	EXP2	При нормальной эксплуатации подвижные поглощающие стержни служат для регулирования мощности реактора. При их извлечении мощность повышается, при введении – понижается. В этом заключается их регулирующая функция.
	EXP3	При аварийной ситуации происходит автоматическое падение всех поглощающих стержней в активную зону для поглощения свободных нейтронов и мгновенного прекращения цепной реакции. В этом заключается их защитная функция.
	EXP4	Поглощающие стержни могут быть как встроены в тепловыделяющую сборку, так и быть выполнены в виде отдельныхборок. Как правило, поглощающие стержни выполняются подвижными, однако могут также находиться в активной зоне стационарно для выравнивания нейтронных полей.
	ANT	твэл, тепловыделяющая сборка
	USG	«СУЗ» расшифровывается как «система управления и защиты» (реактора), «пэл» как «поглощающий элемент»
RF	(Международное агентство по атомной энергии, 2007, стр. 174, 50) [3] [DF] ; (Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом", 2014, стр. 23, 72, 71, 91, 161) [2] [5] [6] [7] [CTX] [EXP2] [EXP3] ; (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018, стр. 189) [EXP1] [4] ; (Колпаков & Селиванникова, 2009, стр. 17, 31) [EXP1] ; (Колпаков & Селиванникова, 2009, стр. 16, 27) [EXP4] (Маргулис, 1988, стр. 170) [EXP4]	

4.2 Glossaire français-russe

Agence internationale de l'énergie atomique, AIEA	Международное агентство по атомной энергии, МАГАТЭ
DF	Organisation intergouvernementale créée en 1957, qui fait partie de l'Organisation des Nations Unies et dont la mission est de favoriser et de promouvoir l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des technologies nucléaires.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/A/AIEA (consulté le 5 janvier 2021)

atome	АТОМ
DF	Unité de matière composée d'un noyau unique entouré d'un nombre d'électrons égal au nombre de protons du noyau.
EXP	La matière (eau, gaz, roche, êtres vivants) est constituée de molécules, qui sont des combinaisons d'atomes. Les atomes comprennent un noyau chargé positivement, autour duquel se déplacent des électrons chargés négativement. L'atome est neutre. Le noyau de l'atome comprend des protons chargés positivement, et des neutrons. C'est lui qui se transforme en émettant un rayonnement lorsque la radioactivité d'un atome se manifeste.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/A/Atome (consulté le 5 janvier 2021)

centrale nucléaire	атомная электростанция, АЭС
DF	Installation industrielle produisant de l'énergie électrique ou thermique à partir d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 18)

caloporteur	ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ
DF	Fluide, en phase gazeuse ou liquide, utilisé pour extraire la chaleur produite par les fissions.
RF	(Bonin, 2012, p. 258)

cœur	активная зона
DF	Zone centrale d'un réacteur nucléaire, contenant les assemblages combustibles, le caloporteur et le modérateur où se produit la réaction en chaîne.
RF	(Bonin, 2012, p. 259)

combustible nucléaire	ядерное топливо
DF	Matière contenant des nucléides dont la consommation par fission dans un réacteur nucléaire permet d'y entretenir une réaction en chaîne.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 23)

combustible usé	отработавшее ядерное топливо, ОЯТ
DF	Combustible nucléaire retiré d'un réacteur après irradiation qui n'est plus utilisable sous sa forme présente en raison d'un appauvrissement des matières fissiles, d'une accumulation de poison ou d'un endommagement par irradiation.
RF	(Agence internationale de l'énergie atomique, 2007, p. 25)

cycle du combustible nucléaire	ядерный топливный цикл, ЯТЦ
DF	Ensemble des étapes suivies par le combustible nucléaire.
EXP	Le cycle comprend l'extraction du minerai, la concentration de la matière fissile, l'enrichissement, la fabrication des éléments combustibles, leur utilisation dans le réacteur, leur traitement, l'éventuel recyclage des atomes lourds ainsi récupérés et le conditionnement et le stockage des déchets radioactifs.
RF	(Bonin, 2012, p. 260)

déchet nucléaire	ядерные отходы
DF	Résidu inutilisable, issu de l'exploitation de l'énergie nucléaire.
RF	(Bonin, 2012, p. 260)

diffusion gazeuse	газовая диффузия
DF	Procédé d'enrichissement isotopique de l'uranium.
EXP	La diffusion gazeuse a été le premier procédé à atteindre l'échelle industrielle.
RF	(EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.), disponible sur : https://www.laradioactivite.com/site/pages/diffusiongazeuse.htm (consulté le 5 janvier 2021)

Électricité de France, EDF		EDF, ЭДФ, «Электрисите де Франс»
DF	Société anonyme française, détenue à plus de 80 % par l'État et produisant de l'électricité, assurant l'exploitation et la maintenance de ses centrales, ainsi que la distribution de l'électricité.	
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/E/EDF (consulté le 5 janvier 2021)	

enrichissement		обогащение
DF	Processus par lequel est accrue la teneur d'un élément chimique en un de ses isotopes.	
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 47)	

équilibre Pu		плутониевый баланс
DF	Principe de l'égalité de flux de plutonium, selon lequel on ne traite pas plus de combustibles UOX usés que l'on ne peut charger de combustibles MOX dans les réacteurs dédiés.	
RF	(Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, 2018, p. 43/101)	

fertile		воспроизводящий
DF	Qualifie un nucléide susceptible d'être transformé en nucléide fissile par capture d'un neutron.	
EXP	Ainsi, l'uranium 238 (^{238}U), qui se transforme en plutonium 239 (^{239}Pu), est un nucléide fertile.	
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/F/Fertile (consulté le 5 janvier 2021)	

fissile	делящийся
DF	Qualifie un nucléide dont le noyau est susceptible de subir une fission sous l'effet de neutrons de toutes énergies.
EXP	Exemple : l'uranium 235. En toute rigueur, ce n'est pas le noyau appelé fissile qui subit la fission mais le noyau composé formé suite à la capture d'un neutron.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/F/Fissile (consulté le 5 janvier 2021)

fission	деление
DF	Division d'un noyau lourd en deux fragments dont les masses sont du même ordre de grandeur.
EXP	Cette transformation dégage une quantité importante d'énergie et est accompagnée par l'émission de neutrons et de rayonnement gamma.
RF	(Bonin, 2012, p. 263)

Framatome	Framatome
DF	Entreprise française du secteur nucléaire concevant des centrales nucléaires et fournissant des équipements de la chaudière nucléaire et des services de maintenance des réacteurs (anciennement Areva NP).
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/F/Framatome (consulté le 5 janvier 2021)

isotope	ИЗОТОП
DF	Forme différente d'atomes d'un même élément.
EXP	Un isotope présente le même nombre de protons dans son noyau, mais un nombre différent de neutrons.
RF	(Bonin, 2012, p. 264)

matières valorisables	повторно используемые материалы, ценные компоненты
DF	Substances pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.
RF	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), disponible sur : https://www.andra.fr/cigeo/protger-des-dechets-radioactifs-les-plus-dangereux/les-dechets-destines-cigeo-des-dechets (consulté le 5 janvier 2021)

MOX, combustible MOX, mélange d'oxydes	МОКС-топливо, топливо типа МОКС
DF	Combustible nucléaire à base d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium. L'utilisation de combustible MOX permet le recyclage du plutonium.
EXP	MOX pour <i>mixed oxide fuel</i> .
RF	(Bonin, 2012, p. 264)

neutron	нейтрон
DF	Particule fondamentale électriquement neutre, de masse $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg.
EXP	Les neutrons constituent, avec les protons, les noyaux des atomes et provoquent les réactions de fission des noyaux fissiles dont l'énergie est utilisée dans les réacteurs nucléaires.
RF	(Bonin, 2012, p. 264)

non-prolifération	нераспространение
DF	Ensemble des instruments internationaux et des politiques qui concourent à la prévention de l'accès par des États, en violation de leurs engagements internationaux, à des armes de destruction massive et à leurs vecteurs.
EXP	Les armes de destruction massive peuvent être nucléaires, chimiques ou biologiques ; leurs vecteurs peuvent être des missiles.
RF	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) disponible sur : https://non-proliferation.irsn.fr/Nucleaire/historique/Pages/Non-proliferation_historique.aspx (consulté le 5 janvier 2021)

Orano	Orano, «Орано»
DF	Multinationale française du secteur de l'énergie, œuvrant principalement dans les métiers du nucléaire.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/O/Orano (consulté le 5 janvier 2021)

pastille, pastille de combustible	топливная таблетка
DF	Quantité élémentaire de combustible mise sous forme cylindrique et empilée dans une gaine pour constituer un crayon.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 65)

piscine	бассейн выдержки
DF	Bassin rempli d'eau destiné à l'entreposage, au transit, à la manipulation de matières et d'équipements radioactifs, et qui assure la protection des personnes et l'évacuation de la chaleur.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 66)

plutonium	плутоний
DF	Élément formé par capture de neutrons par l'uranium dans le cœur des réacteurs nucléaires.
EXP	Les isotopes impairs du plutonium sont fissiles, ce qui fait du plutonium une matière nucléaire valorisable, par exemple sous forme de combustible MOX.
RF	(Bonin, 2012, p. 265)

réaction de fission en chaîne	цепная реакция деления
DF	Suite des fissions nucléaires au cours desquelles les neutrons libérés provoquent de nouvelles fissions, à leur tour génératrices de nouveaux neutrons provoquant de nouvelles fissions et ainsi de suite.
RF	(Bonin, 2012, p. 267)

réacteur nucléaire	ядерный реактор
DF	Système capable de maîtriser une réaction de fission nucléaire en chaîne.
RF	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), disponible sur : https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/nucleaire/essentiel-sur-fonctionnement-reacteur-nucleaire-electrogene.aspx (consulté le 5 janvier 2021)

réacteur à eau pressurisée, réacteur à eau sous pression, REP	водо-водяной энергетический реактор, ВВЭР
DF	Réacteur nucléaire modéré et refroidi par de l'eau ordinaire, maintenue liquide dans le cœur grâce à une pression appropriée dans les conditions normales de fonctionnement.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 70)

réacteur à neutrons rapides, RNR	реактор на быстрых нейтронах
DF	Réacteur nucléaire dans lequel on limite la présence de matières pouvant ralentir les neutrons afin que les fissions soient produites principalement par des neutrons rapides.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 71)

recyclage	повторное использование, рециклирование
DF	Réutilisation en réacteur de matières nucléaires issues du traitement du combustible usé.
RF	(Bonin, 2012, p. 267)

retraitement, traitement	переработка
DF	Traitement des combustibles usés pour en extraire les matières fissiles et fertiles de façon à permettre leur réutilisation, et pour conditionner les différents déchets sous une forme apte au stockage.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 75)

surgénérateur	размножитель
DF	Réacteur nucléaire pouvant produire plus de matière fissile qu'il n'en consomme.
RF	(Commission générale de terminologie et de néologie, 2006, p. 80)

thorium, Th	торий, Th
DF	Élément chimique, un métal de la famille des actinides, de symbole Th et de numéro atomique 90.
EXP	Le thorium, constitué pratiquement à 100 % de thorium-232, est fertile. La capture d'un neutron ne provoque pas de fission mais transforme ce thorium en un noyau fissile d'uranium-233.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/T/Thorium (EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.), disponible sur : https://www.laradioactivite.com/site/pages/combustiblesauthorium.htm (consulté le 5 janvier 2021)

tonne de métal lourd, tML	тонна тяжелых металлов, тТМ
DF	Unité représentative de la quantité d'uranium, de plutonium ou de thorium contenue dans les matières.
RF	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), disponible sur : https://inventaire.andra.fr/les-donnees/les-matieres-radioactives (consulté le 5 janvier 2021)

UOX, UO₂, oxyde d'uranium	UOX-топливо, урановое топливо, диоксид урана
DF	Combustible nucléaire le plus utilisé, composé d'oxyde d'uranium.
RF	Assistance scolaire personnalisée, disponible sur : https://www.assistancescolaire.com/enseignant/lycee/ressources/base-documentaire-en-physique-chimie/les-combustibles-nucleaires-uox-et-mox-cea087 (consulté le 5 janvier 2021)

uranium	уран
DF	Atome le plus lourd présent dans l'environnement naturel, que l'on trouve à raison de 3 grammes par tonne en moyenne dans la croûte terrestre. L'uranium 235 est le seul noyau naturel aisément fissile que l'on peut extraire du sol.
RF	(EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS, s.d.), disponible sur : https://www.laradioactivite.com/site/pages/uranium238et235.htm (consulté le 5 janvier 2021)

uranium appauvri	обедненный уран
DF	Sous-produit de l'enrichissement de l'uranium, qui contient moins d'uranium 235 que l'uranium naturel.
RF	(Commission canadienne de sûreté nucléaire, s.d.), disponible sur : https://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/fact-sheets/depleted-uranium-perspective.cfm (consulté le 5 janvier 2021)

uranium enrichi	обогащенный уран
DF	Uranium dont la teneur en isotope 235 (^{235}U), le seul fissile, a été portée de son faible niveau naturel (0,72% en masse) à, par exemple, 3,5 % pour un combustible destiné à un réacteur nucléaire à eau sous pression.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Lexique/U/Uranium-enrichi (consulté le 5 janvier 2021)

uranium de retraitement, URT	переработанный уран
DF	Uranium issu du retraitement des combustibles usés.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-surete-du-cycle-du-combustible/Le-combustible/L-uranium (consulté le 5 janvier 2021)

uranium de retraitement enrichi, URE	обогащенный переработанный уран
DF	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, enrichi pour fabriquer du combustible pour centrales nucléaires.
RF	Autorité de sûreté nucléaire, disponible sur : https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-surete-du-cycle-du-combustible/Le-combustible/L-uranium (consulté le 5 janvier 2021)

uranium naturel enrichi, UNE	обогащенный природный уран
DF	Uranium avec une plus grande proportion d'uranium 235 que l'uranium naturel, obtenu par le processus d'enrichissement pour augmenter la capacité de fission nucléaire.
RF	Wiktionnaire, le dictionnaire libre, disponible sur : https://fr.wiktionary.org/wiki/uranium_enrichi (consulté le 5 janvier 2021)

4.3 Lexique français-russe

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
absorbeur		ПОГЛОТИТЕЛЬ
aiguille de combustible ^{F03}	barre de combustible, crayon combustible	ТВЭЛ
Agence internationale de l'énergie atomique	AIEA	Международное агентство по атомной энергии, МАГАТЭ
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique	Международное агентство по атомной энергии, МАГАТЭ
aléa		непредвиденная ситуация
alliage de zirconium	zircaloy	циркониевый сплав, циркалой
assemblage combustible ^{F01}	élément combustible, grappe de combustible	тепловыделяющая сборка, ТВС, топливная кассета
atome		АТОМ
Autorité de sûreté nucléaire	ASN	Агентство ядерной безопасности Франции
ASN	Autorité de sûreté nucléaire	Агентство ядерной безопасности Франции
bâtiment combustible	БК	бассейн выдержки, приреакторное хранилище отработавшего топлива
barre absorbante ^{F05}	grappe de commande, grappe de contrôle, barre de pilotage, barre de commande	стержень СУЗ, поглощающий стержень
barre de commande ^{F05}	grappe de commande, grappe de contrôle, barre de pilotage, barre absorbante	стержень СУЗ, поглощающий стержень
barre de combustible ^{F03}	crayon combustible, aiguille de combustible	ТВЭЛ
barre de pilotage ^{F05}	grappe de commande, grappe de contrôle, barre absorbante, barre de commande	стержень СУЗ, поглощающий стержень
БК	bâtiment combustible	бассейн выдержки, приреакторное хранилище отработавшего топлива
caloporteur		ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
capacité	puissance	мощность
CEA	Commissariat à l'énergie atomique	Комиссариат по атомной энергии Франции
centrale nucléaire		атомная электростанция, АЭС
chargement		загрузка
cœur (du réacteur)		активная зона (реактора)
combustible irradié^{F02}	combustible usé	отработавшее топливо, ОЯТ
combustible frais	combustible non irradié, combustible neuf	свежее топливо, необлученное топливо
combustible neuf	combustible frais, combustible non irradié	свежее топливо, необлученное топливо
combustible non irradié	combustible neuf, combustible frais	свежее топливо, необлученное топливо
combustible MOX	MOX	МОКС-топливо
combustible nucléaire		ядерное топливо, ЯТ
combustible usé^{F02}	combustible irradié	отработавшее топливо, ОЯТ
Commissariat à l'énergie atomique	CEA	Комиссариат по атомной энергии Франции
conditionnement		кондиционирование
conditions d'utilisation		режим эксплуатации
conteneur		контейнер
couverture fertile		зона размножения
crayon combustible^{F03}	barre de combustible, aiguille de combustible	ТВЭЛ
cycle du combustible nucléaire		ядерный топливный цикл, ЯТЦ
déchargement	évacuation	выгрузка, извлечение
déchet nucléaire		ядерные отходы
décroissance radioactive	désintégration radioactive	радиоактивный распад
démonstration de sûreté		обоснование безопасности
défluoration		дефторирование
désintégration radioactive	décroissance radioactive	радиоактивный распад
diffusion gazeuse		газовая диффузия
dissolution		растворение
EDF	Électricité de France	EDF, ЭДФ, «Электрисите де Франс»

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
Électricité de France	EDF	EDF, ЭДФ, «Электрисите де Франс»
élément combustible ^{F01}	assemblage combustible, grappe de combustible	тепловыделяющая сборка, ТВС, кассета
entreposage ^{F04}	refroidissement, stockage (<i>correspondance partielle</i>)	промежуточное хранение, выдержка
enrichissement		обогащение
équilibre Pu		плутониевый баланс
évacuation	déchargement	выгрузка, извлечение
fertile		воспроизводящий
fissile		делящийся
fission		деление
Framatome		Framatome, Фраматом
gestion		обращение
grappe de combustible ^{F01}	assemblage combustible, élément combustible	тепловыделяющая сборка, ТВС, топливная кассета
grappe de contrôle ^{F05}	barre de pilotage, grappe de commande, barre de commande, barre absorbante	стержень СУЗ, поглощающий стержень
grappe de commande ^{F05}	barre de pilotage, grappe de contrôle, barre de commande, barre absorbante	стержень СУЗ, поглощающий стержень
irradiation		облучение
isotope		изотоп
matières nucléaires valorisables		повторно используемые ядерные материалы, ценные материалы
meule		шлифовальная головка
MOX	combustible MOX	МОКС-топливо, топливо типа МОКС
neutron		нейтрон
noyau	nucléus	ядро
nucléide		нуклид
nitrate d'uranyle		нитрат уранила, уранил азотнокислый
non-prolifération		нераспространение
nucléus	noyau	ядро
Orano		Orano, «Орано»
oxyde d'uranium	UOX, UO ₂	оксид урана, UO ₂

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
oxyde de plutonium	PuO ₂	оксид плутония, PuO ₂
pastille (de combustible)		топливная таблетка
pastilles crues		сырые топливные таблетки
pastillage		прессование (таблеток)
piscine		бассейн выдержки
Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs	PNGMDR	Национальный план обращения с радиоактивными материалами и отходами Франции
plutonium	Pu	плутоний, Pu
plutonium séparé		выделенный плутоний
plutonium recyclé		извлеченный из отработавшего топлива плутоний, повторно используемый плутоний
PNGMDR	Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs	Национальный план обращения с радиоактивными материалами и отходами Франции
potentiel énergétique		энергетический потенциал
procédé		технологический процесс
proton		протон
Pu	plutonium	плутоний, Pu
PuO ₂	oxyde de plutonium	оксид плутония, PuO ₂
radioprotection		радиационная защита, радиационная безопасность
réacteur nucléaire	tranche	ядерный реактор, энергоблок
réacteur à eau pressurisée	REP	реактор с водой под давлением, ВВЭР
réacteur à neutrons rapides	RNR	реактор на быстрых нейтронах
réaction de fission en chaîne		цепная реакция деления
rebuts		брак
rebuts de fabrication		хвосты производства
recyclage	réutilisation	повторное использование
rectification		шлифовка

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
refroidissement	entreposage	выдержка, промежуточное хранение
REP	réacteur à eau pressurisée	реактор с водой под давлением, ВВЭР
retraitement		переработка
réutilisation	recyclage	повторное использование
RNR	réacteur à neutrons rapides	реактор на быстрых нейтронах
secret défense		военная тайна
sécurité nucléaire		физическая безопасность
stock		запас
stockage	<i>entreposage (correspondance partielle)</i>	хранение, захоронение
stockstampons		оперативный резерв
sûreté nucléaire		ядерная безопасность
surgénérateur		реактор-размножитель
taux de recyclage		коэффициент повторного использования
teneur		содержание
Th	thorium	Th, торий
thorium	Th	торий, Th
tML	tonnes de métaux lourds	тТМ, тонн тяжелых металлов
tonnes de métaux lourds	tML	тонн тяжелых металлов, тТМ
traitement	retraitement	переработка
traité		договор
tranche	réacteur	энергоблок, реактор
U	uranium	U, уран
UO₂	UOX, oxyde d'uranium	оксид урана, UO₂
UOX	oxyde d'uranium, UO₂	оксид урана, UO₂
uranium	U	уран, U
uranium appauvri		обедненный уран
uranium enrichi		обогащенный уран
uranium de retraitement	URT	переработанный уран
uranium de retraitement enrichi	URE	обогащенный переработанный уран
uranium naturel enrichi	UNE	обогащенный природный уран

Vedette FR	Synonymes	Vedette RU
UNE	uranium naturel enrichi	обогащенный природный уран
URE	uranium de retraitement enrichi	обогащенный переработанный уран
URT	uranium de retraitement	переработанный уран

4.4 Lexique russe-français

Vedette RU	Synonymes	Vedette FR
EDF	ЭДФ, «Электрисите де Франс»	Électricité de France, EDF
Framatome	Фраматом	Framatome
Orano	«Орано»	Orano
Pu	плутоний	plutonium, Pu
PuO ₂	оксид плутония	oxyde de plutonium, PuO ₂
Th	торий	thorium, Th
U	уран	uranium, U
UO₂	оксид урана, UOX-топливо	UOX, UO ₂ , oxyde d'uranium
UOX-топливо	UO ₂ , оксид урана	UOX, UO ₂ , oxyde d'uranium
атом		atome
Агентство ядерной безопасности Франции		Autorité de sûreté nucléaire, ASN
активная зона (реактора)		cœur (du réacteur)
атомная электростанция	АЭС	centrale nucléaire
АЭС	атомная электростанция	centrale nucléaire
бассейн выдержки	приреакторное хранилище отработавшего топлива	piscine, BK
брак		rebut
ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор)	реактор с водой под давлением	REP, réacteur à eau pressurisée
военная тайна		secret défense
воспроизводящий		fertile
выгрузка	извлечение	déchargement, évacuation
выделенный плутоний		plutonium recyclé
выдержка^{F04}	промежуточное хранение	entreposage, refroidissement, stockage
газовая диффузия		diffusion gazeuse
деление		fission
делящийся		fissile
дефторирование		défluoration
договор		traité
загрузка		chargement
запас		stock
захоронение		stockage

зона размножения		couverture fertile
извлечение		déchargement, évacuation
ИЗОТОП		isotope
Комиссариат по атомной энергии Франции		Commissariat à l'énergie atomique, CEA
кондиционирование		conditionnement
контейнер		conteneur
коэффициент повторного использования		taux de recyclage
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии	Agence internationale de l'énergie atomique, AIEA
Международное агентство по атомной энергии	МАГАТЭ	Agence internationale de l'énergie atomique, AIEA
МОКС-топливо	топливо типа МОКС	combustible MOX, MOX
мощность		capacité, puissance
Национальный план обращения с радиоактивными материалами и отходами Франции		Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs, PNGMDR
нейтрон		neutron
необлученное топливо	свежее топливо	combustible non irradié, combustible neuf, combustible frais
непредвиденная ситуация		aléa
нераспространение		non-prolifération
нитрат уранила	уранил азотнокислый	nitrate d'uranyle
нуклид		nucléide
обедненный уран		uranium appauvri
облучение		irradiation
обогащение		enrichissement
обогащенный переработанный уран		uranium de retraitement enrichi, URE
обогащенный природный уран		uranium naturel enrichi, UNE
обогащенный уран		uranium enrichi
обоснование безопасности		démonstration de sûreté
обращение		gestion
оксид плутония	PuO₂	oxyde de plutonium, PuO₂

оксид урана	UO ₂ , UOX-топливо	oxyde d'uranium, UOX, UO ₂
оперативный резерв		stockstampons
«Орано»	Orano	Orano
отработавшее топливо ^{F02}	ОЯТ	combustible usé, combustible irradié
ОЯТ ^{F02}	отработавшее топливо	combustible usé, combustible irradié
переработанный уран		uranium de retraitement, URT
переработка		traitement, retraitement
плутониевый баланс		équilibre Pu
плутоний	Pu	plutonium, Pu
повторное использование	рециклирование	recyclage, réutilisation
повторно используемые ядерные материалы	ценные материалы	matières nucléaires valorisables
поглотитель		absorbeur
поглощающий стержень ^{F05}		barre absorbante, grappe de commande, grappe de contrôle, barre de pilotage, barre de commande
прессование (таблеток)		pastillage
приреакторное хранилище отработавшего топлива	бассейн выдержки	bâtiment combustible, BK
промежуточное хранение ^{F04}	выдержка	entreposage, refroidissement, stockage
протон		proton
радиационная безопасность	радиационная защита	radioprotection
радиационная защита	радиационная безопасность	radioprotection
радиоактивный распад		décroissance radioactive, désintégration radioactive
растворение		dissolution
реактор на быстрых нейтронах		réacteur à neutrons rapides, RNR
реактор-размножитель		surgénérateur
реактор с водой под давлением	ВВЭР	réacteur à eau pressurisée, REP
режим эксплуатации		conditions d'utilisation
рециклирование	повторное использование	recyclage, réutilisation

свежее топливо	необлученное топливо	combustible frais, combustible non irradié, combustible neuf
содержание		teneur
стержень СУЗ ^{F05}	поглощающий стержень	barre absorbante, grappe de commande, grappe de contrôle, barre de pilotage, barre de commande
сырые топливные таблетки		pastilles crues
технологический процесс		procédé
ТВС^{F01}	тепловыделяющая сборка, кассета	assemblage combustible, grappe de combustible, élément combustible
ТВЭЛ^{F03}		crayon combustible, barre de combustible, aiguille de combustible
тепловыделяющая сборка^{F01}	ТВС, кассета	assemblage combustible, grappe de combustible, élément combustible
теплоноситель		caloporteur
тонн тяжелых металлов	тТМ	tonnes de métaux lourds, tML
топливная кассета ^{F01}	тепловыделяющая сборка, ТВС	assemblage combustible, grappe de combustible, élément combustible
топливная таблетка		pastille (de combustible)
топливо типа МОКС	МОКС-топливо	combustible MOX, MOX
торий	Th	thorium, Th
тТМ	тонн тяжелых металлов	tonnes de métaux lourds
уран	U	uranium, U
уранил азотнокислый	нитрат уранила	nitrate d'uranyle
физическая безопасность		sécurité nucléaire
Фраматом	Framatome	Framatome
хвосты производства		rebutts de fabrication
ценные материалы	повторно используемые ядерные материалы	matières nucléaires valorisables
цепная реакция деления		réaction de fission en chaîne
циркалой	циркониевый сплав	alliage de zirconium, zircaloy
циркониевый сплав	циркалой	alliage de zirconium, zircaloy
шлифовальная головка		meule
шлифовка		rectification

ЭДФ	«Электрисите де Франс», EDF	EDF, Électricité de France
«Электрисите де Франс»	EDF, ЭДФ	EDF, Électricité de France
энергетический потенциал		potentiel énergétique
энергоблок		tranche, réacteur
ядерная безопасность		sûreté nucléaire
ядерное топливо	ЯТ	combustible nucléaire
ядерные отходы		déchet nucléaire
ядерный топливный цикл	ЯТЦ	cycle du combustible nucléaire
ядерный реактор		réacteur nucléaire
ядро		nucléus, noyau
ЯТЦ	ядерный топливный цикл	cycle du combustible nucléaire

5. Bibliographie selective critique commentée

Pour les définitions j'ai d'abord fait appel aux glossaires édités par l'Agence internationale de l'énergie atomique, l'un en français (Agence internationale de l'énergie atomique, 2007) et l'autre en russe (Международное агентство по атомной энергии, 2007).

Si ces glossaires servent de références depuis de nombreuses décennies dans l'industrie nucléaire partout dans le monde, ils contiennent cependant des recommandations d'usage qui ne sont parfois pratiquement pas attestées dans la littérature spécialisée. C'est notamment le cas de « barre de combustible » et « élément combustible » en français et *топливный стержень* en russe.

Sources en français

Afin d'étudier l'organisation du cycle nucléaire en France, je me suis appuyé sur plusieurs sources tirées de la collection d'ouvrages « Génie atomique » de l'Institut national des Sciences et Techniques nucléaires : « L'épopée de l'énergie atomique : une histoire scientifique et industrielle » de Paul Reuss (Reuss, 2007), « Le cycle du combustible nucléaire » de Luis Pataran (Pataran, 2002) et « Le nucléaire expliqué par de physiciens » de Bernard Bonin (Bonin, 2012) (de ce dernier je tire plusieurs de mes définitions en français). Ces trois ouvrages sont essentiellement des manuels qui s'adressent à des étudiants en génie atomique et supposent un certain niveau préexistant de connaissance du sujet, ce qui les rend parfois inaccessible à un non-initié.

Pour me mettre dans un contexte un peu plus vulgarisé et facile à lire j'ai utilisé le livre « Pourquoi le nucléaire » de Bertrand Barré (Barré, 2017),

Exhaustive, la *Présentation du « Cycle du combustible » français en 2018* du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, dont est tiré mon texte-support, m'a elle-même servi de source d'information et pour certaines définitions.

Une source indispensable a également été le site Internet laradioactivite.com créé par la maison d'édition EDP Sciences³⁶ (qui a édité les ouvrages de Reuss, Bonin et Pataran) et l'Institut national de physique nucléaire et physique des particules (IN2P3)³⁷. De ce site, je tire la majorité des illustrations utilisées.

Par ailleurs, la section « Lexique » du site web de l'Autorité de sûreté nucléaire³⁸, disponible à www.asn.fr/Lexique, ainsi que le « Vocabulaire de l'ingénierie nucléaire » édité en 2006 par la Commission générale de terminologie et de néologie (Commission générale de terminologie et de néologie, 2006) ont été d'une valeur inestimable pour les définitions.

Pour les informations détaillées sur la conception du combustible nucléaire, j'ai utilisé le guide de référence intitulé « Le combustible des réacteurs à eau » édité par le CEA en 2012 (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), 2012).

D'autres sites Internet ont été utilisés sporadiquement pour des recherches terminologiques pointues et pour certaines définitions, tels les sites de l'Agence nationale pour la gestion des

³⁶ EDP Sciences pour : Édition Diffusion Presse Sciences

³⁷ L'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) est un institut de recherche fondamentale du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) dont le domaine de recherche est, comme son nom l'indique, la physique nucléaire et des particules.

³⁸ L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a pour mission d'assurer, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires et de contribuer à l'information des citoyens. Source : éditorial de l'ASN, https://www.asn.fr/annual_report/2009fr/, consulté le 19 décembre 2020.

déchets radioactifs (www.andra.fr) et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (www.irsn.fr).

En général, j'ai trouvé la littérature technique en France abondante, avec des sources récentes et facilement disponibles.

Enfin, pour placer mes recherches terminologiques dans un contexte francophone international, j'ai consulté le site Internet de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (nuclearsafety.gc.ca). Cette source m'a fourni des informations précieuses sur l'usage de termes nucléaires dans un autre pays francophone, qui s'est avéré parfois différent de celui de France.

Sources en russe

La situation avec mes références en russe était bien différente et plus difficile.

Je possédais déjà deux livres en russe portant sur mon sujet, édités à l'époque soviétique : (Маргулис, 1988) et (Шведов & Седов, 1979). Je les avais achetés il y a quelques années pour les utiliser dans mon travail. De haute qualité, ces ouvrages sont néanmoins datés et on pourrait donc supposer que leur pertinence est limitée, même si les technologies de base qui y sont décrites demeurent les mêmes. J'ai donc recherché d'autres sources plus récentes pour m'assurer que l'information qui y était donnée était toujours d'actualité. Voyager en Ukraine ou en Russie étant difficile (voire impossible pendant une bonne partie de l'année 2020), ma recherche de sources s'est limitée surtout à Internet.

Cette recherche a abouti sur deux excellents manuels édités par l'Université polytechnique de Tomsk en 2009 et disponible sur le site de l'Université (Бойко, Демьянюк, & Исаченко, 2009) et (Колпаков & Селиванникова, 2009). Il s'agit de livres d'étude qui portent précisément sur

l'organisation du cycle nucléaire et la conception de combustible nucléaire et qui s'adressent aux étudiants polytechniciens. Ces deux sources m'ont été indispensables pour l'usage courant de termes techniques dans la Russie actuelle.

L'autre source la plus importante (et récente) en russe a été une compilation de rapports présentés lors d'une conférence, également à Tomsk, consacrée à la fermeture du cycle du combustible nucléaire à la base des réacteurs à neutrons rapides (« Замыкание топливного цикла ядерной энергетики на базе реакторов на быстрых нейтронах » (ИТЦП «ПРОРЫВ», 2018)).

Les définitions russes sont tirées surtout du glossaire en russe de l'AIEA (Международное агентство по атомной энергии, 2007).

Pour valider certains termes, j'ai également utilisé un dictionnaire terminologique russe unilingue spécialisé, édité en 1996 à Moscou (Ужанова, Горынина, & Селиверстов, 1996).

Des sites Internet en russe m'ont aussi fourni des informations précieuses, particulièrement dans les cas où mes autres sources ne suffisaient pas. Il s'agit principalement de sites spécialisés dans le domaine du nucléaire : atominfo.ru et atomic-energy.ru.

Le russe demeure la langue prédominante dans l'industrie nucléaire des autres pays de l'ex-Union soviétique, y compris en Ukraine, où des ouvrages techniques rédigés en russe sont également édités. La source ukrainienne rédigée en russe la plus utile a été le manuel interne édité par la centrale nucléaire de Rivné à l'intention du personnel de la centrale, disponible en ligne (Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом", 2014). Une autre source ukrainienne en russe que j'ai utilisée est l'article « *О вариантах ядерного топливного цикла Украины* (Options du cycle nucléaire en Ukraine) » (Красноручкий & Кирсанова, 2019).

J'ai constaté que sauf exception, la terminologie russe employée dans ce domaine était la même en Ukraine et en Russie.

Autres sources

Pour me renseigner sur les aspects plus larges, historiques et théoriques de l'énergie nucléaire je me suis également appuyé sur deux ouvrages en anglais rédigés par James Mahaffey : (Mahaffey, Atomic Awakening, 2009) et (Mahaffey, Atomic Accidents, 2014).

6. Bibliographie complète

- (б.д.). Получено из Энциклопедия физики и техники (Encyclopédie de la physique et de la technologie): <http://femto.com.ua/>
- Agence internationale de l'énergie atomique. (2007). *Glossaire de sûreté : terminologie employée en sûreté nucléaire et radioprotection*. Vienne: Agence internationale de l'énergie atomique.
- Barré, B. (2017). *Pourquoi le nucléaire*. Paris: De Boeck Supérieur.
- Bonin, B. (2012). *Le nucléaire expliqué par de physiciens*. Les Ulis: EDP Science.
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). (2012). *Le combustible des réacteurs à eau*. Saclay: CEA.
- Commission canadienne de sûreté nucléaire. (s.d.). Récupéré sur Commission canadienne de sûreté nucléaire: nuclearsafety.gc.ca/fra/
- Commission générale de terminologie et de néologie. (2006). *Vocabulaire de l'ingénierie nucléaire - Enrichissement de la langue française*. Paris: Termes, expressions et définitions publiés au Journal officiel.
- Couturier, J., Yéhia, H. A., & Grolleau, E. (2019). *Éléments de sûreté nucléaire. Les réacteurs de recherche*. Les Ulis: EDP Sciences.
- EDP-Sciences, Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules (IN2P3), CNRS. (s.d.). *La Radioactivité*. Récupéré sur La Radioactivité: www.laradioactivite.com
- Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire. (2018). *Présentation du cycle du combustible français en 2018*. Paris La Défense: DGPR.
- Mahaffey, J. (2009). *Atomic Awakening*. New York: Pegasus Books.
- Mahaffey, J. (2014). *Atomic Accidents*. New York: Pegasus Books.
- Pataran, L. (2002). *Le cycle du combustible nucléaire*. Les Ulis: EDP Sciences.
- Reuss, P. (2007). *L'épopée de l'énergie atomique : une histoire scientifique et industrielle*. Les Ulis: EDP Sciences.
- Бойко, В., Демьянюк, Д., & Исаченко, Д. (2009). *Ядерный топливный цикл и режим нераспространения (Cycle nucléaire et non-prolifération)*. Томск: Издательство Томского политехнического университета.
- Брюхин, В., & Устинов, А. (2012). *Анализ влияния MOX-топлива на нейтронно-физические характеристики ВВЭР (Analyse d'impact du combustible MOX sur la neutronique des réacteurs VVER)*. Подольск: ОКБ "ГИДРОПРЕСС".

- ИТЦП «ПРОРЫВ». (2018). Замыкание топливного цикла ядерной энергетики на базе реакторов на быстрых нейтронах (*Fermeture du cycle nucléaire à la base de réacteurs à neutrons rapides*). *Сборник докладов отраслевой конференции*. Томск: Росатом.
- Колпаков, Г., & Селиванникова, О. (2009). *Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов (Conception de crayons combustibles, canaux et coeurs de réacteurs destinés à la production d'électricité)*. Томск: Издательство Томского политехнического университета.
- Красноручий, В., & Кирсанова, О. (№2 (120) 2019 г.). О вариантах ядерного топливного цикла Украины (*Options du cycle nucléaire en Ukraine*). *Вопросы атомной науки и техники*, стр. 74-81.
- Маргулис, У. (1988). *Атомная энергия и радиационная безопасность (Énergie atomique et radioprotection)*. Москва: Энергоатомиздат.
- Международное агентство по атомной энергии. (2007). *Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты (Glossaire de sûreté : terminologie employée en sûreté nucléaire et radioprotection)*. Вена: Международное агентство по атомной энергии.
- Ривненская АЭС НАЭК "Энергоатом". (2014). Ривненская АЭС в энергетике Украины - просто о сложном (*Centrale nucléaire de Rivné dans le réseau électrique ukrainien - la complexité expliquée simplement*). Вараш, Украина: Ривненская АЭС.
- Ужанова, В., Горынина, Л., & Селиверстов, М. (1996). *Атомная энергетика в терминах (Terminologie dans l'industrie électronucléaire)*. Москва: Информационно-издательская фирма "Скрипто".
- Шведов, В., & Седов, В. (1979). *Ядерная технология (Technologie nucléaire)*. Москва: Атомиздат.

Annexe I : Questions posées et réponses fournies à la suite de la revue de la traduction du texte-support

Ткачёв Денис, Enconet Consulting Ges.m.b.H., 20 Октября 2020 г.

Замечания к тексту перевода «Matières nucléaires valorisables rus.docx»

По тексту в целом:

- Проверь, что номера сносок в тексте в superscript. – *проверю, да*
- Если хочешь, чтобы был действительно хороший русский язык, ставь везде «ё», а не «е». Я думаю, это оценят. – *про это я тебе уже написал – почему-то наши преподаватели не очень жалуют букву «ё».*
- Проверь спряжение слова «тонна», «тонн», «тонны». Напр. 81.7 тонн (семь десятых тонн), 42.4 тонны (четыре десятых тонны). – *да, проверю*

Стр. 37? (без номера), параграф 1:

Желательно дать расшифровку сокращению «МОКС»(МОХ), «тТМ», так как это выдержка из большой статьи, и читающий эту выдержку может не знать, что такое «тТМ». Обычно после сокращения при первом упоминании приводят в скобках примечание переводчика, напр. (прим. переводчика: тТМ - ...) – *про МОКС и тТМ у меня идёт речь в самом дипломе, среди терминологических моментов. Вообще же, в оригинальном тексте куча сокращений, которые я практически все расшифровываю по-русски, оставляя только самые известные (как раз типа МОКС, МАГАТЭ и т.п.)*

Стр. 37? (без номера), параграф 5:

Дана сноска под №26, но внизу сноска под №25, возможно, опечатка? - *проверю*

Стр. 37? (без номера), параграф 7:

Фраза «*Возобновление повторного использования переработанного урана позволит более полно использовать ядерные материалы*». Может лучше использовать слово «эффективно»? или другой синоним. «Полно» как-то не вяжется тут. – *да, поменял на «эффективно».*

Стр. 38, сноска №27:

В конце текста сноски есть слово «транзакций», может всё-таки транзакций? – *поискал, вот что пишут: По заверению филологов, «транзакция» - термин из области программирования, «транзакция» - слово, которое употребляется в политической, юридической и финансовой сфере. Таким образом, правильно: денежная **транзакция***

Стр. 39, все буллиты:

Даются ссылки на п.1 – п.7, я бы указал, что это пункты на рис. 13. – *по идее нужно оставить как в оригинале.*

Стр. 39, буллит 6:

ТВЭЛ – это сокращение от тепловыделяющий элемент, соответственно надо большими буквами писать. – *да, есть такое мнение, но во всех моих источниках именно маленькими*

буквами, в том числе в Глоссарии МАГАТЭ. Кроме того, это позволяет не путать с компанией «ТВЭЛ», которая производит твэл.

Стр. 40, параграф 6:

Я бы привёл фразу «...за исключением 4 энергоблоков АЭС Крюа:» в скобках, иначе как-то странно текст воспринимается. – да, поменял на «(за исключением 4-х энергоблоков АЭС Крюа)»

Стр. 40, параграф 7:

*Дана ссылка на рис. 1. Я понимаю, что сам рисунок был приведён ранее, но наверно лучше дать примечание переводчика, что рисунок приведён раньше - *По идее нужно оставить как в оригинале.**

Стр. 41, последний параграф:

Сделай выравнивание всех параграфов в тексте одинаковым, а то бросается в глаза – исправлю, да

Стр. 41, последний параграф:

*Я бы не стал использовать в русском языке словосочетание «парк АЭС», режет глаз. Просто «*При текущих режимах работы АЭС ...* », и далее по тексту тоже. - «*парк АЭС*» встречается широко, но исправил*

Стр. 42, первый параграф:

Фраза «*Оно составляет энергетический резерв плутония, который сможет в более долгосрочной перспективе*». Лучше не «сможет» (резерв сам не может же), а просто «может». - *исправил*

Стр. 42, параграф 2:

Фраза «... *который был открыт к подписанию в Вашингтоне ...*» не очень русский перевод. Может лучше «... *который был подписан ...*». – *оно именно так называется. Договор не просто подписывают несколько стран, его еще и открывают для подписания другими странами. Если хочешь почитать*

Стр. 42, параграф 2, конец параграфа:

Фраза «... *с обеспечением баланса между производством и потреблением плутония, содержащегося в необлученном ядерном топливе или выделенного из него*». Ниже дано объяснение, что такое выделенный плутоний, а из твоего перевода следует, что плутоний выделяют из необлучённого ядерного топлива. – *так в оригинале. Думаю, имеется в виду плутоний, либо содержащийся в необлучённом МОКС-топливе, либо выделенный из облучённого МОКС-топлива*

Стр. 43, параграф 3:

Фраза «... *(плутоний, "назначенный" для изготовления, плюс оперативный резерв)*». Может лучше «предназначенный»? – *да, согласен, исправил. На этом слове я тоже споткнулся и не мог найти подходящее*

Стр. 43, последний буллит (№3):

Я бы вместо «эпизодически» использовал «частично в Ла-Аг». – *согласен, исправил*

Стр. 43, сноска 33:

Повторяется текст, который приведён в рамке на стр. 42. - *По идее нужно оставить как в оригинале.*

Стр. 44? (без номера), буллит 1:

Фраза «• Очень небольшое количество (0,5 т) участвует в технологическом процессе переработки на Ла-Аг, и еще очень небольшое количество ». Может лучше «и ещё меньше»? – *согласен, да*

Фраза «... на исследовательских установках». Либо «в установках» (в реакторе, в бассейнах, в хранилище), либо «на площадках установок» - *да, так лучше, исправил*

Annexe II : Présentation de difficultés terminologiques dépassant le cadre du texte-support

Pour la soutenance, j'aimerais aborder deux sujets qui dépassent le cadre de mon texte-support tout en étant très intéressants du point de vue terminologique.

La dualité « élément combustible – élément absorbant »

Le premier sujet est celui du rapport entre assemblage combustible et grappe de contrôle. L'éventail de termes – souvent difficiles à distinguer – est très large pour ces deux notions³⁹. Dans les deux langues, il existe au moins quatre ou cinq termes pour décrire un assemblage combustible, et jusqu'à sept termes pour décrire une grappe de contrôle. Le rapport compliqué entre les deux notions peut facilement laisser le traducteur perplexe. Pour mieux expliquer ce rapport, il faut revenir aux bases.

Comme on l'a vu dans le paragraphe 1.2 de l'Exposé, la réaction nucléaire est un équilibre de production et de consommation de neutrons. C'est le combustible nucléaire, présent dans le réacteur sous forme d'« assemblages combustibles » qui sert à maintenir la réaction. Une partie du matériau contenu dans le combustible fissionne quand elle est exposée aux neutrons et produit encore des neutrons pour ainsi maintenir une réaction continue en chaîne.

Cependant cette réaction doit aussi être pilotée : on a besoin de l'accélérer ou de la freiner – un peu comme on accélère ou on freine en voiture. C'est à cela que servent les « grappes de contrôle ». Le matériau contenu dans celles-ci absorbe les neutrons sans se fissionner. On retire les grappes de contrôle du réacteur pour accélérer la réaction et on les insère pour la ralentir voire l'arrêter complètement.

Le cœur d'un réacteur nucléaire est un milieu très uniformisé : c'est une « grille » composée de « cellules » de forme identique. Il se trouve donc que, malgré leurs fonctions opposées, les assemblages combustibles et les grappes de contrôle doivent coexister dans des cellules

³⁹ Voir les fiches terminologiques **F01** et **F05**

identiques. C'est pourquoi ils ont souvent une géométrie quasi-identique, voire sont intégrés dans une seule enveloppe.

Une approche assez répandue consiste à séparer les grappes de contrôle des assemblages combustibles. Il y a donc une séparation nette entre les deux, mais leur géométrie est très semblable, ce qui permet de maintenir l'uniformité des cellules dans le cœur du réacteur, remplissant chaque cellule soit d'un assemblage combustible, soit d'une grappe de contrôle suivant les besoins.

On trouve cette dualité surtout en russe, où le mot *кассета* peut signifier à la fois assemblage combustible et grappe de contrôle du fait de leur apparence quasi-identique. Pour les différencier, il faut préciser leur fonction. On appelle donc *рабочая кассета* (littéralement, « cassette ouvrière ») les assemblages combustibles, et *регулирующая кассета* (« cassette de pilotage ») les grappes de contrôle.

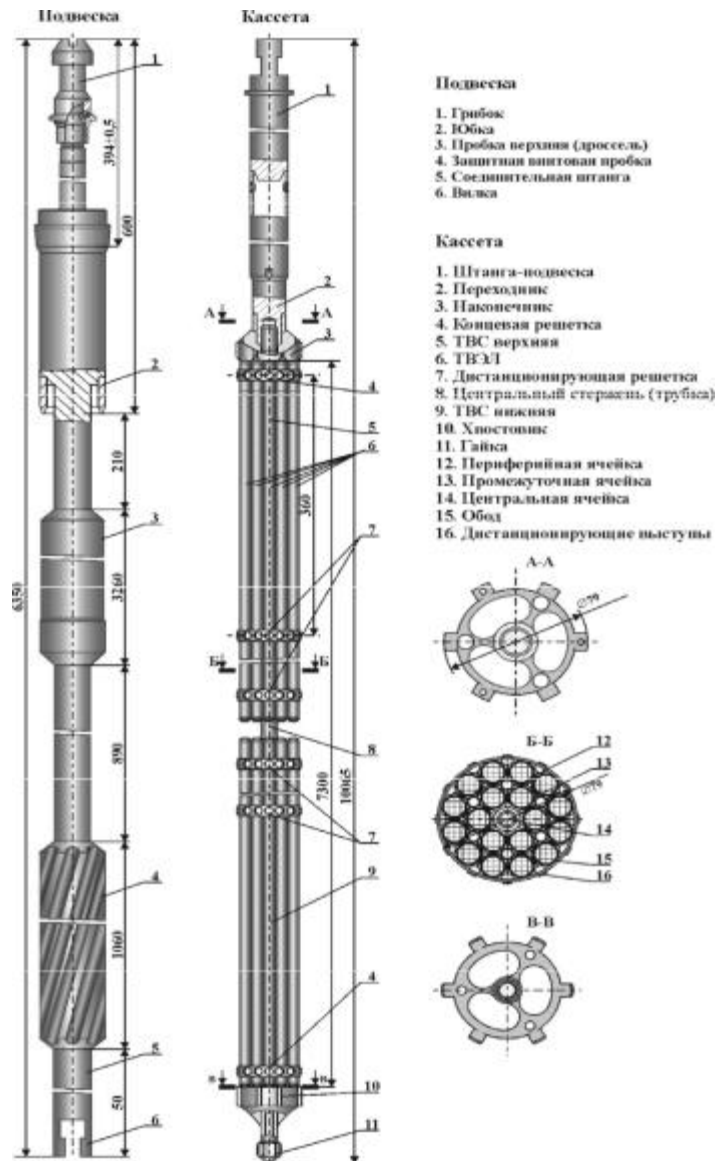


Figure A.1 : Assemblage combustible RBMK, source : <http://dvoika.net/Reactor/assembly.htm>, consulté le 15 février 2021

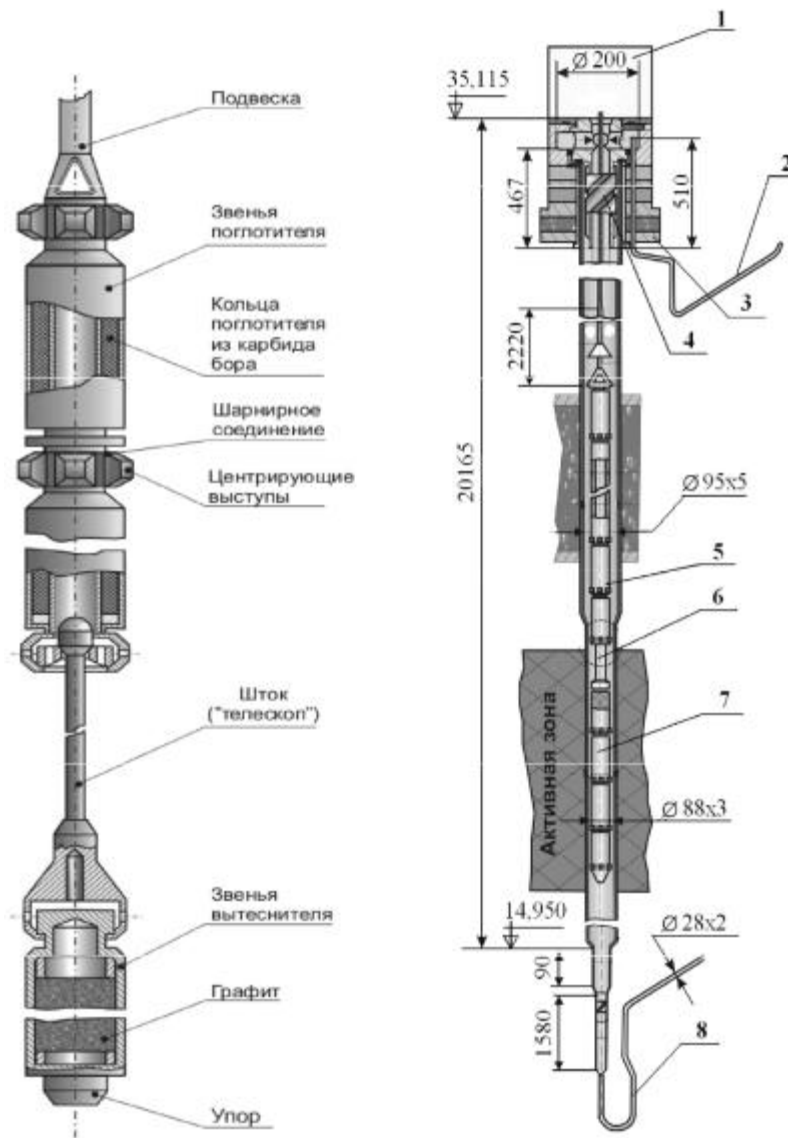


Figure A.2 : Barre absorbante RBMK, source : <http://dvoika.net/Reactor/assembly.htm>, consulté le 15 février 2021

Comme on peut l'observer sur les figures ci-dessus, l'assemblage combustible RBMK et la barre absorbante RBMK sont géométriquement très proches.

On trouve un phénomène comparable en français avec le mot « élément ». On peut appeler « élément combustible » un assemblage combustible, lorsqu'« élément absorbant » désigne une grappe de contrôle.

L'autre approche consiste à intégrer la grappe de contrôle *à l'intérieur* de l'assemblage combustible.

C'est notamment le cas du combustible REP en France, où les assemblages combustibles contiennent des tubes guides dans lesquels coulissent les barres de contrôle. Donc, la grappe de contrôle *fait partie* de l'assemblage combustible, et peut être insérée ou retirée tout en restant intégrée à ce dernier.



Figure A.3 : Assemblage combustible REP, source :

https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Mediatheque/pages/Detail_Mediatheque_v2.aspx?GuidWeb=3163662f-e01c-4895-af0f-0b82c2f2a3af&GuidList=214eb866-0d9b-43b9-a161-31e8192fe68a&GuidItem=3&Cible=1&imgId=1abfea1b-7e03-4e46-89cd-f5d582972359/5,

consulté le 15 février 2021

(Il y a bien une explication tout à fait logique à cela : plus on rapproche le matériau absorbant du matériau fissile, plus l'action absorbante devient efficace.)

La question peut pourtant être encore plus compliquée. Parfois, il y a une partie fissile et une partie absorbante dans *le même assemblage*. Il peut se trouver que la partie inférieure est remplie de matériau fissile et constitue donc un assemblage combustible, lorsque la partie supérieure est remplie de matériau absorbant et constitue donc un assemblage absorbant. Cela s'appelle en russe *аварийно-регулирующая кассета* (« cassette de pilotage et de sûreté »).

Il y a des cas où un assemblage combustible contient non seulement du matériau fissile mais aussi du matériau absorbant physiquement mélangé à celui-ci. On parle alors en russe de *рабочие кассеты с уран-гадолинивым топливом* (littéralement, « cassette ouvrière à combustible uranium-gadolinium »).

Plus récemment, les termes « assemblages combustible » et « grappe de contrôle » en français et *тепловыделяющая сборка* et *поглощающий/регулирующий стержень* en russe se sont largement imposés comme termes dominants. Pourtant, même avec l'imposition de *тепловыделяющая сборка*, on trouve aujourd'hui encore dans la littérature technique le terme *кассета*, ce qui peut s'avérer difficile pour un traducteur qui connaît peu le sujet, surtout quand ce mot est utilisé sans précision de fonction, ou côte à côte avec le terme *сборка* – est-ce la même chose ou deux choses différentes ? Tout dépend donc du contexte.

Même si les ingénieurs peuvent se sentir libres d'utiliser soit l'un ou l'autre de ces termes, parfois en les interchangeant, le traducteur devrait éviter toute confusion.

La dualité « sûreté nucléaire – sécurité nucléaire »

L'idée de ce second sujet m'est venue en lisant un document de l'Agence internationale de l'énergie atomique édité en russe. Le titre d'un chapitre m'a quelque peu étonné : *Ядерная безопасность и физическая ядерная безопасность*. Si *ядерная безопасность* est un terme bien connu dans le domaine, la signification de *физическая ядерная безопасность* ne m'était pas évidente.

J'ai tout de suite supposé qu'il s'agissait en fait d'une traduction du titre anglais *Nuclear safety and nuclear security* et en lisant le contenu du chapitre, j'ai pu confirmer cette supposition.

Cela vient du fait qu'en anglais, tout comme en français, on peut parler soit de *nuclear safety* – « sûreté nucléaire » – qui couvre tout ce qui concerne la sûreté d'exploitation du réacteur, soit de *nuclear security* – « sécurité nucléaire » – qui comprend la protection des sites nucléaires contre toute intrusion, accès non autorisé, attaque terroriste, etc.

Le problème en russe c'est qu'au lieu de deux mots – sûreté et sécurité – on ne dispose que d'un seul : *безопасность*. Donc, quand il s'agit de « sûreté nucléaire » on a tendance en russe à parler de *ядерная безопасность*, et pour « sécurité nucléaire » on utilise une toute autre appellation – *физическая защита*, parfois élaborée comme *физическая защита ядерных установок*, *физическая защита ядерных материалов*, etc.⁴⁰ En russe donc, on parle soit de *ядерная безопасность*, soit de *физическая защита*, mais pas de *физическая ядерная безопасность*.

J'ai consulté mes amis ingénieurs qui ont bien confirmé qu'en russe, *физическая ядерная безопасность* n'est pas un terme réglementaire, ni un terme que l'on utilise couramment dans le langage technique. De fait, c'est une expression dont la signification sans contexte n'est pas évidente.

⁴⁰Voir par exemple Portail d'information juridique et réglementaire russe <http://base.garant.ru/10105506/de40175ab12d04d68f792b5b742a18fc/>, consulté le 15 février 2021

On peut donc en déduire que ce terme est en réalité une invention, plutôt ratée, des traducteurs de l'AIEA.

J'ai décidé cependant de chercher ce terme sur Internet pour voir si l'on peut le trouver en dehors de documents en russe édités par l'AIEA. À ma grande surprise, le terme est bien attesté dans les réglementations nucléaires, mais d'un seul pays : le Kazakhstan⁴¹.

Donc dans les pays russophones où la réglementation nucléaire existe depuis longtemps, tels la Russie et l'Ukraine, l'appellation traditionnelle de *физическая защита* a été retenue, lorsque le Kazakhstan, en cours d'élaboration de son propre cadre réglementaire, a décidé d'adopter la terminologie russe de l'AIEA dans son intégralité, y compris avec ses imperfections.

⁴¹Voir les résultats de recherche Google (effectué le 15 février 2021) :
https://www.google.com/search?q=%22%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F+%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%22&rlz=1C1CHBF_enUA844UA844&oq=%22&aqs=chrome.2.69i57j35i39j69i59j35i39l7.5476j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Index

- atome**, 11, 66, 112, 124, 130
caloporteur, 13, 113, 124, 133
centrale nucléaire, 10, 20, 99, 116, 123
cœur, 14, 22, 45, 76, 83, 102, 104, 106, 110, 113, 119, 125, 130, 147, 148
combustible nucléaire, 1, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 20, 22, 25, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 74, 76, 84, 88, 90, 94, 98, 104, 113, 114, 125, 134, 135, 136, 138, 147
combustible usé, 18, 65, 66, 71, 81, 86, 87, 90, 91, 92, 94, 97, 101, 104, 108, 113, 120, 125, 132
cycle nucléaire, 10, 15
déchet, 10, 16, 22, 26, 63, 87, 114, 125, 134
entreposage, 65, 67, 79, 81, 89, 90, 91, 92, 99, 101, 108, 118, 128, 130, 132
fertile, 13, 22, 23, 25, 81, 83, 106, 115, 121, 125, 126, 130, 131
fissile, 12, 13, 14, 22, 23, 25, 81, 83, 104, 106, 114, 115, 116, 120, 121, 122, 126, 130, 152, 153
fission, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 22, 23, 102, 104, 113, 116, 117, 119, 121, 123, 126, 127, 130, 133
matières valorisables, 26, 64, 126, 132, 133
MOX, 16, 19, 29, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 71, 73, 75, 81, 94, 97, 99, 106, 107, 115, 117, 119, 125, 126, 131, 133, 142
neutron, 12, 13, 25, 72, 115, 116, 117, 121, 126, 131
non-prolifération, 21, 51, 59, 66, 67, 96, 118, 126, 131
plutonium, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 60, 61, 68, 70, 71, 73, 75, 76, 81, 86, 94, 96, 98, 106, 115, 117, 119, 121, 127, 130, 131, 132
réacteur, 7, 14, 19, 21, 22, 23, 25, 41, 45, 47, 49, 59, 66, 68, 73, 75, 76, 80, 83, 97, 98, 102, 104, 106, 108, 110, 113, 114, 119, 120, 122, 125, 127, 128, 130, 132, 134, 147, 148, 154
réacteur à neutrons rapides, 22, 23, 24, 106, 138
recyclage, 10, 16, 20, 24, 29, 31, 33, 35, 43, 45, 47, 49, 53, 55, 66, 71, 92, 114, 117, 120, 127, 128, 131, 132
retraitement, 16, 19, 20, 23, 29, 33, 35, 47, 55, 59, 64, 65, 67, 68, 71, 86, 92, 94, 97, 108, 120, 123, 128, 129, 131, 132
stockage, 67, 89, 90, 91, 99, 108, 114, 120, 126, 128, 130, 132
surgénérateur, 120, 128, 132
thorium, 25, 26, 121, 128, 130, 133
uranium, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 45, 47, 68, 70, 75, 76, 92, 94, 97, 98, 106, 114, 115, 116, 117, 119, 121, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 153

Résumé

Le combustible nucléaire usé est-il un déchet ou une ressource énergétique quasiment inépuisable ? Pour la France, la question semble être tranchée : les assemblages combustibles y sont retraités et recyclés afin d'utiliser au mieux les matières valorisables qu'ils contiennent, mais surtout, conserver leur potentiel énergétique pour les générations futures.

Dans ce mémoire de Master, la gestion du combustible nucléaire usé est traitée du point de vue de la traduction. Les similarités et différences entre les deux langues, les problèmes terminologiques et leurs solutions, ainsi que les aspects technologiques voire politiques qui leur sont étroitement liés sont accentués par la mise en parallèle du texte source en français et de sa traduction en russe.

Mots-clés : *traduction russe, traduction énergie nucléaire, combustible nucléaire usé*

Аннотация

Что такое отработавшее ядерное топливо – отходы или практически неисчерпаемый источник энергии? Для Франции этот вопрос, по всей видимости, решен: отработавшие тепловыделяющие сборки подвергаются переработке и рециклированию с целью наиболее полного использования содержащихся в них ценных веществ, но также и для сохранения их энергетического потенциала для будущих поколений.

В данной дипломной работе на соискание степени магистра вопрос обращения с отработавшим ядерным топливом рассматривается с переводческой точки зрения: на примере французского оригинала и его русского перевода изучаются сходства и различия двух языков, приводятся терминологические проблемы и их решения, а также описываются тесно связанные с данной тематикой технологические и даже политические аспекты.

Ключевые слова: *русский перевод, перевод в атомной энергетике, отработавшее ядерное топливо*

Abstract

Is spent nuclear fuel simply ‘waste’ or a practically unlimited energy source? France seems to have made its choice: its spent nuclear fuel assemblies are reprocessed and recycled to make the best use of the valuable substances that they contain, and especially to preserve their energy potential for future generations.

This Master thesis considers management of spent nuclear fuel from a translation viewpoint. A French source text and its Russian translation are used to highlight certain similarities and differences between the two languages, terminological problems and their solutions, as well as technological and even political aspects that enter into the picture.

Keywords: *Russian translation, nuclear energy translation, spent nuclear fuel*