

Etude comparative des stratégies de gestion du combustible nucléaire belge

Volume 3

2017

mise à jour du 31.12.2016

La mission du SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie consiste à créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. Dans ce cadre, la Direction générale de l'Energie a édité cette publication analysant les options de gestion sûre et durable du combustible usé des centrales nucléaires commerciales belges.

Document réalisé par le SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie
Direction générale de l'Energie – Division des applications nucléaires

Rédaction clôturée à la date du 31 août 2017.

SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie
Rue du Progrès 50
1210 Bruxelles

N° d'entreprise : 0314.595.348

Tél. : 0800 120 33 (numéro gratuit)

Editeur responsable : Jean-Marc Delporte
Président du Comité de direction
Rue du Progrès 50
1210 Bruxelles

Version internet

Avant-propos

La Commission européenne, dans sa directive 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011, demande aux Etats membres d'établir un programme national en matière de gestion des déchets radioactifs et des combustibles à l'échéance d'août 2015. La première édition du programme national de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs¹ [1] a été limitée à une description, sans nouveau contenu normatif, de la situation au 31 décembre 2014 en matière de politiques nationales pour la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, de mise en œuvre de ces politiques et de cadre national pour cette mise en œuvre. Certaines politiques nationales ont été identifiées comme manquantes dans ce programme national et devront faire l'objet d'une adoption dans les années à venir (la gestion à long terme des déchets de catégorie B et des déchets de catégories C en sont un exemple).

Le programme national indique qu'il existe une politique nationale de gestion des combustibles irradiés² des centrales nucléaires commerciales : l'entreposage sûr du combustible usé suivi de son retraitement ou de son stockage. Cette politique nationale ne se prononce pas de manière précise sur le stockage qui sera effectivement envisagé, et ne permet pas de connaître aujourd'hui l'inventaire final qui devra être mis en stockage (déchets issus du retraitement ou combustibles usés).

3

La présente étude a pour vocation de réaliser une analyse préliminaire des stratégies de gestion des combustibles irradiés des centrales nucléaires commerciales envisageables pour la Belgique. En effet, il apparaît que la politique nationale mentionnée dans le programme national est le fruit de décisions étalées entre 1974 et 1998 et que la Belgique pourrait aujourd'hui envisager d'autres options que les deux stratégies retenues dans celle-ci pour la gestion de l'aval de son cycle du combustible. Au total, six stratégies ont été identifiées parmi lesquelles figurent les deux stratégies correspondant aux deux options dont il est fait référence dans la décision du Conseil des ministres de 1998 :

- une stratégie « non-retraitement » qui correspond à l'option de cycle ouvert. Dans cette stratégie, les combustibles sont conditionnés en l'état et enfouis directement en stockage géologique ;
- une stratégie « retraitement » qui correspond à l'option de cycle fermé. Cette stratégie a récemment été scindée en deux stratégies : la première est celle envisagée officiellement, dans laquelle le retraitement porte sur l'ensemble du combustible irradié et la seconde envisage un retraitement qui porte seulement sur une partie du combustible irradié. Les déchets issus du retraitement (complet ou partiel) sont vitrifiés, cimentés ou compactés en fonction de leur nature et sont ensuite conditionnés en vue de leur enfouissement en site de stockage géologique ; les matières recyclées peuvent être réinjectées dans le cycle. Le cas échéant, les combustibles irradiés non retraités seront gérés comme dans la stratégie de non-retraitement.

¹ Ci-après « programme national ». Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie placée à la fin de ce document.

² Dans cette étude, nous adoptons la terminologie consistant à différencier le combustible nucléaire définitivement déchargé des réacteurs de centrales nucléaires en l'appelant « combustible irradié » tant qu'il n'a pas fait l'objet d'une déclaration comme déchet et en l'appelant « combustible usé » s'il a fait l'objet d'une déclaration comme déchet.

Les autres stratégies identifiées sont les suivantes :

- une stratégie que nous avons appelée « séparation poussée » qui est proche de la stratégie « non-retraitement » dans son principe, à ceci près que la technique de séparation utilisée dans cette stratégie peut être différente de celle utilisée dans la stratégie de retraitement dans la mesure où la séparation n'est pas effectuée dans le but de réinjecter l'uranium et le plutonium dans le cycle du combustible. On peut alors envisager, par exemple, que la technique de séparation ait été sélectionnée et optimisée afin de permettre un conditionnement différencié pour certaines espèces chimiques ou groupe d'espèces chimiques en fonction de leurs propriétés. Dans cette stratégie, on ne peut exclure la revente³ ou la réutilisation des matières valorisables (principalement l'uranium et le plutonium qui ont un potentiel énergétique) dans le but de réduire le volume et les émissions radioactives des déchets mis en dépôt en Belgique.
- une stratégie « incinération » basée sur l'utilisation d'un incinérateur d'actinides dédié ayant pour vocation de détruire les déchets radioactifs de longue durée de vie. Le projet MYRRHA, à la tête duquel se trouve le SCK•CEN, est le précurseur de ce type d'installation. La destruction des actinides (ces derniers sont considérés comme des déchets de forte radiotoxicité, aux temps de vie très longs et leur gestion à long terme est particulièrement sensible) produit des déchets qui sont toujours radioactifs, mais dont les durées de vie sont beaucoup plus courtes, ce qui réduit les contraintes à long terme vis-à-vis de leur enfouissement en dépôt géologique.
- une stratégie de « recherche additionnelle », dans laquelle la Belgique reporte toute décision à caractère définitif à un moment déterminé (ou indéterminé) du futur. Dans l'attente de la décision, l'entreposage des déchets issus du cycle du combustible est assuré de manière sûre. Le report de décision dans le futur s'accompagne d'efforts de R&D ciblés pour développer d'autres stratégies de gestion. Cette stratégie est motivée par l'espoir qu'une meilleure connaissance permette de développer et appliquer la stratégie optimale au terme de la période de recherche additionnelle. Cette stratégie correspond à la période de statu quo dans laquelle se trouve la Belgique depuis 1993.

4

Les stratégies supplémentaires que nous introduisons dans cette étude n'ont certainement pas la maturité industrielle des stratégies étudiées depuis 1993, mais elles sont néanmoins envisagées sérieusement par d'autres pays. La France, par exemple, qui n'est pas dans une optique de sortie du nucléaire comme la Belgique, prévoit de pérenniser durablement le cycle du combustible pour pouvoir recycler le combustible irradié et détruire les actinides mineurs dans des incinérateurs dédiés et des réacteurs rapides. Un autre exemple est celui des Pays-Bas, qui ont opté pour le report du stockage et un entreposage intermédiaire pour une période de cent ans.

³ D'une manière générale, nous utilisons le terme « vente » lorsqu'il s'agit de transférer la propriété d'une matière valorisable à un tiers. Nous ne considérons pas dans cette étude les aspects financiers liés à de telles transactions et c'est pourquoi nous nous limitons à utiliser le terme vente pour désigner ce type de transactions même si, en pratique, certaines matières pourraient être cédées sans contreparties, ce qui correspond alors à une vente de valeur nulle.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

La présente étude se veut prospective et informative. Elle poursuit l'objectif d'identifier des stratégies qui pourraient être envisagées par et pour la Belgique et comprend une analyse préliminaire des aspects à considérer.

Table des matières

Avant-propos.....	3
Table des matières.....	6
Liste des figures.....	6
1. Etude comparative des stratégies de gestion.....	7
2. Méthodologie.....	8
3. Hypothèses générales.....	9
4. Stratégies de gestion du combustible irradié.....	16
4.1. Clefs de lecture.....	16
4.2. Stratégie A : le non-retraitement.....	21
4.3. Stratégie B : retraitement complet.....	23
4.4. Stratégie C : retraitement partiel.....	27
4.5. Stratégie D : séparation poussée.....	28
4.6. Stratégie E : incinération.....	31
4.7. Stratégie F : recherche additionnelle.....	35
4.8. Analyse transversale de la chronologie des stratégies de gestion du combustible irradié.....	37
5. Synthèse.....	42
Bibliographie.....	44

Liste des figures

Figure 1. Schéma de la stratégie A : le non-retraitement.....	21
Figure 2. Schéma de la stratégie B et C : le retraitement (total ou partiel).....	24
Figure 3. Schéma de la stratégie de gestion D : la séparation poussée.....	29
Figure 4. Schéma de la stratégie de gestion E : l'incinération.....	32
Figure 5. Schéma de la stratégie de gestion F : la recherche additionnelle.....	35
Figure 6. Ligne du temps avec les étapes importantes concernant le cycle du combustible nucléaire belge (sur la gauche) et représentation en diagramme des stratégies possibles pour la Belgique.....	41

1. Etude comparative des stratégies de gestion

Selon la directive européenne 2011/70/EURATOM, présentée dans le premier volume de ce document, la politique nationale des Etats membres en matière de gestion responsable et sûre des déchets radioactifs se doit de reposer sur six principes : «

- *la production de déchets est maintenue au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, en terme d'activité et de volume, au moyen de mesures de conception appropriées et de pratiques d'exploitation et de démantèlement, y compris le recyclage et la réutilisation des substances.*
- *l'interdépendance des différentes étapes de la production et de la gestion du combustible irradié et des déchets radioactifs est prise en considération ;*
- *le combustible usé et les déchets radioactifs sont gérés de manière sûre, y compris à long terme grâce à des dispositifs de sûreté passive ;*
- *les mesures sont mises en œuvre selon une approche graduée ;*
- *les coûts de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs sont supportés par ceux qui ont produit ces substances ;*
- *un processus décisionnel documenté et fondé sur des données probantes régit toutes les étapes de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. »*

7

La résolution de 1993 du Parlement belge et la décision du Conseil des ministres de 1998 instaurent une période d'examen et de recherches qui doit être mise à profit pour pouvoir évaluer le plus sereinement possible quelle décision prendra la Belgique en matière de gestion du combustible nucléaire. En particulier, le choix entre l'option « retraitement » et « non-retraitement » est posé. Le programme national [1], fixé par le Conseil des ministres du 30 juin 2016, identifie la politique nationale de gestion du combustible irradié des centrales nucléaires commerciales comme étant l'entreposage sûr du combustible irradié suivi de son retraitement ou de son stockage. En 2015, l'ONDRAF a proposé à ses tutelles une politique nationale de gestion à long terme des déchets de catégorie B et C, à savoir le stockage dans une installation unique, située sur le territoire belge, dans une couche d'argile peu indurée. A la fin de l'année 2016, aucune décision n'était prise quant à cette proposition.

La situation a beaucoup évolué depuis 1993. De vastes programmes de recherches ont été menés à l'échelle belge, européenne et mondiale. Parmi les résultats issus de ces programmes de recherche, citons par exemple le développement des techniques dites « *Partitioning & Transmutation* » (séparation et transmutation), le développement d'une quatrième génération de réacteurs nucléaires (l'objectif étant que les premiers d'entre eux entrent en service à l'échelle industrielle à l'horizon 2030), le développement par le SCK•CEN du prototype MYRRHA, qui a reçu le soutien officiel de la Belgique. En matière de stockage définitif des déchets radioactifs, la situation a évolué : deux pays sont maintenant entrés en phase de construction pour leurs dépôts géologiques. La Suède a déterminé la localisation du site pour son dépôt géologique en 2010, après plusieurs années d'investigations et de consultations populaires, et la demande de permis a été introduite en 2011. La Finlande a également déterminé la localisation d'un site de dépôt et la demande de permis a été déposée.

Il semble aujourd'hui nécessaire de faire le point sur les stratégies envisageables pour la Belgique, sans nécessairement se limiter aux deux stratégies définies en 1993 et 1998.

Cette étude est le troisième volume d'une suite de documents dont le premier volume, se voulant plus général et rassemblant tous les éléments légaux, historiques et techniques, a été mis à jour à la date du 31 décembre 2016. Le deuxième volume constituait la première version de l'étude des stratégies de gestion du combustible nucléaire belge. L'étude, clôturée fin 2014, avait subi un peer review par une équipe d'experts internationale. Ce volume constitue une mise à jour de l'étude de 2014 à la date du 31 décembre 2016.

Afin de permettre au lecteur de mieux cerner les différences entre cette étude et sa précédente version, nous avons volontairement conservé la même structure du document : nous commencerons par expliquer la méthodologie utilisée pour élaborer notre étude, nous présenterons ensuite les hypothèses générales qui délimitent celle-ci et donnerons quelques « clefs de lecture » permettant au lecteur d'apprécier les stratégies développées sous différents aspects. Nous présenterons ensuite les stratégies de gestion plus en détail, en réalisant une analyse succincte des implications de chacune de ces stratégies et nous réaliserons alors une analyse transversale des stratégies proposées du point de vue chronologique. Enfin, nous ferons la synthèse de ces différents aspects.

2. Méthodologie

La présente étude a été réalisée par le Service des Applications Nucléaires de la Direction générale de l'Energie du Service public fédéral Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie sur la base de l'étude réalisée en 2014 qui reste le volume 2 de la suite de documents publiés par le SPF Economie sur la gestion des combustibles nucléaires belges.

La Direction générale de l'Energie a été chargée par la ministre de l'Energie, de l'Environnement et du Développement Durable de réaliser pour fin 2017 une mise à jour des documents de manière à refléter d'une part la situation chiffrée au 31 décembre 2016, d'autre part l'évolution globale du contexte belge, tout en tenant compte du retour sur expérience acquis.

Contrairement à l'étude réalisée en 2014, le présent document n'a pas été soumis à un processus de révision par les pairs. C'est pourquoi, lorsque c'est possible, nous tâchons d'identifier clairement les nouveautés apportées par la mise à jour de l'étude au moyen d'une identification en fin de section. Des corrections dans le texte ne sont néanmoins pas exclues quand celles-ci restent mineures et n'altèrent pas l'esprit de ce dernier.

Comme c'était le cas de l'étude en 2014, hormis la stratégie nommée « retraitement partiel », adoptée par Synatom comme étant son programme de référence au sens de l'arrêté royal du 30 mars 1981 [2], nous n'envisageons pas d'autres stratégies partielles dans cette étude. Les stratégies nouvellement identifiées supposent de maintenir l'effort de recherche avant de pouvoir les appliquer effectivement et, étant donné que l'inventaire belge de combustibles irradiés devrait être complet en 2025 et reste relativement limité, nous n'envisageons pas d'appliquer des stratégies différentes à différentes parties du combustible. Nous n'avons pas identifié d'arguments qui pourraient justifier un tel choix.

Dans l'analyse relative à chacune des stratégies, lorsque nous parlons de la flexibilité de chacune d'entre elles, ce terme est à comprendre comme étant la possibilité de pouvoir

éventuellement changer de stratégie si nécessaire alors qu'un choix avait déjà été formulé. La « réversibilité » d'un choix de stratégie particulière, si elle devait être mise en œuvre, devra être évaluée si la situation l'exige. Un tel cas de figure n'est pas envisagé dans cette étude préliminaire et nous n'envisageons pas de passage d'une stratégie à une autre, à l'exception du passage de la stratégie de recherche additionnelle à une autre stratégie non déterminée qui est exigé intrinsèquement dans la stratégie de recherche additionnelle.

Dans cette étude, nous avons conservé l'utilisation de clefs de lecture. Ces clefs de lecture avaient été ajoutées dans l'étude de 2014 à la suite des discussions avec les experts du Peer Review parce que les stratégies développées dans cette étude peuvent être comprises selon différentes perspectives, parfois antagonistes. La présentation sous forme de clefs de lecture permet de clarifier ces perspectives pour le lecteur, et d'effectuer une analyse plus en profondeur tout en évitant les répétitions au sein de l'analyse de chacune des stratégies. Les discussions avec les experts du Peer Review avaient également mis en lumière une hiérarchie temporelle des stratégies et des décisions qui mènent à chacune de ces stratégies. L'analyse croisée chronologique des stratégies qui avait été ajoutée en 2014 et dont le résultat est synthétisé par une figure présentée à la fin de cette étude a été conservée et mise à jour.

3. Hypothèses générales

Les hypothèses générales de cette étude sont au nombre de sept :

9

- l'exécution de la loi de sortie du nucléaire du 31 janvier 2003, en sa version du 31 décembre 2016 ;
- le stockage géologique est accepté comme stratégie de gestion à long terme des déchets radioactifs, tel que proposé dans le Plan Déchets de l'ONDRAF [3];
- le concept de référence de l'installation de stockage géologique de l'ONDRAF, présenté dans le Plan Déchets de l'organisme, est celui qui sera utilisé ;
- l'installation de stockage géologique sera construite en Belgique et accueillera notamment tous les déchets radioactifs issus du cycle du combustible des centrales électronucléaires belges ;
- la réversibilité, telle que recommandée dans le rapport final de la conférence citoyenne organisée par la Fondation Roi Baudouin en 2009 et la loi transposant la directive européenne EURATOM/2011/70, est prévue ;
- les combustibles nucléaires mèneront à la production de déchets radioactifs quelle que soit la stratégie ;
- l'entreposage n'est pas considéré comme un facteur rédhibitoire.

Ces hypothèses établissent le cadre de notre étude. Si la situation belge évoluait dans le futur de telle sorte qu'une de ces hypothèses n'était plus applicable, il faudrait revoir en conséquence l'ensemble de cette étude.

Exécution de la loi de sortie du nucléaire du 31 janvier 2003, en sa version du 31 décembre 2016

En prenant cette hypothèse, nous nous limitons aux stratégies qui restent dans le cadre légal en vigueur au moment de la mise à jour de cette étude. Nous nous plaçons donc dans un cadre où cinq réacteurs nucléaires seront définitivement désactivés en 2025, les réacteurs

de Doel 3 et Tihange 2 ayant été désactivés respectivement en 2022 et 2023, et où aucune nouvelle centrale nucléaire destinée à la production industrielle d'électricité à partir de la fission de combustible nucléaire ne peut être construite et/ou mise en exploitation.

Nous avons identifié trois types de stratégie qui sont écartées par cette hypothèse :

- la loi de sortie du nucléaire est modifiée et la sortie du nucléaire est réalisée avant 2025. L'inventaire final de combustibles irradiés, ou des déchets résultant d'un éventuel traitement de ceux-ci, devrait être légèrement diminué par rapport aux prévisions actuelles.
- la loi de sortie du nucléaire est modifiée de sorte que la sortie du nucléaire s'en trouve postposée. Cette situation correspond à l'inverse de la situation précédente : des réacteurs supplémentaires verraient leurs durées de vie augmentées (mais pas *ad infinitum*). La modification de la loi ne porte cependant que sur la durée de vie des réacteurs et aucun nouveau réacteur n'est mis en service. L'inventaire des déchets serait augmenté et le délai avant de pouvoir réaliser la dernière campagne d'enfouissement pour les derniers combustibles irradiés en Belgique devrait être allongé en raison de la période de 60 ans de refroidissement prévue par l'ONDRAF.
- La loi de sortie du nucléaire est abrogée. Dans ce cas, on peut imaginer plusieurs stratégies allant de la fermeture maintenue des centrales nucléaires pour 2025 à la mise en service de nouveaux réacteurs nucléaires, en passant éventuellement par la prolongation supplémentaire d'un ou de plusieurs réacteurs existants. Les conséquences de cette abrogation pourraient être nombreuses et devraient être envisagées le cas échéant.

Mise à jour 2016 : Les modifications de la loi de sortie du nucléaires du 28 juin 2015 et du 12 juin 2016 sont donc prises en compte par rapport à la précédente version de l'étude qui ne prenait en compte que la modification du 18 décembre 2013 de la loi de sortie du nucléaire.

Le stockage géologique est accepté comme stratégie de gestion à long terme des déchets radioactifs

Dans son Plan Déchets [3], l'ONDRAF présente les éléments qui l'ont mené à préconiser la construction d'un dépôt géologique comme stratégie de gestion à long terme des déchets radioactifs de catégorie B et C et fait la démonstration du raisonnement qui mène à cette stratégie.

Cette seconde hypothèse précise en réalité que nous nous basons sur les conclusions du Plan Déchets de l'ONDRAF pour réaliser cette étude. Nous considérons donc que la proposition de l'ONDRAF d'un stockage géologique unique comme politique nationale de gestion à long terme des déchets radioactifs de catégorie B et C sera acceptée dans son principe par le gouvernement et sera mise en application par l'ONDRAF.

Les déchets radioactifs de catégories B et C, dont ceux issus du cycle du combustible, seront donc mis en stockage géologique tôt ou tard, après un éventuel traitement qui sera déterminé en fonction de la stratégie considérée.

Mise à jour 2016 : Cette hypothèse est limitée au choix d'un stockage géologique sans se prononcer au sujet de la roche hôte dans lequel celui-ci sera situé. La politique nationale proposée par l'ONDRAF ainsi que son scénario de référence prévoient que le stockage géo-

logique sera effectué dans une couche d'argile peu indurée. Les discussions autour de la roche hôte soulevées par l'autorité de sûreté [4] ont peu d'incidence sur la présente étude. De même, la localisation précise du stockage géologique (qui conjugue les aspects de roche hôte et de profondeur de l'installation de stockage) aura une incidence sur le planning du scénario de référence de l'ONDRAF mais pas sur l'esprit de chacune des stratégies développées ici.

Précisons enfin que cette hypothèse écarte les stratégies d'entreposage perpétuel des déchets radioactifs issus du cycle du combustible. Les stratégies dites « d'entreposage à long terme » ne sont pas écartées par cette hypothèse, bien qu'elles ne soient pas développées en tant que telles dans la présente étude. En effet, selon la stratégie choisie, la nécessité d'entreposer de manière sûre les déchets dans l'attente de la mise en œuvre de la stratégie peut s'étendre sur des périodes de temps relativement longues, comme nous le montrerons dans l'analyse transversale de la chronologie des stratégies.

Le concept de référence de l'installation de stockage géologique de l'ONDRAF est celui qui sera utilisé

Cette hypothèse est la suite naturelle de la précédente : bien que chaque stratégie implique certaines adaptations de l'installation de stockage, notamment en termes de dimensionnement et de barrières ouvragées, ces adaptations n'entreront pas en contradiction fondamentale avec le concept de référence de l'installation de stockage géologique développé par l'ONDRAF et présenté dans le Plan Déchets. Ce concept consiste en une installation de stockage géologique commune pour les déchets de catégorie B et C (voir le premier volume de ce document) sous forme d'une galerie d'accès d'où partent des galeries de dépôt qui accueilleront les déchets conditionnés. Nous considérons en outre que le planning de construction et de mise en stockage des déchets, en trois campagnes distinctes⁴, pourra également être respecté.

11

Rappelons encore une fois que le planning prévu aujourd'hui et utilisé dans cette étude doit encore être approuvé par le gouvernement. La décision de principe de gestion à long terme des déchets radioactifs au moyen du stockage géologique n'a pas encore été prise à ce jour et la localisation du dépôt géologique n'est pas déterminée. En plus de cela, le concept de référence de l'installation de stockage n'a pas fait l'objet d'un avis officiel de l'AFCN et pourrait donc potentiellement être soumis à une révision importante avant sa construction et sa mise en exploitation.

Comme déjà mentionné, les particularités de chaque stratégie auront un impact sur la réalisation pratique de l'installation de stockage ; en particulier nous considérons que :

- la nature et la quantité de déchets destinés au stockage géologique varient selon la stratégie. Nous considérons donc que l'installation pourra être adaptée pour tenir compte du volume, de la radiotoxicité et de la charge thermique des déchets à gérer dans chacune des stratégies de gestion présentées dans cette étude ;
- le conditionnement utilisé sera celui du concept de référence de l'ONDRAF à moins que la stratégie ne précise spécifiquement le contraire. Dans ce cas, les adaptations nécessaires pourront être mises en application.

⁴ Voir le point 2.1.4 du premier volume de ce document : « Informations générales sur le cycle du combustible nucléaire belge ».

Le paramètre le plus sensible dans cette hypothèse concerne le planning de réalisation de l'installation de stockage géologique (présenté dans le premier volume de ce document). Nous supposons que les adaptations nécessaires seront effectuées sans que cela n'ait d'impact sur le planning prévu pour toutes les phases du scénario de référence de l'ONDRAF, depuis l'excavation du premier puits jusqu'à la fermeture définitive de l'installation et ce, pour toutes les stratégies.

La phase de construction de la partie de l'installation de stockage relative aux déchets issus du cycle du combustible commencerait donc en 2092, quelle que soit la stratégie de gestion. Nous considérons que cette date est fixée par notre hypothèse. Les années qui précèdent 2092 devront être consacrées à la finalisation du dimensionnement des galeries et de la conception des barrières ouvragées en fonction de l'inventaire de déchets propre à chaque stratégie.

Toutes les inconnues qui subsistent à ce jour en ce qui concerne l'installation de stockage géologique pourraient avoir un impact important sur le planning prévu et il peut paraître prématuré de s'en tenir à des dates qui comportent encore autant d'incertitudes. A cause du délai de refroidissement pour les déchets radioactifs de catégorie C, qui est de 60 ans entre le moment de leur sortie du réacteur et leur mise en dépôt géologique, certains combustibles ou déchets issus du retraitement ne pourront pas être mis en dépôt avant 2085. La date de 2092 paraît donc un compromis acceptable pour baser les discussions relatives au déroulement de différentes stratégies pour cette étude.

De plus, nous avons utilisé la date de début des travaux pour en déduire une date limite au-delà de laquelle une stratégie donnée pourrait compromettre la réalisation de l'installation de stockage géologique selon le concept de référence de l'ONDRAF. En effet, une fois la stratégie de gestion connue, l'ONDRAF devra finaliser l'inventaire des déchets à mettre en dépôt, réaliser les plans du dépôt et finaliser les détails techniques comme le conditionnement, prévoir le déroulement des opérations de mises en dépôt et obtenir une licence de construction et d'exploitation de la seconde partie du dépôt. En considérant ces tâches, auxquelles s'ajoutent éventuellement des tâches supplémentaires propres à chaque stratégie de gestion, nous avons évalué pour chaque stratégie, de manière conservative, une date limite au-delà de laquelle choisir cette stratégie pourrait présenter un risque de ne pouvoir réaliser le dépôt géologique selon le planning prévisionnel de l'ONDRAF. Les stratégies qui ne permettent pas de gérer les déchets issus du cycle du combustible (principalement catégorie C) avant la date limite, déduite du planning mentionné ci-avant, augmentent la probabilité de devoir découpler les déchets de catégories B & C dans deux dépôts différents pour des raisons de sûreté opérationnelle⁵. Le raisonnement suivi pour déterminer les dates limites de chaque stratégie est présenté dans les analyses respectives.

Précisons enfin que cette hypothèse ne prévoit la construction que d'un seul dépôt, commun pour les déchets de catégorie B et ceux de catégorie C. Or, d'ici à 2092, l'inventaire de déchets radioactifs et de combustibles irradiés risque d'avoir été élargi (par exemple à cause du développement de nouvelles activités de recherche ou la prise en compte des déchets NORM/TENORM). Il n'est pas possible d'envisager aujourd'hui l'impact des activités futures sur l'inventaire qui devra être mis en stockage géologique.

⁵ C'est-à-dire pour éviter de laisser les puits d'accès ouverts et non utilisés pendant de nombreuses années.

Mise à jour 2016 : l'ONDRAF prévoit de mettre à jour son scénario de référence dans le courant de 2018, mais les premiers éléments concernant le design de l'installation de stockage étaient disponibles fin 2016 [5]. Le nouveau design étudié par l'ONDRAF se veut adaptable à la profondeur, étant donné que celle-ci reste indéterminée tant que le site d'enfouissement n'a pas été déterminé. Les différences entre le design pressenti et le design de 2013 sont notables et auront un impact considérable sur le planning qui est utilisé dans cette étude à moins de changements dans le scénario opérationnel pour mitiger cet impact (par exemple en considérant que des opérations peuvent avoir lieu dans une partie du dépôt simultanément à des travaux de construction dans une autre partie du dépôt, comme c'est envisagée par l'ANDRA pour son installation de stockage géologique de Bure).

L'installation de stockage géologique sera construite en Belgique et accueillera tous les déchets radioactifs issus du cycle du combustible des centrales électronucléaires belges

Nous supposons que le concept de référence d'installation de stockage géologique de l'ONDRAF sera construit en Belgique et ne concernera que les déchets radioactifs belges. L'opportunité de réaliser un dépôt géologique avec d'autres pays (dépôt régional) n'est pas prise en compte dans les stratégies présentées dans cette étude.

Si un partenariat international pour la gestion des déchets radioactifs ou du combustible nucléaire était mis sur pieds, celui-ci serait le fruit d'accords entre les parties sur lesquels nous ne faisons pas d'hypothèse. Notons cependant que l'hypothèse d'un dépôt régional trouve un soutien grandissant étant donné qu'un tel dépôt permettrait de rationaliser les coûts, surtout pour des pays ayant un programme nucléaire relativement limité comparé à d'autres pays. De plus, dans les scénarios faisant intervenir des technologies avancées, un dépôt régional prévu pour le terme de ces technologies pourrait être envisagé. Mais les questions de localisation et de régulation restent à ce jour délicates.

13

Mise à jour 2016 : Nous souhaitons attirer l'attention du lecteur sur l'utilisation du terme « déchet » dans la formulation de cette hypothèse. En effet, en fonction de la stratégie retenue, certaines matières valorisables pourraient faire partie de l'inventaire. A moins que celles-ci ne fassent l'objet d'une déclaration comme déchet et que l'ONDRAF ne décide de se passer de la valorisation de ces matières, ces matières ne seront pas enfouies dans l'installation de stockage mais seront valorisées auprès de tiers.

Les combustibles nucléaires mèneront à la production de déchets radioactifs quelle que soit la stratégie choisie

Cette hypothèse éclaire un point qui reste, à ce jour, matière à discussion. En effet, si l'ONDRAF a reçu du Roi la mission de gérer les déchets radioactifs, c'est Synatom qui gère le cycle du combustible nucléaire dans le cadre de ses missions de service public. Cette répartition des missions a pour conséquence que l'ONDRAF ne pourra prendre le relai pour la gestion des combustibles nucléaires que lorsque Synatom les aura déclarés comme déchets. Cette déclaration comme déchet, si elle n'intervenait pas à un moment donné, pourrait, dans un cas extrême, conduire à ce que l'ONDRAF ne puisse gérer les déchets issus du combustible irradié dans les délais prévus par le Plan Déchets. Cette hypothèse écarte ce cas extrême.

Rappelons que les combustibles irradiés contiennent encore environ 95 % de matières à potentiel énergétique (uranium et plutonium) qui peuvent être considérées comme une res-

source, comme c'est le cas dans les stratégies prévoyant leur retraitement. Cette hypothèse précise donc que le combustible usé tel quel, ou qu'une partie de celui-ci, séparée selon des modalités propres à certaines stratégies de gestion, sera à un moment donné déclaré(e) comme déchet en vue de sa gestion par l'ONDRAF.

Une stratégie où le combustible irradié serait revendu (à un prix qui ne serait pas forcément positif⁶) et où il n'y aurait aucun retour de déchets en Belgique n'est par conséquent pas envisagée dans cette étude. Pour qu'une telle vente soit envisageable, il faudrait d'abord que le prix de la matière première d'uranium augmente au point qu'il devienne moins coûteux pour un pays nucléarisé d'acheter du combustible irradié et de supporter les frais de retraitement et de gestion des déchets en découlant que d'acheter de l'uranium naturel.

La réversibilité, telle que recommandée dans le rapport final de la conférence citoyenne organisée par la Fondation Roi Baudouin, et la loi transposant la directive européenne EURATOM/2011/70, est prévue

L'ONDRAF définit la réversibilité (que l'ONDRAF assimile à la flexibilité) et la récupérabilité comme étant respectivement la possibilité de revenir sur une ou plusieurs étapes de la planification ou de la mise en œuvre d'une option de gestion à long terme des déchets radioactifs, à quelque stade que ce soit, et la possibilité de récupérer les déchets après leur mise en place dans une installation de gestion dédiée [3]. La réversibilité suppose en outre la révision et, le cas échéant, la réévaluation des décisions antérieures et des moyens nécessaires (techniques et financiers, etc.) pour revenir en arrière. La réversibilité signifie donc que l'on a prévu des positions de repli, tant d'un point de vue politique que technique. Un programme peut être conçu pour faciliter la réversibilité, par exemple s'il est divisé en petites étapes avec de fréquentes revues et s'il comporte des dispositions techniques à cet effet.

Les concepts de réversibilité et de récupérabilité sont discutés internationalement et sont apparus à la suite du constat qu'il y a de grandes incertitudes liées à la gestion des déchets radioactifs. L'idée derrière ces concepts est donc de maintenir, aussi longtemps que possible et sans compromettre la sûreté ou la sécurité des installations de dépôt, la possibilité de revenir en arrière si un problème était détecté.

La fondation Roi Baudouin a organisé en 2009, à la demande de l'ONDRAF, une conférence citoyenne qui s'est intitulée « Comment décider de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie ? ». Dans le rapport final qui a suivi cette conférence [6], une des recommandations formulées concerne la réversibilité (celle-ci est définie dans le rapport comme étant la possibilité de pouvoir choisir ultérieurement, tant techniquement que financièrement, d'autres options de gestion des déchets) :

« 4^e recommandation : En tant que citoyens, nous estimons que la solution proposée par l'ONDRAF (enfouissement en couche d'argile profonde) est valable à condition que le gouvernement fédéral garantisse la réversibilité pendant une période raisonnable de minimum 100 ans après l'enfouissement. »

Dans la transposition belge de la directive européenne EURATOM/2011/70, la réversibilité est prévue en ces termes :

⁶ Dans la mesure où la vente de combustible pourrait entraîner une économie en frais de gestion définitive du combustible irradié, il pourrait être intéressant de payer un acheteur potentiel pour éviter celle-ci.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

« Les politiques nationales en matière de gestion des déchets radioactifs et du combustible usé considéré comme déchet, contiennent des modalités de réversibilité, de récupérabilité et de monitoring pour une période à déterminer en tant qu'éléments de conception et d'exploitation de chaque installation de stockage. Ces modalités sont établies en tenant compte de la nécessité d'assurer la sûreté de l'installation de stockage. »

Notre hypothèse sur la réversibilité prévoit donc que la recommandation de la conférence citoyenne est suivie et qu'une période de 100 ans de réversibilité est requise et implémentée pour l'enfouissement dans le dépôt géologique, en conformité avec la loi de transposition de la directive européenne.

Pour cette étude, nous faisons l'hypothèse implicite supplémentaire que les conditions qui pourraient conduire à devoir récupérer les déchets hors du dépôt géologique (c'est-à-dire à utiliser la réversibilité) ne seront jamais réalisées. Ces conditions pourraient par exemple être réalisées si une importante crise énergétique apparaissait ou si le monitoring du dépôt conduisait à s'apercevoir que la sûreté de celui-ci était compromise. Pour que la réversibilité doive être mise en application, nous supposons qu'un changement de paradigme important par rapport à la situation actuelle s'est produit, et donc qu'une nouvelle analyse des options disponibles est nécessaire.

L'entreposage n'est pas considéré comme un facteur rédhibitoire d'une stratégie

15

De même que nous considérons que le stockage géologique sera adapté à chaque stratégie, nous considérons que les combustibles irradiés ou, le cas échéant, les déchets radioactifs issus de leur traitement seront entreposés jusqu'à leur mise en dépôt. Les besoins en entreposage seront sans doute différents pour chaque stratégie, mais nous n'explorerons pas ceux-ci dans cette étude.

Cette hypothèse a pour conséquence que nous considérons que des capacités supplémentaires d'entreposage seront construites si nécessaire (comme indiqué dans le premier volume du présent document) et que les entrepôts seront adaptés aux déchets.

4. Stratégies de gestion du combustible irradié

Les hypothèses générales que nous avons présentées dans cette partie de l'étude fixent un cadre pour la gestion du cycle du combustible en Belgique. Depuis 1993, deux stratégies de gestion du combustible irradié sont envisagées sur un pied d'égalité : le non-retraitement et le retraitement total. Récemment, une stratégie supplémentaire de retraitement partiel a été présentée par Synatom. En plus de ces trois stratégies, nous avons identifié deux nouvelles stratégies pour la gestion des combustibles irradiés qui pourraient être envisagées dans notre pays : la séparation et l'incinération. Enfin, nous présentons une dernière stratégie un peu particulière, la recherche additionnelle, qui constitue en quelque sorte une stratégie par défaut, en ce sens que tant que la décision formelle d'entrer dans une stratégie donnée et de condamner toutes les autres stratégies n'a pas été prise, on se trouve effectivement dans la recherche additionnelle.

Dans cette section, nous présentons chacune des six stratégies identifiées et, pour chacune d'entre elles, nous présentons une ligne du temps virtuelle pour leur mise en application ainsi qu'une analyse de leurs implications possibles pour notre pays.

Les stratégies et leurs analyses peuvent être interprétées selon plusieurs clefs de lecture qui mettent l'accent sur les différentes dimensions à considérer en matière de gestion du cycle du combustible. Aussi commençons-nous cette section par une présentation de ces clefs de lectures.

4.1. Clefs de lecture

La problématique du choix d'une option de cycle du combustible est complexe. Les sensibilités de chacun peuvent mener à considérer cette problématique de manière très différente et à favoriser une grille d'analyse plutôt qu'une autre. Les clefs de lectures que nous présentons dans cette étude prennent en considération les hypothèses générales qui ont été formulées précédemment et le point de vue de l'Etat belge, celui-ci étant désigné par la directive européenne EURATOM/2011/70 comme le responsable, en dernier ressort, de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs produits sur son territoire. Elles avaient été discutées au cours du Peer Review de l'étude réalisée en 2014.

L'analyse des stratégies de gestion du cycle du combustible est à considérer à la lumière de ces clefs de lecture. La liste de clefs de lecture présentées dans cette section n'a pas vocation à être exhaustive.

Le risque radiologique

Le risque radiologique est une des dimensions de la problématique de la gestion à long terme souvent perçu comme primordial par les intervenants. Notons cependant que le terme de risque radiologique peut être utilisé dans deux sens différents : le risque radiologique au sens de risque d'une irradiation par un rayonnement et le risque radiologique au sens d'un risque d'ingestion ou d'inhalation de matières radioactives.

Le risque d'inhalation ou d'ingestion de matières radioactives est mesuré à l'aide de la radiotoxicité, concept présenté dans le premier volume du présent document. Afin d'évaluer et limiter ce risque, l'ONDRAF devra démontrer à l'AFCN que la solution de gestion à long terme des déchets radioactifs qu'il propose ne présentera jamais de radiotoxicité supérieure

aux limites autorisées pour la population et l'environnement et ce, avant d'obtenir l'autorisation de la mettre en œuvre. La R&D s'est donc très tôt penchée sur cette problématique. L'ONDRAF a étudié l'impact radiologique des déchets radioactifs placés dans une installation de stockage géologique correspondant à leur concept de référence. L'organisme a montré dans SAFIR 2 [7], en prenant en compte la géologie belge, que l'impact radiologique à la surface du stockage géologique, après fermeture, devrait toujours rester inférieur aux limites autorisées par l'AFCN.

Le risque radiologique en tant que risque d'irradiation concerne principalement les travailleurs qui doivent manipuler des matières radioactives. Dans le cas du cycle du combustible, plus le cycle choisi implique de manipulations et plus ce risque augmente. Cependant, les travailleurs sont soumis à des règlements de protection particuliers très stricts et les autorités de sûreté veillent à l'application de ces règlements. Le risque radiologique est traité par les acteurs du milieu selon le principe ALARA (« *As Low As Reasonably Achievable* »).

Le choix de certaines options dans le cycle du combustible peut avoir d'autres conséquences pour la gestion du risque radiologique. Ainsi, par exemple, un choix qui n'impliquerait qu'une réduction du volume de déchets aurait pour conséquence une concentration de la matière radioactive et la production de deux flux de matières : un flux de matière présentant une radioactivité accrue et nécessitant des précautions supplémentaires pour être manipulé et un flux de matière moins radioactive, présentant un risque radiologique moindre.

17

L'impact de la transmutation des déchets sur le risque radiologique lié au cycle du combustible doit être analysé. En plus de générer des déchets secondaires à la suite des traitements des combustibles irradiés une première fois et la fabrication de « combustibles secondaires » compatibles avec l'incinérateur, l'irradiation des « combustibles secondaires » dans le but de les transmuter aura comme conséquence d'augmenter considérablement leur radioactivité. En principe, la transmutation comme option dans le cycle du combustible a pour but de transformer la matière radioactive en une autre matière, qui sera elle aussi radioactive mais qui perdra sa radioactivité plus rapidement. Une manière simpliste de décrire la transmutation est de dire que la matière transmutée émet plus de radiations, mais pendant un temps plus court. L'utilisation de la transmutation a pour vocation de réduire les contraintes temporelles sur le stockage géologique en réduisant de manière significative la durée pendant laquelle les déchets qu'il contient sont dangereux, au sens radiologique du terme⁷, pour l'environnement et la population. Au final, une stratégie de transmutation présenterait un risque radiologique plus élevé avant la mise en stockage mais celui-ci pourrait disparaître beaucoup plus rapidement que pour les autres stratégies. Il est question de quelques centaines d'années pour les cycles de transmutation les plus poussés.

Le choix d'un cycle du combustible « avancé » aurait pour conséquence d'augmenter le risque radiologique pour les travailleurs d'aujourd'hui afin de limiter significativement ce risque à long terme pour les populations et l'environnement.

La non-prolifération

L'aspect non-prolifération concerne toutes les mesures qui peuvent être mises en place pour empêcher le développement de l'arme nucléaire dans les pays qui n'en disposent pas, sa multiplication ou son perfectionnement dans les pays qui en disposent. Les moyens mis

⁷ Ces matières peuvent présenter d'autres dangers, liés par exemple au caractère chimique de celles-ci.

en œuvre pour veiller à la non-prolifération consistent en des contrôles stricts sur les matières et sur les exportations de technologies identifiées comme étant liées au développement de l'arme nucléaire.

Dans le cadre du cycle du combustible, les principaux moyens pour lutter contre la prolifération est d'assurer que les matières sensibles ne soient pas directement disponibles, et de réduire leur exposition au vol (en réduisant au maximum le nombre de transports, par exemple). C'est selon ces principes que les choix qui conduisent à la séparation directe du plutonium sont considérés comme plus proliférants que les autres, au même titre que les options qui impliquent une multiplication des transports de matières sensibles.

Une réserve de matières à potentiel énergétique

Depuis 1993 et la suspension du retraitement, plus aucune utilisation n'est prévue pour les matières encore valorisables présentes dans les combustibles irradiés belges (l'uranium et le plutonium, principalement).

L'uranium présent dans les combustibles irradiés est lui aussi une matière valorisable du point de vue énergétique. Les contrats de retraitement conclus en 1976 et 1978, qui couvraient un total de 670 tHM de combustible, ont mené à la production de nouveaux assemblages de combustible (URE et MOX). Un peu plus de 500 tHM d'uranium appauvri, constitué principalement d'uranium 238, est devenu la propriété de l'usine d'enrichissement. L'uranium appauvri, qui n'a jamais été considéré comme valorisable énergétiquement en Belgique, est considéré comme une matière stratégique par d'autres pays. En effet, il s'agit d'une matière fertile qui pourrait être utilisée comme combustible dans des réacteurs de nouvelle génération.

Le plutonium, qui présente une forte radiotoxicité, pourrait être revendu à un tiers. Dans ce cas, le plutonium serait cédé et il ne serait pas placé dans l'installation de stockage géologique belge, ce qui se traduit par une diminution nette de radiotoxicité pour le stockage, puisque la matière n'y sera pas placée. En termes de non-prolifération, si le plutonium était séparé et sa propriété cédée à un tiers, ce tiers devrait prendre tous les engagements adéquats par rapport à son utilisation. Du point de vue belge, le plutonium disparaîtrait définitivement de nos inventaires, ce qui constituerait une diminution du stock de matière valorisables du point de vue énergétique.

Cette clef de lecture permet de considérer les flux de matières, leur disponibilité future en Belgique ou non. Certaines stratégies de gestion du combustible irradié considèrent l'uranium et le plutonium comme des matières stratégiques valorisables, alors que d'autres impliquent la revente ou l'abandon d'une partie de ces matières à un pays tiers. Bien que plus aucun contrat de retraitement n'ait été conclu par Synatom, en conformité avec les décisions de 1993 et 1998, la portée stratégique de la disponibilité de ces matières dépasse le cadre de la gestion du combustible irradié. C'est pourquoi nous avons estimé que ce point méritait d'apparaître clairement pour chaque stratégie de gestion : nous nous efforçons d'informer clairement au sujet de ce qu'il advient de ces matières, que nous avons appelées d'une manière générale « matières à potentiel énergétique », et ce pour chaque stratégie.

Les aspects économiques

Avant de nous pencher plus avant sur les aspects économiques liés au cycle du combustible, rappelons que ceux-ci concernent principalement Synatom. En effet, Synatom a la responsabilité du cycle du combustible et est l'organisme qui prend en charge tous les frais con-

cernant l'amont du cycle et qui doit constituer les provisions censées couvrir l'ensemble des coûts liés à l'aval du cycle. Les provisions sont calculées en prenant en compte les évaluations de coût de démantèlement des installations et de gestion à long terme par l'ONDRAF des combustibles irradiés. Elles sont ensuite soumises à l'approbation de la Commission des provisions nucléaires. La directive européenne EURATOM/2011/70 désigne les Etats comme responsable en dernier ressort des déchets radioactifs produits sur leur sol, mais cette disposition n'a pas été transposée en droit belge. Si les provisions s'avéraient être insuffisantes dans le futur, la Belgique devrait alors pourvoir à celles-ci.

La proposition de politique nationale que l'ONDRAF a transmise à ses tutelles en 2015 prévoit que le stockage géologique sera situé en Belgique, dans de l'argile peu indurée. Or il existe en Belgique deux couches d'argile soigneusement cartographiées : la couche d'argile de Boom (moins profonde) et la couche d'argile yprésienne (plus profonde). Il s'avère que plus on se dirige vers le Nord, plus la profondeur et l'épaisseur de ces couches sont importantes. La stratégie de référence de l'ONDRAF, dont le coût a été évalué en 2013 [8], prévoit une installation de stockage géologique située dans l'argile de Boom, à une profondeur d'environ 225 m (c'est-à-dire située dans la région de Mol-Dessel). Il s'agit là d'un scénario de référence de l'ONDRAF afin de permettre de réaliser les calculs puisqu'aucune décision sur le stockage géologique et, a fortiori, sur la localisation de l'installation de stockage, n'a été prise à ce jour. L'AFCN a déjà souligné que d'autres pays envisagent des installations de stockage géologique beaucoup plus profondes et que le scénario de référence de l'ONDRAF pourrait être remis en question.

19

Périodiquement, l'ONDRAF réévalue le coût futur de l'installation de stockage de son scénario de référence. Lors de l'exercice réalisé en 2013, une estimation du coût de l'installation de stockage réalisée au même endroit dans l'argile yprésienne a fait l'objet d'un calcul montrant un surcoût par rapport à la stratégie de référence (construction dans la couche d'argile de Boom) d'environ 10 %. Une mise à jour de cette estimation du coût est prévue pour 2018 et sera basée sur un design mis à jour de l'installation de stockage, sur des programmes de référence des producteurs mis à jour et sur un nouveau scénario de référence de l'ONDRAF (planning, installations de surface, gestion du personnel, etc.).

La stratégie de référence de 2013, qui sert à évaluer les tarifs de l'ONDRAF, était basée sur le programme de référence de Synatom qui prévoyait un retraitement complet du combustible irradié. Ce programme de référence de Synatom mène à une réduction importante du volume de déchets de catégorie C, compensée en partie par une production de déchets de catégorie B issus du traitement du combustible. Etant donné que l'ONDRAF calcule ses tarifs en répartissant le prix du scénario de référence par catégorie de déchets (B ou C) et ensuite par unité d'emballage, en considérant leur inventaire de déchets, toute modification de l'inventaire des déchets, ou de la répartition des déchets entre la catégorie B ou la catégorie C, aura un impact sur le prix des déchets qui seront à la charge de l'Etat⁸. Le coût pour une installation de stockage géologique utilisant un « programme de référence » de non-retraitement pour Synatom a été évalué comme étant plus cher⁹ que le scénario de réf-

8 L'Etat belge a la charge de déchets radioactifs industriels par le biais de trois fonds de passifs. Ces déchets sont principalement de catégorie B et représentent, selon nos estimations basées sur les inventaires de l'ONDRAF, environ 60 % du volume total de déchets de catégorie B.

9 Ce scénario est plus cher en ce qui concerne la composante « gestion à long terme des déchets radioactifs issus du cycle du combustible » mais, dans le chef de Synatom, cette augmentation de

rence [9]. Ainsi, la stratégie de non-retraitement, dans laquelle le volume de déchets de catégorie C reste important, implique une plus grande part relative du coût du stockage géologique pour les déchets de catégorie C et donc une diminution du coût, pour l'Etat belge, de la gestion des déchets dont il a la responsabilité.

Au-delà du coût de l'installation de stockage, certaines stratégies présentées dans cette étude font appel à des traitements supplémentaires appliqués aux déchets radioactifs et aux combustibles irradiés. Hormis pour la stratégie de retraitement (total ou partiel) où le coût du retraitement est supporté par Synatom parce qu'il intervient dans le traitement des combustibles irradiés non déclarés comme déchets, les traitements supplémentaires ne sont actuellement pas pris en compte dans le calcul des provisions nucléaires. En effet, les traitements envisagés dans les autres stratégies ont pour vocation d'améliorer le conditionnement des déchets et interviennent après la prise en charge de ceux-ci par l'ONDRAF.

La possibilité pour l'ONDRAF d'appliquer un traitement aux combustibles usés avant leur mise en stockage n'ayant jamais été considérée, le coût que représenterait une telle opération n'a jamais été intégré dans le calcul de ses tarifs. Si ces autres voies, qui n'étaient pas envisagées jusqu'ici, étaient choisies, il est probable que le coût de ces traitements serait prélevé sur les provisions, via l'application des principes directeurs. Or, dans l'éventualité où il n'existe plus de moyen d'alimenter ces provisions (par exemple parce que la société a cessé ses activités), le risque que celles-ci ne soient pas suffisantes et donc que l'Etat doive intervenir en ultime recours est d'autant plus grand que la décision intervient tard.

Les implications pécuniaires éventuelles du choix d'une stratégie sont compliquées à évaluer parce que ces stratégies nécessitent en général de la recherche supplémentaire, qui a un coût, auquel s'ajoute le coût du traitement additionnel et celui de la gestion des déchets qui seront finalement mis en stockage (mise en stockage et entreposage). Mais d'un autre côté, ces coûts pourraient être compensés par la possibilité de développer un nouveau champ d'expertise en Belgique (et donc une activité économique éventuelle), et par le gain éventuel en volume et en optimisation du conditionnement pour le stockage géologique.

20

Choisir une stratégie qui comporte des étapes supplémentaires aura donc des répercussions budgétaires, mais qui auront elles-mêmes d'autres conséquences pour la recherche, l'activité économique, la sûreté de l'installation de stockage et son dimensionnement. Insistons encore une fois sur le fait que, selon nos hypothèses, les centrales nucléaires seront définitivement mises à l'arrêt en 2025 au maximum, et donc que les sources de revenus d'Electrabel seront moindres après cette date pour constituer les provisions nucléaires.

Précisons enfin que l'établissement des provisions nucléaires se fait selon plusieurs hypothèses de travail nécessaires pour évaluer le coût futur de la gestion des déchets radioactifs. Parmi ces hypothèses, on peut citer la stabilité du système financier jusqu'à la fermeture de l'installation de stockage géologique et même au-delà, un taux d'actualisation et un taux d'inflation fixés (le taux d'actualisation appliqué aux provisions de Synatom a d'ailleurs été revu à la baisse fin 2016, ce qui a eu un impact non négligeable sur les montants à provisionner [10]). Les tarifs de gestion des déchets comportent de plus des marges de sécurité pour assurer que le coût réel sera couvert, mais plus la gestion sera repoussée dans le temps et plus le risque sera grand que les provisions ne suffisent pas. C'est en partie pour

coût est mitigée par le coût que représente le retraitement de l'inventaire complet de combustibles irradiés.

cette raison que nous avons limité les discussions par une hypothèse sur le respect du planning du scénario de référence de l'ONDRAF de 2013.

4.2. Stratégie A : le non-retraitement

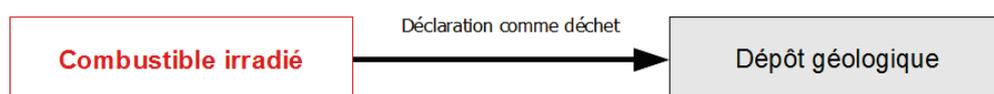
Description

Les combustibles irradiés sont déchargés des réacteurs nucléaires. Ils sont déclarés comme déchets par Synatom et transférés à l'ONDRAF selon des modalités (conditionnement, critères d'acceptation, transfert de responsabilité) qui sont convenues entre eux ou fixées par le cadre légal.

Le combustible est entreposé¹⁰ pour une période de refroidissement de 60 ans au minimum. Nous supposons que les infrastructures existantes ou prévues sont mises à profit.

Quand les combustibles irradiés pourront être mis en stockage dans l'installation de stockage géologique, l'ONDRAF réalisera leur conditionnement final et ils seront mis en stockage.

Figure 1. Schéma de la stratégie A : le non-retraitement.



21

Ligne du temps

Il est possible d'estimer quelques dates charnières pour cette stratégie en se basant sur le planning prévisionnel du scénario de référence de l'ONDRAF de 2013.

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés ;
- **2018-2075** : le retraitement est définitivement abandonné par Synatom ; les combustibles irradiés sont déclarés comme déchets par Synatom et pris en charge par l'ONDRAF ;
- **2019** : construction d'installations d'entreposage supplémentaires à Doel et Tihange ;
- **2022** : mise en service des nouvelles installations d'entreposage centralisées à Doel et Tihange ;
- **2025** : sortie définitive du nucléaire ;
- **2032** : début des travaux de construction de l'installation de stockage géologique commun B&C ;
- **2075** : date limite pour la confirmation de la mise en stockage des combustibles usés ;
- **2092** : début de l'excavation des galeries de l'installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs de catégorie C en ce inclus les combustibles usés conditionnés ;

¹⁰ L'entreposage pourrait être assuré par SYNATOM ou par l'ONDRAF en fonction de la réalisation ou non du transfert de propriété, cela n'a pas d'impact majeur sur le déroulement de la stratégie.

- **2100** : début de la campagne d'enfouissement des combustibles usés conditionnés ;
- **2110** : fin de la campagne d'enfouissement des combustibles usés conditionnés ;
- **2121** : début de la phase de surveillance (réversibilité) ; fermeture de l'installation de stockage.

Analyse

Cette stratégie est une des deux stratégies officiellement envisagées depuis la résolution parlementaire de 1993. En tant que telle, elle a déjà été étudiée en détails dans le cadre de la Commission des Provisions Nucléaires, financièrement et techniquement. Précisons néanmoins que la stratégie étudiée dans ce cadre correspondait au programme de référence de Synatom et pas à une stratégie plus générique comme celle présentée dans ce document. Les différences se situent dans la déclaration comme déchet qui intervient dès que possible dans le programme de référence de Synatom, après un conditionnement en bouteille des combustibles usés. L'ONDRAF assure alors l'entreposage des combustibles usés mis en bouteille en attendant la mise en stockage géologique.

Le délai de refroidissement de 60 ans est d'une part nécessaire pour éviter que de trop grandes émissions de chaleur ne compromettent le stockage géologique, et implique d'autre part que les premiers combustibles irradiés puissent être théoriquement mis en stockage vers 2040. Cependant, l'ONDRAF prévoit de grouper les déchets à mettre en stockage en trois campagnes distinctes, chaque groupe de déchet se voyant allouer une partie de l'installation de stockage géologique. Le planning établi par l'ONDRAF prévoit que les combustibles irradiés soient mis en stockage au cours de la dernière des trois campagnes d'enfouissement, dans la deuxième section de l'installation. Cette façon de procéder permet de commencer les opérations d'enfouissement le plus tôt possible. Une fois les deux premières campagnes achevées, la première partie de l'installation pourra être fermée et la deuxième partie, qui accueillera les combustibles usés, sera excavée et construite. Cette façon de procéder évite à l'ONDRAF qu'une partie importante de l'installation souterraine reste ouverte pendant une longue période sans que celle-ci ne soit utilisée. Le délai minimum de 60 ans se sera écoulé pour l'ensemble des combustibles irradiés, même ceux qui seront déchargés en 2025, et ils pourront être mis en stockage selon le planning prévisionnel de la stratégie de référence de l'ONDRAF.

Une autre conséquence de cette planification est que les combustibles usés seront entreposés en surface jusqu'à leur mise en stockage. Précisons que Synatom a développé un concept de bouteille (présenté dans le premier volume de ce document) qui devrait permettre le préconditionnement des assemblages. Un tel préconditionnement pourrait être réalisé « tôt » en vue d'ajouter une barrière autour du combustible et d'améliorer la sûreté de son entreposage, mais il n'y a eu aucune décision formelle (soumise à l'acceptation par le régulateur) à ce sujet.

Soulignons néanmoins que l'entreposage sera réalisé en surface, ce qui implique que la stratégie baptisée « non-retraitement » correspond en fait à une situation d'entreposage suivie d'un enfouissement direct du combustible usé vers 2090. Le choix d'une telle stratégie offre donc une grande flexibilité en termes de gestion du combustible puisque ce dernier reste récupérable sans que cela n'implique d'importantes et coûteuses manipulations pendant un long délai. Les combustibles irradiés ne subissent pas de traitement avant d'être mis en stockage, par conséquent, l'entièreté des matières qui les composent, qu'il s'agisse

d'une ressource énergétique potentielle ou d'un déchet, seront mises en stockage, ce qui a plusieurs conséquences :

- le nombre de manutentions étant restreint dans cette stratégie, l'impact radiologique pour les travailleurs s'en trouve minimisé ;
- les combustibles nucléaires ne sont pas compacts et cette stratégie présente l'inventaire de déchets occupant le plus grand volume et la longueur de galeries nécessaire la plus importante ;
- toutes les matières qui composent le combustible irradié seront placées dans l'installation de stockage géologique au sein d'un emballage devant résister à la variété des espèces chimiques en présence, et ce, sur une échelle de temps correspondant aux plus longues périodes de décroissance ;
- des matières qui pourraient être considérées comme des ressources potentielles d'énergie se trouveront dans l'installation de stockage géologique, ce qui pourrait motiver un retrait ultérieur de ces matières et compromettre l'intégrité de l'installation ;
- le plutonium, qui est très proliférant, reste réparti dans les combustibles. Même si la technologie de séparation existe et est maîtrisée, il n'a pas fait l'objet d'une séparation ;
- dans le cas de cette stratégie, la recherche pourra se concentrer uniquement sur le concept de stockage géologique.

23

Selon nos hypothèses générales, nous estimons qu'une date limite réaliste pour confirmer définitivement l'enfouissement des combustibles usés se situe aux environs de 2075. Une fois la stratégie confirmée, les études fixant le dimensionnement de l'installation de stockage géologique devront débuter en vue de préparer le licensing et la phase de construction des galeries sans retard par rapport au planning prévu (2092). Un changement de destination pour les combustibles usés au-delà de 2075 risquerait d'entraîner un retard des opérations de mise en dépôt par rapport au planning prévisionnel du scénario de référence de l'ONDRAF.

4.3. Stratégie B : retraitement complet

Description

Synatom demande le retraitement de l'entièreté de son inventaire de combustibles irradiés et cette demande est acceptée. Synatom donne suite à cette autorisation et conclut un (des) contrat(s) de retraitement qui couvre(nt) l'ensemble des combustibles irradiés. Les combustibles irradiés qui ont déjà pu refroidir suffisamment sont immédiatement envoyés aux installations de retraitement. Les combustibles nucléaires qui n'ont pas suffisamment refroidi sont placés dans des piscines de refroidissement jusqu'à ce qu'ils puissent aussi être transportés vers une usine de retraitement.

Au cours du retraitement, les assemblages de combustibles sont séparés chimiquement selon le procédé PUREX (décrit dans le document d'information générale sur le cycle du combustible nucléaire belge du SPF Economie), ce qui permet :

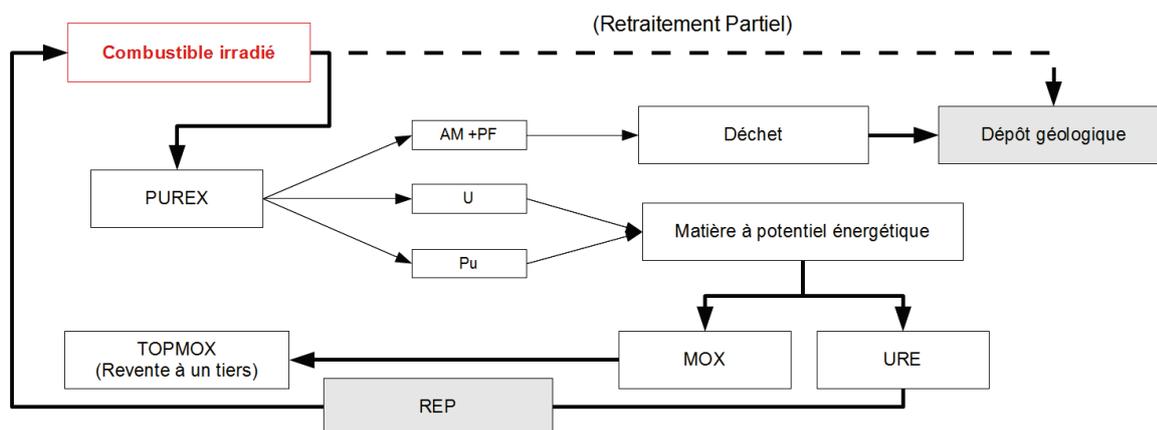
- d'une part, de récupérer les matières ayant encore un potentiel énergétique, c'est-à-dire l'uranium et le plutonium, qui pourraient être réintroduits dans la chaîne de production d'électricité ;

- d'autre part, de séparer les matières qui n'ont pas de potentiel énergétique et qui sont considérées comme étant des déchets, c'est-à-dire les produits de fission et les actinides mineurs.

L'uranium de retraitement peut être enrichi à nouveau pour en faire des assemblages de combustibles « URE » (l'uranium appauvri reste en France) et le plutonium pourrait servir à la fabrication de combustibles « MOX », qui pourraient être réutilisés dans nos réacteurs si ceux-ci disposaient toujours d'une licence pour utiliser ce combustible (Tihange 2 et Doel 3 ont obtenu par le passé cette licence, mais elle n'est plus d'application aujourd'hui et de nouvelles études de sûreté sont nécessaires pour l'obtenir à nouveau).

Jusqu'à la fermeture des derniers réacteurs, les combustibles URE seront exploités au maximum, dans les limites autorisées et techniquement réalisables. Après 2025, les matières fissiles séparées à l'usine de retraitement qui ne pourront être réutilisées dans nos réacteurs seront revendues et ne feront pas l'objet d'une mise en stockage géologique en Belgique.

Figure 2. Schéma de la stratégie B et C : le retraitement (total ou partiel).



Les matières non valorisables seront conditionnées à l'usine de retraitement et rapatriées progressivement en Belgique, en vue de leur gestion à long terme. Dès que l'ensemble de ces déchets seront rapatriés de l'usine de retraitement, l'ONDRAF pourra commencer à finaliser les plans de l'installation de stockage géologique et celui-ci devrait pouvoir être réalisé sans retard par rapport au planning prévu.

Ligne du temps

Le déroulement des événements selon cette stratégie est le suivant :

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés ;
- **2018-2025** : à la suite d'une demande de Synatom, le retraitement est permis à nouveau et Synatom conclut un ou plusieurs contrats de retraitement pour l'ensemble de ses combustibles irradiés ;
- **Indéterminé** : le retraitement est appliqué et les combustibles irradiés sont envoyés pour retraitement au contractant choisi par Synatom ; le cas échéant, les

combustibles issus du retraitement sont utilisés dans les réacteurs nucléaires belges toujours en opération ;

- **2025** : sortie définitive du nucléaire ; les combustibles issus du retraitement ne pourront plus être irradiés en Belgique, l'excédent de matières retraitées est valorisé par Synatom ; les colis de déchets radioactifs issus du retraitement sont progressivement rapatriés depuis l'usine de retraitement ;
- **2032** : début des travaux de construction de l'installation de stockage géologique commun B&C ;
- **2035-2050** : fin des rapatriements de colis de déchets issus du retraitement ; l'inventaire final de déchets radioactifs issus du cycle du combustible est établi ;
- **2092** : début de l'excavation des galeries de l'installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs de catégorie C en ce inclus les déchets issus du cycle du combustible ;
- **2100** : début de la campagne d'enfouissement des déchets issus du cycle du combustible ;
- **2110** : fin de la campagne d'enfouissement des déchets issus du cycle du combustible ;
- **2121** : début de la phase de surveillance (réversibilité) ; fermeture de l'installation de stockage.

25

Analyse

Cette stratégie considère le cas où le retraitement serait autorisé à nouveau et où Synatom ferait retraiter la totalité de son inventaire de combustibles irradiés. Il s'agit de l'autre des stratégies officiellement envisagées depuis les débats de 1993. Tout comme la stratégie de non-retraitement, cette stratégie a été étudiée en détails dans le cadre de la Commission des Provisions Nucléaires, techniquement et financièrement.

L'avantage de cette stratégie généralement mis en avant est que le retraitement de l'entièreté du combustible permettrait de réduire le volume des déchets de catégories C, au prix d'une augmentation du volume de déchets de catégorie B. Cependant, cette diminution du volume exprimé en m³ ne donne pas une indication concrète des conditions de stockage : la compaction des déchets conduit à une plus grande concentration de la radiotoxicité et des émissions plus intenses de chaleur. Au final, selon les prévisions actuelles, l'impact sur les dimensions du dépôt géologique est une diminution de la longueur totale de galerie d'environ 20 % par rapport à la stratégie de non-retraitement (pour une réduction de volume de 86 % du volume de déchet de catégorie C, mais de 22 % sur l'ensemble des déchets).

Concernant la réutilisation de l'uranium et du plutonium, le temps nécessaire pour réaliser toutes les opérations, depuis l'envoi de combustible irradié à l'usine de retraitement jusqu'au retour de combustible, est de plusieurs années. Par conséquent, même si le retraitement pouvait débuter dès à présent, l'utilisation de combustibles issus du retraitement dans les réacteurs belges est peu probable parce qu'ils devront être mis hors service en 2025 au maximum. L'uranium de retraitement serait probablement revendu, l'uranium appauvri produit lors du ré-enrichissement resterait à l'usine d'enrichissement (ce qui représente environ 85 % de l'uranium).

De plus, l'utilisation de MOX dans un réacteur au-delà d'une certaine proportion¹¹, nécessite certaines adaptations ainsi qu'une demande de licence spécifique (processus long et coûteux). Synatom a déjà signalé qu'un tel investissement n'est plus envisagé aujourd'hui parce qu'il ne pourrait être rentabilisé avant 2025. La conjoncture belge actuelle, qui allie la sortie du nucléaire (et l'impossibilité d'utiliser les matières retraitées), la difficulté de trouver un acquéreur pour les matières retraitées (difficultés aussi bien juridiques que commerciales) et le faible prix de l'uranium sur les marchés, a pour conséquence que cette stratégie présente un intérêt faible voir nul pour un acteur privé tel que Synatom. Le nombre d'opérations supposées dans cette stratégie est plus important que pour le cas du non-retraitement : les combustibles irradiés devraient être transportés à l'usine de retraitement, être séparés et les déchets produits rapatriés ; de même, après ré-enrichissement et reconditionnement en éléments combustibles, les assemblages URE seraient rapatriés pour être réutilisés dans les centrales belges.

Si le retraitement est réalisé chez Areva, en France, le flux d'A.M. et de P.F. séparés lors du retraitement est vitrifié et mis dans des canisters de 180 l et le flux des structures des assemblages est compacté et, lui aussi, placé en canister. Ces processus sont conçus pour ne pas être facilement réversibles. De même, à l'échelle de la Belgique, la revente du plutonium à un tiers étranger n'est pas réversible. Si cette stratégie était choisie, il faudrait alors mettre en stockage géologique des canisters de déchets vitrifiés et compactés (ou les déchets leur correspondant s'ils étaient retraités ailleurs).

A cause des délais encourus¹² pour la récupération des déchets issus du retraitement, et à cause du délai de refroidissement des déchets issus du retraitement avant de pouvoir les mettre en stockage (60 ans selon l'ONDRAF), cette stratégie nécessite qu'une décision soit prise à courte échéance et condamne *de facto* les autres stratégies possibles de gestion du combustible irradié. Les besoins en R&D sont ciblés sur une installation de stockage géologique dans la configuration correspondant à cette stratégie.

La stratégie de retraitement de la totalité de l'inventaire a peu de chances d'être appliquée dans notre pays, bien qu'étant une des stratégies officiellement considérées jusqu'aujourd'hui.

¹¹ La proportion limite de 20 % de MOX a été utilisée dans les réacteurs belges.

¹² Entre la capacité de traitement de l'usine et la quantité de matière à retraiter, le scénario de référence de l'ONDRAF prévoit le retour des derniers déchets entre 2035-2040 pour une décision de reprise du retraitement immédiate.

4.4. Stratégie C : retraitement partiel

Description

Cette stratégie suppose que le retraitement soit autorisé à nouveau en Belgique. Synatom donne suite à cette autorisation et conclut un (des) contrat(s) de retraitement qui couvre une partie de ses combustibles irradiés. La partie de combustibles irradiés sélectionnée pour le retraitement l'est à la discrétion de Synatom. Les combustibles nucléaires qui n'ont pas été sélectionnés pour le retraitement restent dans les unités d'entreposage centralisé. Si nécessaire, une unité d'entreposage supplémentaire est construite. Le choix de la stratégie pour la gestion à long terme de ces combustibles entreposés reste ouvert.

Au cours du retraitement, les assemblages de combustible sont séparés chimiquement selon le procédé PUREX, ce qui permet :

- d'une part, de récupérer les matières ayant encore un potentiel énergétique, c'est-à-dire l'uranium et le plutonium, qui pourraient être réintroduits dans la chaîne de production d'électricité ;
- d'autre part, de séparer les matières qui n'ont pas de potentiel énergétique et qui sont considérées comme étant des déchets, c'est-à-dire les produits de fission et les actinides mineurs.

L'uranium de retraitement peut être enrichi à nouveau pour en faire des assemblages d'éléments de combustible « URE » et le plutonium pourrait servir à la fabrication d'éléments de combustible « MOX », qui pourraient être réutilisés dans nos réacteurs si ceux-ci disposaient toujours d'une licence pour utiliser ce combustible (Tihange 2 et Doel 3 ont obtenu par le passé cette licence, mais elle n'est plus d'application aujourd'hui et de nouvelles études de sûreté sont nécessaires pour l'obtenir à nouveau). Jusqu'à la fermeture des derniers réacteurs, les combustibles de retraitement seront exploités au maximum, dans les limites autorisées et techniquement réalisables. Après 2025, les matières fissiles séparées à l'usine de retraitement qui ne pourront être réutilisées dans nos réacteurs seront revendues et ne feront pas l'objet d'une mise en stockage géologique en Belgique.

Les matières non valorisables seront conditionnées à l'usine de retraitement et rapatriées progressivement en Belgique, en vue de leur gestion à long terme. Dès que l'ensemble de ces déchets seront rapatriés de l'usine de retraitement, l'ONDRAF pourra commencer à finaliser les plans de l'installation de stockage géologique et celui-ci pourrait être réalisé sans retard par rapport au planning prévu.

Ligne du temps

Le déroulement des événements pour cette stratégie est donc le suivant :

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés ;
- **2018-2025** : à la suite d'une demande de Synatom, le retraitement est permis à nouveau et Synatom conclut un ou plusieurs contrats de retraitement pour une partie de ses combustibles irradiés ;
- **2018-2075** : les combustibles irradiés non retraités sont déclarés comme déchets par Synatom et pris en charge par l'ONDRAF
- **2025** : sortie du nucléaire ;

- **Indéterminé** : les colis de déchets radioactifs issus du retraitement sont rapatriés progressivement depuis la France ;
- **2032** : début des travaux de construction de l'installation de stockage géologique commun B&C ;
- **Indéterminé-2050** : fin des rapatriements de colis de déchets issus du retraitement en fonction de la portion de combustibles retraités ; l'inventaire final de déchets radioactifs issus du cycle du combustible est établi ;
- **2092** : début de l'excavation des galeries de l'installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs de catégorie C en ce inclus les déchets issus du cycle du combustible ;
- **2100** : début de la campagne d'enfouissement des déchets radioactifs issus du cycle du combustible (issus du retraitement ou combustibles usés conditionnés) ;
- **2110** : fin de la campagne d'enfouissement ;
- **2121** : début de la phase de surveillance (réversibilité) ; fermeture de l'installation de stockage.

Analyse

Le programme de référence de Synatom tient compte du retraitement d'environ 1.200 tHM de combustibles (soit un peu moins de 25 % de l'inventaire prévisionnel de combustibles irradiés déchargés des réacteurs commerciaux belges), sans retour de matières séparées. La sélection des assemblages envoyés pour le retraitement se fait à la discrétion de Synatom. Cette stratégie est donc en quelque sorte un hybride entre les stratégies A et B.

Les éléments de combustibles qui n'auront pas été sélectionnés pour subir le retraitement restent dans les unités d'entreposage. Ceux-ci devront faire l'objet d'une stratégie de gestion séparée. Précisons que le scénario de retraitement partiel présenté par Synatom prévoit que les combustibles non retraités seront gérés selon la stratégie de non-retraitement.

Etant donné la présence dans l'inventaire des déchets radioactifs de déchets issus du retraitement réalisé avant sa suspension en 1993, le choix du retraitement partiel n'entraîne pas de nouveaux besoins en R&D autres que la recherche concernant l'optimisation de l'installation de stockage géologique dans la configuration correspondant à cette stratégie. Par contre, le choix de la stratégie adoptée pour le combustible qui n'aura pas été envoyé au retraitement restant ouvert, les besoins en R&D dépendront du choix qui sera opéré pour la stratégie de gestion du solde des éléments de combustibles irradiés.

Tout comme pour le retraitement total, cette stratégie nécessite que des décisions soient prises à courte échéance, en particulier concernant l'autorisation de retraiter et la quantité de matières concernées, pour pouvoir être réalisée sans préjudice du scénario de référence de l'ONDRAF.

4.5. Stratégie D : séparation poussée

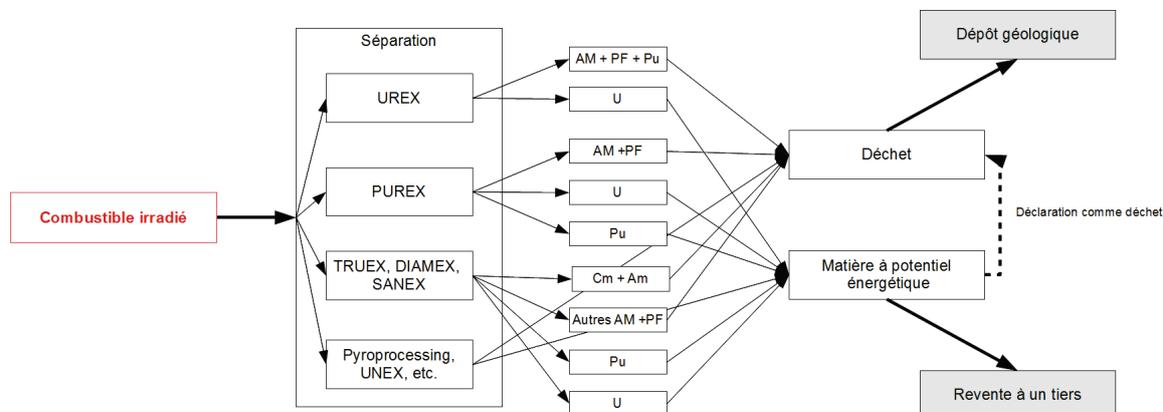
Description

A l'exception du procédé PUREX, les procédés de séparation ne sont pas appliqués à l'échelle industrielle, même si la plupart sont déjà développés à plus petite échelle. Cette stratégie débute donc par une phase de R&D ayant pour objet d'étudier, de choisir et de développer à échelle industrielle une stratégie de séparation/conditionnement optimale pour

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

nos combustibles irradiés. Cette phase de recherche pourrait être entièrement réalisée en Belgique ou, plus probablement, internationalement.

Figure 3. Schéma de la stratégie de gestion D : la séparation poussée.



29

Une fois la stratégie de gestion déterminée, les combustibles usés seront transportés à l'usine de traitement. Là, ils seront séparés en plusieurs flux en fonction de la stratégie retenue. Les flux de déchets feront l'objet d'un conditionnement spécifique à la chimie du flux considéré. Les matières ayant un potentiel de prolifération seront traitées pour neutraliser leur potentiel au maximum (en ne les séparant pas ou en les immobilisant définitivement au moyen de processus irréversibles) et les matières à potentiel énergétique seront revendues. Si le traitement est réalisé à l'étranger, les flux de déchets seront rapatriés en Belgique et entreposés en vue de leur mise en stockage.

Nous faisons l'hypothèse que l'ensemble des opérations de séparation, de conditionnement et de rapatriement éventuel, pourront être réalisées à temps pour qu'une installation de stockage géologique commune B&C puisse être réalisée. Cette dernière sera fort proche de celle de la stratégie B en termes de dimensionnement.

Ligne du temps

La ligne du temps est estimée comme suit :

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés ;
- **2018-2025** : investissements réalisés dans la R&D pour établir une stratégie de séparation et conditionnement belge ;
- **2019** : construction d'installations d'entreposage supplémentaires à Doel et Tihange ;
- **2022** : mise en service des nouvelles installations d'entreposage centralisées à Doel et Tihange ;
- **2025** : sortie du nucléaire ; poursuite des études pour une stratégie de séparation et conditionnement belge ;
- **2032** : début des travaux de construction de l'installation de stockage géologique commun B&C ;

- **2045** : date limite pour le choix d'une stratégie de séparation/conditionnement, début des études pour développer les procédés à l'échelle industrielle ;
- **2055** : date limite pour l'inauguration de l'usine de traitement pour la séparation poussée des combustibles irradiés ;
- **2075** : l'inventaire de déchets radioactifs à mettre en stockage doit être suffisamment avancé que pour entamer les études finales pour l'installation de stockage géologique commun B&C ;
- **2092** : début de l'excavation des galeries de l'installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs de catégorie C, y compris ceux issus du cycle du combustible ;
- **2100** : début de la campagne d'enfouissement des déchets radioactifs issus du cycle du combustible (issus du retraitement ou combustibles usés conditionnés) ;
- **2110** : fin de la campagne d'enfouissement ;
- **2121** : début de la phase de surveillance (réversibilité) ; fermeture de l'installation de stockage.

Analyse

Force est de constater qu'il y a, dans les combustibles irradiés, un grand nombre d'espèces chimiques différentes, chacune ayant ses propres isotopes avec leurs caractéristiques physico-chimiques. En enfouissant directement les combustibles irradiés, il est nécessaire de prévoir que le système formé par les barrières ouvragées de l'installation de stockage géologique et la roche hôte accueillant celle-ci permette de retenir toutes ces espèces chimiques le temps requis pour assurer la sûreté des populations et de l'environnement. Cette stratégie est basée sur l'idée d'utiliser conjointement une technique de séparation et des techniques de conditionnement pour pouvoir optimiser les barrières ouvragées à certains flux de déchets sélectionnés qui sont les déchets les plus pénalisants pour le stockage géologique.

Aujourd'hui, seule la technique de séparation PUREX est réellement appliquée à l'échelle industrielle, avec un retour sur expérience de plusieurs dizaines d'années. La R&D concernant d'autres techniques de séparation se poursuit mais n'en est pas encore au même niveau de maturité [11]. La séparation n'est réellement envisagée que dans la perspective du retraitement de l'uranium et du plutonium, alors que d'autres objectifs pourraient être considérés comme :

- la non-séparation du plutonium pour des raisons de lutte contre la prolifération,
- la séparation de l'américium (qui émet beaucoup de chaleur) pour réduire les contraintes thermiques dans l'installation de stockage géologique,
- la séparation d'espèces chimiques très mobiles dans les milieux considérés pour les immobiliser séparément au moyen de matrices dédiées, etc.

De plus, la question du développement de l'usine de traitement spécialisée reste posée. Cette usine pourrait être développée en Belgique ou à l'étranger, elle pourrait même permettre le développement d'une activité économique si d'autres pays suivaient également la voie de la séparation poussée. Mais cette usine aurait une capacité limitée. Or, le stock total de combustibles irradiés belge à traiter est d'environ 5.000 tHM, et si on veut éviter de repousser la mise en stockage des déchets radioactifs issus du cycle du combustible, la question de la capacité sera primordiale. Il s'agira en tout cas d'un des facteurs pouvant limiter la

date pour se lancer dans cette stratégie sans compromettre la mise en stockage à l'horizon 2100 des déchets issus du cycle du combustible. Dans ces conditions, 2045 semble une date limite raisonnable pour le choix d'un processus de séparation et des techniques de conditionnement, avec un démarrage d'une usine de traitement d'une capacité limitée en 2055 au plus tard.

La destination des flux de matières séparées dépendra du processus choisi et de l'endroit de la construction de l'usine de retraitement. On peut cependant déjà prévoir qu'un flux de déchets seront traités et conditionnés en vue de leur mise en stockage géologique et que la séparation du plutonium n'est pas une obligation dans cette stratégie, elle dépend de la stratégie de gestion retenue. La revente de matières à potentiel énergétique pourrait devoir être envisagée.

Le nombre d'opérations pour cette stratégie est important à cause des étapes de séparation, de traitement et de conditionnement appliquées aux combustibles usés. Le processus de séparation aura normalement pour conséquence un volume de déchets à stocker moindre mais entraînera une concentration de la radiotoxicité plus élevée. Pendant la phase de recherche qui devrait mener au choix de la stratégie de séparation et conditionnement détaillée, les combustibles irradiés sont entreposés tels quels. Aussi, tant que la séparation et le conditionnement qui l'accompagne n'ont pas été réalisés sur le combustible, cette stratégie de gestion jouit d'une flexibilité relativement grande.

31 Toutes les opérations prévues dans cette stratégie auront un coût important, dont il est raisonnable de penser qu'il interviendra après la sortie du nucléaire. Ce coût sera vraisemblablement imputé aux provisions nucléaires qui existeront alors, mais il reste très difficile d'en faire une prévision. Cette prévision est rendue d'autant plus compliquée que les efforts de R&D s'accompagnent toujours d'un risque, même si, dans ce cas précis, beaucoup de techniques de séparation sont déjà connues. Il paraît clair que cette stratégie sera plus chère que les stratégies évaluées précédemment.

4.6. Stratégie E : incinération

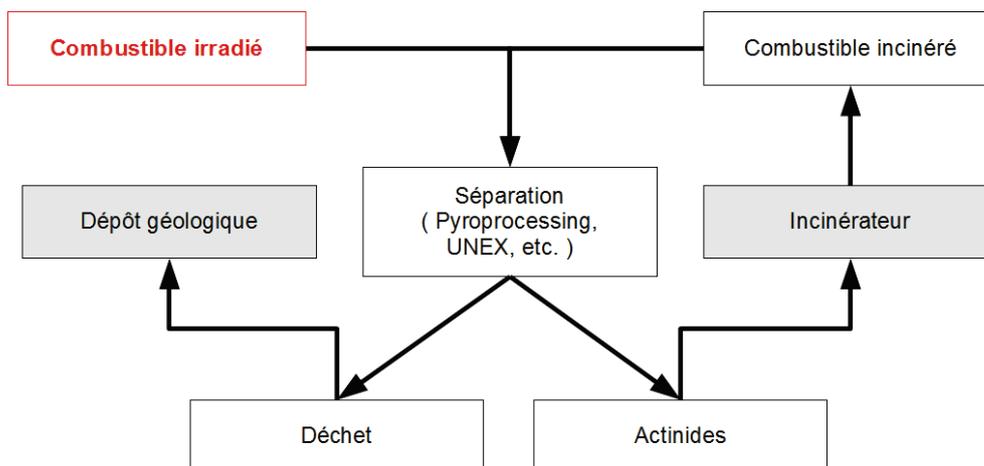
Description

Le développement de réacteurs nucléaires capables de transmuter les actinides mineurs¹³ a pour objectif de réduire la contrainte temporelle exercée par ces matières sur un système de stockage géologique. En Belgique, l'interdiction de mettre en service de nouveaux réacteurs nucléaires par la loi de sortie du nucléaire nous pousse à privilégier la voie de réacteurs dédiés à l'incinération des matières radioactives, d'où le nom choisi pour cette stratégie.

Les combustibles nucléaires irradiés seraient entreposés dans l'attente de la phase de R&D précédent la mise en service d'un réacteur nucléaire capable de transmuter les déchets radioactifs. Au moment opportun, les combustibles irradiés seront alors retraités pour être transformés en combustible pour ce réacteur-incinérateur.

¹³ Les actinides mineurs sont responsables de la longévité des déchets radioactifs, c'est pourquoi les efforts de R&D en transmutation se concentrent sur leur destruction.

Figure 4. Schéma de la stratégie de gestion E : l'incinération.



L'incinération des matières nucléaires ne pourra être réalisée en une seule étape et il faudra répéter le cycle de retraitement/incinération à différentes reprises, avec production de déchets secondaires issus du traitement et destinés au stockage géologique à chaque cycle, jusqu'à ce que l'inventaire complet ait été incinéré.

Cette stratégie ne pourra pas remplir complètement l'hypothèse du dépôt géologique selon le concept de référence de l'ONDRAF. Cependant, le choix de cette stratégie permet rapidement de prévoir la modification du dépôt géologique en conséquence : une première installation de stockage pour les déchets de catégorie B et les déchets de catégorie C disponibles pour la mise en stockage est construite aussi rapidement que possible alors qu'une seconde installation de stockage géologique devra être prévue pour mettre en stockage les déchets de catégories C issus de l'incinération et des opérations de traitement successives. L'avantage de cette stratégie est que les déchets qui seront alors mis en dépôt, bien que de catégorie C, consisteront principalement en des produits de fission, aux temps de demi-vie significativement plus courts que ceux des transuraniens.

32

Ligne du temps

Une ligne du temps retraçant les principales étapes de cette stratégie est remplie d'incertitudes. Nous pouvons néanmoins donner les quelques éléments suivants :

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés ;
- **Indéterminé** : l'entreposage du combustible en vue de sa future incinération est décidé ;
- **2019** : construction d'installations d'entreposage supplémentaires à Doel et Tihange ;
- **2022** : mise en service des nouvelles installations d'entreposage centralisées à Doel et Tihange ;
- **2025** : sortie définitive du nucléaire ;
- **2032** : début des travaux de construction de la première installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs de catégorie B et certains déchets radioactifs de catégorie C ;

- **2074** : fin des campagnes d'enfouissement des déchets radioactifs de catégorie B et des déchets de catégorie C disponibles dans l'installation de stockage géologique ;
- **2085** : début de la phase de surveillance de la première installation de stockage géologique (réversibilité).
- **Indéterminé** : traitement des combustibles irradiés pour leur passage en incinérateur ;
- **Indéterminé** : mise en service d'un incinérateur de déchets radioactifs ;
- **Indéterminé** : construction d'une seconde installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs produits par l'incinérateur et les opérations de traitement successives ;
- **Indéterminé** : enfouissement des déchets issus de la transmutation des combustibles et des opérations de traitement successives ;
- **Indéterminé** : fermeture de la deuxième installation de stockage géologique ;
- **Indéterminé** : début de la phase de surveillance (réversibilité) de la seconde installation de stockage géologique.

Analyse

33

Cette stratégie de gestion présente un lien avec le projet MYRRHA du SCK•CEN et le développement de réacteurs capables de transmuter des actinides mineurs. Alors que le développement de tels réacteurs devient une réalité, il est raisonnable d'envisager une stratégie qui prend en compte cette activité, d'autant que la Belgique, en tant que pays hôte du projet MYRRHA, jouera certainement un rôle important dans le développement des incinérateurs de déchet.

Le développement de cette nouvelle génération de réacteur nécessitera le développement en parallèle d'un combustible adapté. La transmutation pouvant être appliquée aux transuraniens en général, le processus de séparation utilisé ne sera pas le processus PUREX, et cette stratégie doit donc passer par le développement d'un processus de séparation particulier. Il pourrait être envisagé d'appliquer un premier traitement aux combustibles irradiés actuels avant de les entreposer en vue de leur incinération future (le pyroprocessing est envisagé pour remplir cette fonction).

A l'heure actuelle, cette stratégie n'est encore qu'une ébauche, la démonstration de la faisabilité d'un réacteur incinérateur d'actinides mineurs doit encore être apportée, c'est un des objectifs du projet MYRRHA. Le processus de séparation ne peut pas encore être choisi puisqu'il s'agira d'optimiser la séparation pour la fabrication du « combustible » de l'incinérateur de déchets radioactifs. Cependant, cette stratégie reste positive pour la gestion des déchets radioactifs parce que, en principe, son application pourrait permettre de réduire d'un facteur 1.000 la durée de vie des déchets radioactifs et permet en particulier de détruire définitivement le plutonium et les actinides mineurs.

L'incinération devra se dérouler en plusieurs cycles, par conséquent cette stratégie présente un risque radiologique très élevé pour les manutentions qu'elle génère mais la destruction des actinides implique une réduction importante de la radiotoxicité à long terme. Les déchets qui sont retirés du combustible incinéré entre chaque cycle feront l'objet d'une gestion à long terme qui est envisagée ici comme étant la mise en stockage géologique,

mais à une date qui sera vraisemblablement ultérieure à celle prévue pour la campagne d'enfouissement des déchets de catégories C¹⁴ dans le scénario de référence actuel de l'ONDRAF. De plus, le cycle d'incinération déclenchera à priori la nécessité de laisser refroidir les combustibles incinérés pendant une soixantaine d'années avant de pouvoir les mettre en stockage géologique, comme c'est le cas aujourd'hui pour les déchets issus du retraitement. Les produits de fission dans les déchets, responsables pour ce délai, seront également partie intégrante des futurs déchets issus des opérations de traitement successives appliquées dans cette stratégie.

Il subsiste encore aujourd'hui beaucoup d'éléments à développer avant de pouvoir appliquer cette stratégie et les efforts de R&D devront être répartis entre le dépôt géologique pour les déchets de catégorie B, le traitement à appliquer au combustible irradié pour pouvoir le placer dans l'incinérateur, le développement de l'incinérateur en lui-même et, par la suite, la gestion des déchets issus de l'incinération.

Cette stratégie ne permet pas de déterminer de date limite et cette incertitude, en plus de celle portant sur les efforts de R&D nécessaires, implique un coût qui ne peut être déterminé précisément aujourd'hui, hormis qu'il sera probablement plus élevé que pour les autres stratégies de gestion.

Mise à jour 2016 : La stratégie présentée ici est développée d'un point de vue belge uniquement mais des projets européens s'intéressent au développement d'une stratégie de transmutation/incinération à l'échelle européenne faisant intervenir des échanges entre pays sortant du nucléaire et pays maintenant une activité nucléaire de production d'électricité sur leur territoire.

¹⁴ A l'exception notable de quelques déchets de catégorie C qui ne pourront être retraités dans les incinérateurs, comme par exemple les canisters de retour du retraitement des contrats conclus en 1976 et 1978.

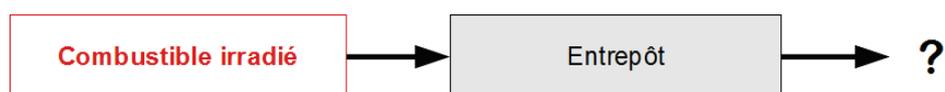
4.7. Stratégie F : recherche additionnelle

Description

Les combustibles irradiés sont entreposés pour une durée déterminée (ou indéterminée), dans l'attente qu'une décision sur leur sort soit prise à une certaine échéance. Cette période est mise à profit pour effectuer la recherche visant à explorer d'autres pistes de gestion et rassembler les conclusions nécessaires pour une prise de décision plus informée à son terme.

Cette stratégie ne pourra pas remplir complètement l'hypothèse du dépôt géologique selon le concept de référence de l'ONDRAF. En l'absence de choix stratégique relatif aux déchets issus du cycle du combustible, l'organisme prévoit la modification du dépôt géologique en conséquence : une première installation de stockage pour les déchets de catégorie B et les déchets de catégorie C disponibles pour la mise en stockage est construite aussi rapidement que possible alors qu'une seconde installation de stockage géologique devra être prévue pour mettre en stockage les déchets de catégories C issus de du cycle du combustible quand ceux-ci seront connus.

Figure 5. Schéma de la stratégie de gestion F : la recherche additionnelle.



35

Nous supposons qu'une révision du plan national pourrait être l'occasion de réviser la position de la Belgique concernant la recherche additionnelle si cette stratégie était suivie.

Ligne du temps

Cette stratégie présente beaucoup d'inconnues, ce qui rend difficile une évaluation de la planification du déroulement des opérations pour la gestion des combustibles irradiés, mais nous pouvons envisager les événements suivants :

- **2016** : adoption du programme national de la Belgique pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés ;
- **Indéterminé** : la décision de reporter tout choix définitif dans le futur est prise, cette décision doit être réévaluée lors de chaque révision décennale du plan national ;
- **2019** : construction d'installations d'entreposage supplémentaires à Doel et Tihange ;
- **2022** : mise en service des nouvelles installations d'entreposage centralisées à Doel et Tihange ;
- **2025** : sortie définitive du nucléaire ;
- **2032** : début des travaux de construction de la première installation de stockage géologique pour les déchets de catégorie B&C hors combustibles irradiés ;
- **2075** : date limite pour un basculement vers la stratégie de mise en stockage des combustibles irradiés conditionnés ;

- **Indéterminé** : si pas de prise de décision lors d'une révision du programme national avant 2065, fermeture du premier dépôt géologique pour les déchets de catégorie B&C hors combustibles irradiés ; les combustibles irradiés sont entreposés jusqu'à ce qu'une décision soit prise ;
- **Indéterminé** : la décision prise est mise en œuvre, ligne du temps à compléter en fonction de celle-ci.
- **Indéterminé** : construction d'une seconde installation de stockage géologique pour les déchets radioactifs issus du cycle du combustible ;
- **Indéterminé** : enfouissement des déchets radioactifs issus du cycle du combustible ;
- **Indéterminé** : fermeture de la deuxième installation de stockage géologique.

Analyse

Cette stratégie envisage la situation selon laquelle il est décidé que plus d'informations sont nécessaires avant de prendre une décision à caractère définitif concernant la gestion à long terme du combustible nucléaire ; la décision est reportée à une certaine échéance et l'accent est mis sur la R&D pour rassembler les informations jugées indispensables pour choisir une stratégie de gestion. Nous faisons l'hypothèse que la révision du programme national (qui est prévue dans la directive déchets et doit être décennale au minimum) sera utilisée pour réviser cette décision et faire un choix. On constate que, depuis la résolution parlementaire de 1993, la Belgique se situe en réalité dans cette stratégie sans la nommer. En effet, il a été décidé en 1993 d'étudier deux options sur pied d'égalité et de reporter le choix pour l'une de ces options à un moment où une vision plus complète du cycle du combustible pourra être offerte. Notons cependant deux choses :

- premièrement, l'absence de limite définie clairement pour cette période de recherche peut s'avérer contreproductive et entraîne le risque d'un report indéfini de décision et,
- deuxièmement, depuis que la décision de sortir du nucléaire a été prise, le statu quo devient petit à petit une décision *de facto* de non retraitement.

En effet, comme précisé dans la description de la stratégie C, le retraitement est de moins en moins envisagé par Synatom à mesure que la possibilité de valoriser les matières retraitées dans les réacteurs belges diminue. La stratégie « recherche additionnelle » ne se limite pas au choix entre les deux options de 1993, mais elle permet d'envisager plus d'alternatives.

La décision de suivre cette stratégie n'empêche pas d'envisager qu'un dépôt géologique pour les autres déchets radioactifs, principalement ceux de catégorie B, soit tout de même réalisé : les combustibles usés représentent environ 23 % du volume de déchets total actuellement prévu pour le stockage géologique commun B&C du scénario de référence de l'ONDRAF. Même si le report de la gestion des combustibles usés était décidé, l'ONDRAF devrait assurer la gestion du reste des déchets radioactifs de catégorie B et C (majoritairement composés de passifs techniques à charge de l'Etat). Cette stratégie présente donc un risque de découplage entre la gestion des déchets radioactifs de catégorie B et C et celle des combustibles irradiés. Ce risque est d'autant plus grand si le délai avant prise de décision est allongé.

Au-delà d'une certaine date, la possibilité d'une installation de stockage commune disparaît complètement. Afin de pouvoir évaluer cette échéance, nous devons considérer les éléments suivants :

- une partie des déchets prévus pour la troisième campagne d'enfouissement n'est pas du combustible irradié et devrait tout de même être mis en stockage aussi rapidement que possible ;
- la fermeture de la première partie de l'installation de stockage géologique, accueillant les déchets des deux premières campagnes d'enfouissement, est prévue pour 2074 ;
- l'excavation de la partie de l'installation de stockage dédiée aux déchets issus du cycle du combustible est prévue pour commencer en 2092 ; avant de construire cette partie, il faut obtenir la licence de construction ;
- la prise de décision de mise en stockage ;
- la révision de la décision de recherche additionnelle doit être fixée de manière périodique afin d'éviter qu'aucune décision ne soit jamais prise, en particulier, les révisions du programme national semblent indiquées à cet effet ;
- cette stratégie mène obligatoirement à rentrer dans une autre stratégie ;
- **Mise à jour 2017** : tant qu'une décision définitive n'est pas prise, cette stratégie correspond de facto à un entreposage de très longue durée ;
- **Mise à jour 2017** : le report de toute décision dans le temps est un facteur pénalisant pour la conservation des connaissances, le risque de perte d'expertise associé à cette stratégie n'est paradoxalement pas faible, en particulier lorsque les objectifs de recherche à atteindre ne sont pas définis.

37

Parmi les autres stratégies envisagées dans cette étude, celle qui présente la date limite la plus éloignée dans le temps ainsi qu'une installation de stockage commune est la stratégie de non-retraitement, dont la date limite a été déduite comme étant 2075. Attendre au-delà de cette date risque de compromettre le planning que nous avons choisi de suivre comme référence et le stockage commun pour les déchets de catégorie B&C.

Cette stratégie présente sans conteste la plus grande incertitude financière sur le coût de la gestion des combustibles usés, puisque celle-ci est repoussée dans le futur, sans indication de ce que représentera la solution choisie et de son coût, ce qui rend d'autant plus délicat l'exercice de provisionnement.

4.8. Analyse transversale de la chronologie des stratégies de gestion du combustible irradié

Il est intéressant de constater que l'hypothèse que nous avons faite quant au planning prévisionnel de construction de l'installation de stockage géologique, issu du Plan Déchets de l'ONDRAF, permet de déterminer pour chaque stratégie une chronologie propre. Le planning est en quelque sorte la clef de voûte de ces chronologies, puisqu'il nous permet de déterminer, pour certaines stratégies, une date butoir au-delà de laquelle l'absence de prise de décision compromet la stratégie établie sur la base de nos hypothèses (stockage commun pour les déchets de catégorie B&C). Nous avons ainsi déduit ces dates limites comme étant :

- **2018-2025** pour la stratégie de retraitement partiel. La partie des éléments de combustible qui n'a pas été sélectionnée pour subir le retraitement doit être gérée en suivant une des autres stratégies. Dans nos hypothèses, il est nécessaire que la décision soit prise suffisamment rapidement que pour que les déchets issus du retraitement puissent refroidir 60 ans avant leur mise en dépôt (ils doivent être rapatriés pour 2035-2040). Plus la décision interviendra tard et plus ce point risque de poser problème.
- **2065** pour une stratégie de séparation poussée, date au-delà de laquelle les informations techniques nécessaires pour fixer la stratégie de séparation/conditionnement et le concept de l'installation de stockage, sans la retarder, risquent de faire défaut.
- **2075** pour la stratégie de non-retraitement, il s'agit de la dernière limite pour fixer définitivement l'enfouissement des combustibles irradiés comme stratégie de gestion à long terme, laissant le temps de confirmer le dimensionnement et les barrières ouvragées de l'installation de stockage géologique sans compromettre sa construction pour 2092.

Pour les autres stratégies, la date limite est déjà virtuellement caduque ou les efforts de recherche à fournir pour réaliser la stratégie ne permettent pas de fixer de date limite.

- Techniquement parlant, **le retraitement complet** est toujours possible, la limitation temporelle étant la même que pour le retraitement partiel, à savoir le retour des déchets issus du retraitement dans les temps pour que leur mise en stockage ne soit pas retardée à cause du temps de refroidissement nécessaire. Force est de constater que les décisions d'arrêt du retraitement et de sortie du nucléaire ont placé Synatom et Electrabel dans une position où le retraitement complet, avec utilisation des combustibles retraités dans les réacteurs belges, n'est plus réellement envisageable aujourd'hui. Le retraitement complet sans utilisation des combustibles retraités n'est pas envisagé du tout puisque, du point de vue économique, il revient à effectuer un investissement qui ne produit aucun retour.
- Il n'y a pas de date limite de temps pour la **stratégie de recherche additionnelle** à proprement parler, mais cette stratégie est celle dans laquelle on se trouve tant qu'aucune décision pour entrer dans une des autres stratégies n'est prise. Par conséquent, la limite de la stratégie de non-retraitement de 2075, la limite la plus tardive des autres stratégies, est en quelque sorte une limite pour cette stratégie au regard de nos hypothèses, et en particulier en ce qui concerne l'hypothèse d'un dépôt commun pour les déchets de catégorie B et C. Au-delà de cette date, selon nos hypothèses, l'utilisation d'un site de stockage commun sera compromise. Cette stratégie peut être assimilée à de l'entreposage de longue durée.
- Nous n'avons pas déduit de date limite pour la **stratégie d'incinération**, parce que l'installation de stockage géologique commun ne sera probablement pas d'application si cette stratégie était choisie.

La figure 6, présentée ci-après, montre comment s'articulent entre elles ces stratégies, quelles décisions doivent être prises et dans quel ordre, pour permettre la gestion du combustible irradié selon chaque stratégie. La figure comporte deux parties. A gauche, une ligne du temps, allant du haut vers le bas, qui débute en 1975 et s'étend au-delà de 2200, montre

les étapes décisionnelles importantes passées et futures pour l'organisation du cycle du combustible nucléaire en Belgique. La partie de droite représente schématiquement les différentes stratégies et l'arbre de décisions pouvant mener à la gestion du combustible irradié.

En suivant l'arbre de décisions de haut en bas, on voit que la Belgique se trouvait initialement dans une stratégie de retraitement complet. Les premiers contrats de retraitement conclus pendant cette période, qui portaient sur 670 t de combustible irradié, ont donné lieu à une série de déchets qui devront être mis en dépôt géologique.

En 1993, les débats parlementaires et la résolution qui a suivi ont changé la donne : depuis lors, la Belgique doit considérer deux options sur pied d'égalité, le retraitement et le non-retraitement. Comme nous l'avons expliqué dans l'analyse relative à la stratégie de recherche additionnelle, la Belgique se trouve depuis lors dans cette dernière, en attendant de pouvoir entrer dans l'une de ces deux options. Nous avons illustré cette situation en plaçant les trois stratégies côte à côte, celle de recherche additionnelle étant au centre, et la ligne de décision reste dans la recherche additionnelle jusqu'à ce qu'une décision soit prise de basculer vers l'une de ces deux stratégies.

En 2003, la loi de sortie du nucléaire a été votée et, comme nous l'avons déjà dit, c'est un des facteurs qui ont conduit à ce qu'une stratégie de retraitement devienne de moins en moins envisagée par Synatom, en raison de la non-possibilité d'utiliser des combustibles issus du retraitement après 2025. Aujourd'hui, le programme de référence de Synatom prévoit le retraitement partiel des combustibles irradiés. La décision de procéder à du retraitement partiel doit intervenir très rapidement. Ceci a été représenté en rétrécissant linéairement la stratégie de retraitement partiel jusqu'à sa disparition en 2025. Si cette stratégie était choisie, l'inventaire de déchets serait connu dès 2025 et la mise en stockage pourrait être prévue à partir de cette date (ce qui est représenté par la ligne reliant la stratégie au dépôt géologique).

La stratégie de non-retraitement est représentée graphiquement à partir de 1993 et elle reste plausible jusqu'à sa date limite, qui a été déduite comme étant 2075, date à laquelle la stratégie telle que définie dans cette étude n'existe plus.

A gauche de la stratégie de retraitement, nous avons représenté le stockage géologique, qui débute en 2032 avec sa construction et dure jusqu'à sa fermeture, prévue en 2121. Ces dates sont celles utilisées par l'ONDRAF dans son scénario de référence.

A partir de 2015, la stratégie de séparation poussée apparaît et prend graphiquement de l'ampleur. La forme ovale donnée à cette stratégie symbolise le fait que la recherche additionnelle pourrait conduire dans le futur à développer cette stratégie jusqu'à la rendre exploitable, ce qui n'a pas été le cas jusqu'à présent. La date de 2065 a été déduite comme date limite pour la mise en dépôt géologique dans le respect de nos hypothèses, cela est représenté par la ligne qui rejoint le dépôt géologique à cette date.

Enfin, la stratégie d'incinération est aussi représentée ; elle a également une forme ovale pour montrer qu'elle nécessite de la recherche avant de construire une unité de transmutation à l'échelle industrielle. Par ailleurs, elle a été superposée à la séparation poussée parce qu'il sera nécessaire de fabriquer le combustible approprié pour l'incinérateur et que nous

envisageons que cela sera réalisé au moyen d'une stratégie de traitement faisant intervenir un processus de séparation autre que le procédé PUREX.

Tant qu'aucune décision n'est prise pour choisir une des stratégies de gestion proposées, nous restons dans la stratégie de recherche additionnelle. Notons cependant que nous montrons graphiquement qu'au-delà de 2075, si la décision de placer les combustibles irradiés tels quels dans l'installation de stockage géologique n'était pas prise, nous resterions alors dans une stratégie de recherche additionnelle, mais qui sortirait de nos hypothèses.

Toutes les dates et décisions relatives aux hypothèses formulées, et en particulier au stockage géologique construit selon le scénario de référence de l'ONDRAF, sont mises en vert sur la figure.

La figure 6 montre également que tant qu'aucune décision n'est prise, nous restons de facto dans la stratégie que nous avons appelé « recherche additionnelle » et que la décision de rentrer ou non dans la stratégie de retraitement partielle doit être prise rapidement, mais qu'au-delà de ce choix, l'échéance suivante pour le choix d'une stratégie est 2065 avec la séparation poussée.

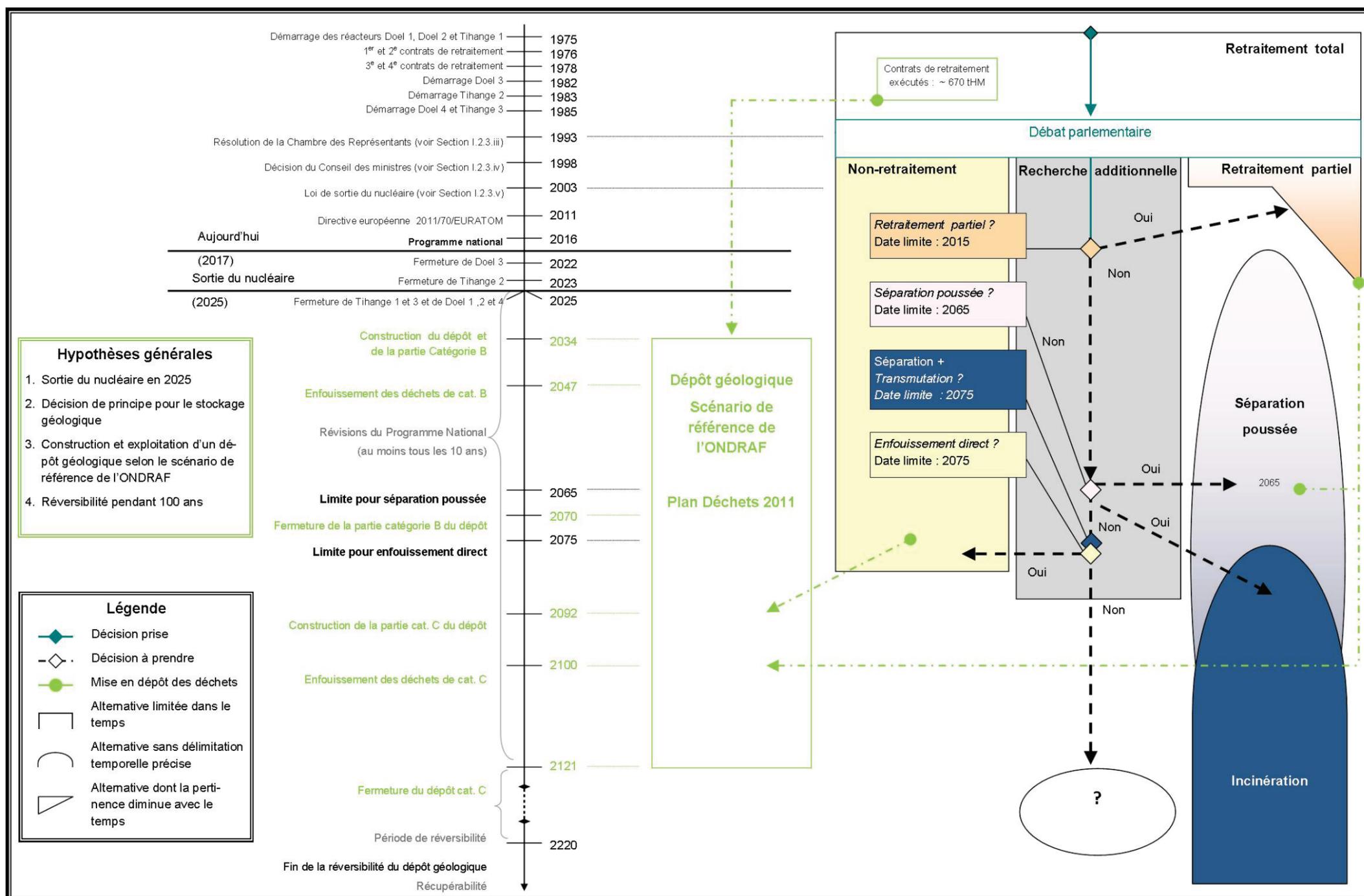
Au final, nous voyons apparaître une séquence ordonnée de décisions qui doivent être prises avant une certaine date limite si l'on veut maintenir une installation de stockage géologique commune selon le scénario de référence de l'ONDRAF.

Nous insistons sur le fait que ce n'est pas parce qu'une date limite est déterminée que cela signifie pour autant que l'on doive attendre cette date pour entrer dans une stratégie donnée. En effet, plus tôt une décision est prise, plus tôt l'ONDRAF aura toutes les cartes en mains pour réaliser au mieux la mission qui lui a été confiée. Rappelons également que le système mis en place en Belgique pour constituer les provisions qui serviront à financer la stratégie choisie prévoit que l'approvisionnement soit réalisé à l'échéance 2025.

Mise à jour 2017 : Au-delà de cette date, Synatom devra se retourner vers les producteurs pour que ceux-ci complètent les sommes manquantes, le cas échéant. Aucune disposition ne prévoit le cas où ces producteurs disparaîtraient dans le futur, mais si cette éventualité se concrétisait, l'Etat Belge devrait alors reprendre la responsabilité financière liée à la gestion des déchets issus du cycle du combustible à sa charge.

Figure 6. Ligne du temps avec les étapes importantes concernant le cycle du combustible nucléaire belge (sur la gauche) et représentation en diagramme des stratégies possibles pour la Belgique.

Cette ligne du temps reprend les étapes de décisions décisives par rapport à la ligne du temps (sur la droite). Les étapes de décisions ont été déterminées en se basant sur nos hypothèses, et en particulier sur le planning de construction du dépôt géologique selon la stratégie de référence présenté dans le Plan Déchets de l'ONDRAF (illustré par la couleur verte sur la figure).



5. Synthèse

La présente étude, réalisée par le Service des Applications Nucléaires de la Direction générale de l'Energie du SPF Economie, P.M.E. et Energie, est une mise à jour réalisée en 2017 de l'Etude qui avait été réalisée en 2014.

Le programme national belge de gestion des déchets radioactifs et combustibles irradiés a été adopté par le Conseil des ministres le 30 juin 2016. Le Programme national se limite à une description, sans nouveau contenu normatif, de la situation au 31 décembre 2014 en matière de politiques nationales pour la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs, de mise en œuvre de ces politiques et de cadre national pour cette mise en œuvre. Depuis le débat de 1993, deux alternatives sont envisagées sur un pied d'égalité pour la Belgique : le non-retraitement et le retraitement. Au 31 décembre 2016, aucune décision n'était intervenue concernant l'adoption d'une politique nationale de gestion des déchets de catégorie B et C ou concernant les alternatives envisagées pour les combustibles irradiés.

Cependant, les innovations apportées en matière de gestion du combustible irradié ces dernières décennies méritent d'être au moins évaluées. De nombreux autres pays sont en train de réaliser un tel travail d'évaluation et de prospection pour déterminer leur stratégie en matière de gestion du combustible. Or, le parc nucléaire et la législation de chaque pays étant différents, les résultats de ces études ne peuvent être simplement transposés d'un pays à l'autre.

42

En vue de préparer ce travail, nous avons réalisé une étude préliminaire visant à établir quelles stratégies pourraient être envisagées en Belgique, sans se restreindre aux deux alternatives qui avaient été établies il y a vingt ans de cela. Pour réaliser ce travail, certaines hypothèses ont dû être formulées. Les hypothèses retenues et présentées dans la première section de cette étude sont identiques à celles qui avaient été retenues pour notre étude de 2014. Plusieurs de ces hypothèses se bornent à reprendre les conclusions présentées par l'ONDRAF dans son Plan Déchets comme données pour la présente étude (le stockage géologique comme stratégie de gestion définitive, le concept de référence de l'installation de stockage géologique, en prenant en compte les adaptations nécessaires de ce concept pour chacune des stratégies, etc.). Deux hypothèses nous sont directement dictées par la loi (la sortie du nucléaire et la réversibilité¹⁵) et enfin, les deux dernières hypothèses sont des hypothèses de travail pratiques permettant de concentrer l'analyse sur les stratégies de gestion du combustible (l'entreposage assuré et la production de déchets radioactifs à partir de combustibles irradiés). Nos hypothèses ont fait l'objet d'une analyse critique et leurs conséquences en termes de limitation des stratégies envisagées ont également été analysées.

Nous avons également conservé les clefs de lecture qui avaient été proposées dans l'étude de 2014, celles-ci permettent d'envisager et de comprendre les stratégies selon des perspectives différentes. La gestion du combustible irradié étant un problème multidimensionnel, il n'existe pas de solution unique à ce problème. Mais chaque solution pouvant mettre en avant une dimension particulière, 4 clefs de lecture ont été identifiées et présentées : la

¹⁵ L'obligation de prévoir les modalités de la réversibilité dans la loi du 3 juin 2014 transposant la directive européenne EURATOM/2011/70. Mais notre hypothèse va plus loin en supposant que la réversibilité ne doit pas être mise en application.

perspective du risque radiologique, la non-prolifération, la problématique des matières à potentiel énergétique et les aspects économiques. Ces clefs de lecture ont été conditionnées par nos hypothèses générales. D'autres clefs de lecture pourraient être ajoutées à celles-ci.

Finalement, en plus des deux stratégies primordiales, quatre stratégies supplémentaires ont été formulées : le retraitement partiel, qui est aujourd'hui le programme de référence de gestion des combustibles irradiés de Synatom, la séparation poussée et l'incinération qui envisagent l'application des recherches actuelles pour optimiser la gestion des combustibles irradiés et la stratégie de recherche additionnelle dans lequel il est considéré qu'on ne dispose pas encore à ce jour de suffisamment d'éléments que pour prendre une décision définitive.

Les stratégies ont été décrites au début de cette partie de l'étude. Pour chacune des stratégies, nous proposons une analyse succincte des conséquences qu'entraînerait le choix de chaque stratégie en particulier. Pour chacune des stratégies, une ligne du temps est proposée avec le déroulement des événements pour mener à la gestion du combustible irradié au sein de la stratégie et dans le respect de nos hypothèses. Pour établir ces lignes du temps, nous nous sommes basés sur le planning prévisionnel du scénario de référence de l'ONDRAF pour la gestion des déchets radioactifs et des combustibles irradiés. Ce planning prévisionnel prévoit notamment que la construction de l'installation de stockage géologique se fera en deux temps, la première partie serait construite très tôt et accueillerait grosso modo les déchets de catégories B, en deux campagnes d'enfouissement, et la seconde partie de l'installation de stockage serait construite à partir de 2092 et accueillerait, lors de la troisième campagne d'enfouissement, les déchets issus du cycle du combustible. Nous prévoyons que la licence pour le début des travaux de la seconde partie de l'installation de stockage ne sera introduite qu'au moment de creuser la galerie. En effet, avec un début des travaux prévus pour 2092, et étant donné qu'une veille technologique est prévue par l'ONDRAF tout au long des opérations de gestion des déchets radioactifs et de combustibles irradiés, il a été considéré que la licence qui serait éventuellement demandée avant le début des premiers travaux en 2032 devrait être réintroduite auprès du régulateur 60 ans plus tard. Ce point est également mentionné par l'ONDRAF dans leur rapport d'évaluation du coût du dépôt géologique de 2013 [8].

Cependant, en gardant la date de 2092 comme limite pour éviter le découplage du stockage géologique pour les déchets de catégorie B et de catégorie C, nous avons pu établir des dates limites pour entrer dans chacune des stratégies. Au-delà de ces dates, l'absence de décisions pourrait mettre l'ONDRAF dans l'impossibilité matérielle de réaliser sa mission selon le scénario que l'organisme a établi. Une analyse transversale de la chronologie des stratégies a été réalisée afin d'identifier la manière dont les stratégies s'articulent les unes par rapport aux autres. Cette analyse a montré qu'une décision concernant la stratégie de retraitement (partiel ou complet) devait être prise assez rapidement et que, dans le cas où cette stratégie ne serait pas suivie, il sera nécessaire de définir les axes de recherches afin de permettre une décision pour entrer dans une autre stratégie de gestion du combustible irradié au plus tard en 2065 pour la stratégie de séparation ou 2075 pour la stratégie de non-retraitement.

Bibliographie

- [1] SPF Economie, *Programme national de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs*, 2015.
<https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/sources-denergie/nucleaire/gestion-du-combustible-use-et/premier-programme-national-de>
[consulté en 2017].
- [2] Arrêté royal du 30 mars 1981 déterminant les missions et fixant les modalités de fonctionnement de l'organisme public de gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles
http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1981033001&table_name=loi, [consulté en 2017].
- [3] ONDRAF, *Plan déchets*, 2011. [En ligne]. Available :
<https://www.ondraf.be/plan-déchets-pour-la-gestion-à-long-terme-des-déchets-radioactifs-conditionnés-de-haute-activité>
[consulté en 2017].
- 44 [4] AFCN, *Avis de l'AFCN sur les documents de l'ONDRAF : Projet de Plan Déchets et Evaluation des Incidences sur l'Environnement*, note 010-149-F du 02.02.2011
- [5] ONDRAF, *Optimization of the repository design for geological disposal* (part 1), 2016, NIROND-TR 2016-03.
- [6] Vanrespaille L. et Teller M., *Conférence citoyenne : Comment décider de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de longue durée de vie ?*, Rapport final, Fondation Roi Baudouin, Bruxelles, 2010.
<http://www.ondraf-plandechets.be/nieuw/downloads/pdf/1968-FRB-POD-Ondraf.pdf>,
[consulté en 2017].
- [7] ONDRAF, *Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2*, ONDRAF, Bruxelles, 2001.
- [8] ONDRAF, *Cost Evaluation of Geological Disposal of Category B&C Waste for the Long Term Fund* (Revision of 2013), NIROND-TR 2013-04 E, Bruxelles, 2013.
- [9] ONDRAF, *Summary of cost evaluation of direct and mixed SNF, geological disposal scenarios*, note 2015-2867, 2015.
- [10] Synatom, *Rapport annuel 2016*,
http://synatom.be/uploads/files/rapports/Synatom_2016_FR_web.pdf, 2016, [consulté en 2017].
- [11] Commissariat à l'énergie atomique - Direction de l'énergie nucléaire, *Le traitement-recyclage du combustible nucléaire usé*, Paris, Jean-François Parisot, 2008.