

**Trajet : Quand prendre la décision définitive ?  
Concernant la réversibilité, la récupération des déchets, générations  
futures, nouvelles technologies**

**PRÉSENTS  
POUR  
LE FUTUR**

Dialogue sur l'avenir  
des déchets radioactifs.

## **L'AFCN, un acteur majeur dans la gestion à long terme des déchets radioactifs**

**“En tant qu'autorité de sûreté nucléaire en Belgique, l'AFCN (Agence fédérale de Contrôle nucléaire) a pour mission de veiller à ce que la population et l'environnement soient protégés des risques de rayonnements ionisants, y compris de ceux qui émanent des déchets nucléaires,” expliquent Frédéric Bernier et Kevin Govers, de l'AFCN. “Cette mission est réalisée avec le support technique de sa filiale BelV. »**

**“Dans le contexte de la gestion des déchets radioactifs, cette mission implique d'émettre des avis sur des propositions de politiques nationales liées à la gestion de ces déchets, d'établir des exigences de sûreté et de superviser la sûreté des activités de gestion des déchets radioactifs réalisées par les opérateurs nucléaires et par l'ONDRAF/NIRAS, l'organisation belge chargée de la gestion des déchets.”**

Kevin Govers, Inspecteur-expert en gestion et stockage de déchets radioactifs à l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire (AFCN).

Frédéric Bernier, Project Manager – 'Geological Disposal, Waste Management and Disposal' à l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire.

“Les exigences de sûreté liées à la gestion et au stockage des déchets radioactifs sont harmonisées au niveau européen au moyen des ‘Safety Reference Levels’ publiés par l'Association des régulateurs nucléaires d'Europe occidentale (WENRA)”, précise Frédéric Bernier. “En Belgique, les niveaux de référence de WENRA pour les grandes installations nucléaires sont mis en œuvre au travers d'arrêtés royaux. Des arrêtés royaux supplémentaires décrivant les niveaux de sûreté pour le stockage des déchets radioactifs et le régime d'autorisation sont en cours de préparation et devraient être publiés d'ici la fin de l'année.”

L'organisme chargé de la mise en œuvre de toute nouvelle grande installation nucléaire doit soumettre un ‘dossier de sûreté’ à l'AFCN. Il en va de même pour le stockage des déchets radioactifs. Un dossier de sûreté consiste en un ensemble d'arguments structurés, étayés par des preuves, visant à démontrer que le système de stockage est sûr. Les hypothèses décrites doivent considérer les évolutions possibles du site et de l'installation de stockage y compris en considérant notamment les possibles changements climatiques

et évènements sismiques. Le dossier de sûreté d'un site de stockage de déchets radioactifs ne fournit pas seulement des informations démontrant la sûreté de l'installation, mais contient aussi un historique de l'installation et du processus décisionnel – par exemple, quelles autorisations ont été délivrées à quel moment par quelle autorité réglementaire.

### Des évaluations de sûreté en plusieurs phases

“La Belgique ayant récemment opté pour le stockage en profondeur des déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie, l'AFCN a pour mission de vérifier si l'installation de stockage est développée, construite, exploitée et scellée de manière sûre”, explique Frédéric Bernier.

“Cela impliquera d'évaluer le dossier à différentes étapes”, souligne Kevin Govers, “car le processus suppose une succession de décisions. On distingue souvent pour de tels projets les phases de conception, d'implantation, de construction, d'exploitation et de post-fermeture. Chaque phase est associée à des points de décision bien définis, tels que le choix de la roche hôte, la sélection du site et les décisions finales d'octroi d'une autorisation de construire, d'exploiter et de fermer l'installation.”

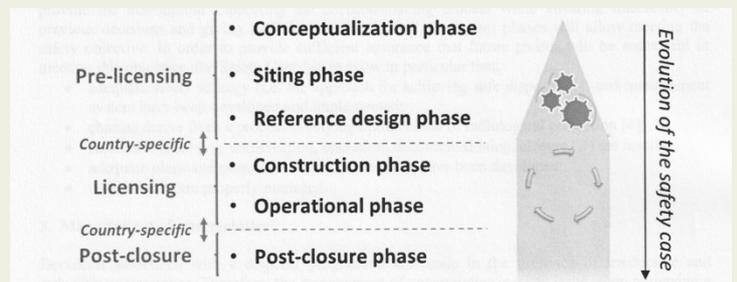


Figure extrait de Lemy F and Bernier F. Euradwaste '13 Conference.

Frédéric Bernier : “Des incertitudes seront identifiées au cours de l'élaboration progressive d'un dossier de sûreté. Une partie de ces incertitudes se réduira avec le temps, à mesure que les connaissances s'accumuleront et qu'on pourra disposer d'informations supplémentaires provenant des programmes de recherche et de développement. Une étape cruciale sera la présentation d'un dossier de sûreté complet avant d'entrer dans la phase de construction et d'exploitation, couvrant tous les aspects liés à la sûreté et démontrant que le concept est sûr et réalisable à court et à long terme. Le dossier de sûreté soumis à ce stade constitue la base de toutes les activités ultérieures.”

---

*La Belgique ayant récemment opté pour le stockage en profondeur des déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie, l'AFCN a pour mission de vérifier si l'installation de stockage est développée, construite, exploitée et scellée de manière sûre.*

---

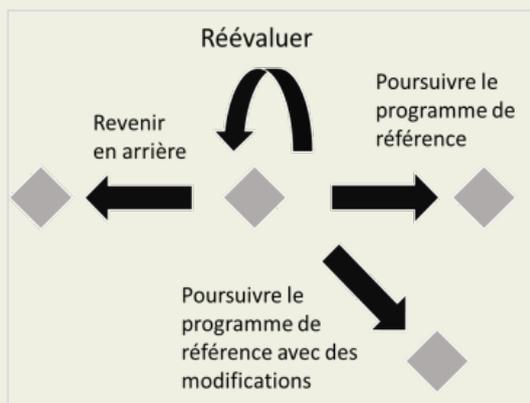
“D'ici à ce qu'un permis soit octroyé pour la construction de l'installation de stockage – et cela pourrait prendre, à mon avis, encore au moins une décennie ou deux – les incertitudes qui compromettent la sûreté devraient avoir été abordées de manière adéquate. De plus, des mesures devraient être prévues – par exemple dans le programme de suivi – pour confirmer les hypothèses et les modèles clés. Néanmoins, même à la fin du processus, des incertitudes subsisteront ; il sera alors nécessaire de démontrer que ces incertitudes irréductibles ne compromettent pas la sûreté.”

## Des programmes de recherche indépendants

“Pour remplir notre mission, il est important que nous puissions mener nos propres programmes de recherche et de développement, indépendamment d’autres acteurs tels que l’industrie nucléaire, les organisations de gestion des déchets ou les constructeurs de l’installation de stockage en profondeur”, affirme Frédéric Bernier. “Nos programmes sont consacrés à des aspects clés de la sûreté, tels que la compréhension du système de stockage, l’évaluation des processus qui influencent le transport des matières radioactives, l’identification et la caractérisation des incertitudes concernant l’évolution à long terme du système de stockage. L’AFCN collabore à des expériences dans des laboratoires de recherche souterrains en Suisse (Mont-Terri) et en France (Tournemire). Ces expériences sont pour nous une occasion unique d’identifier, de manière indépendante, les défis à relever pour la mise en œuvre de l’installation de stockage. En même temps, cela nous permet de collaborer avec des experts de renommée internationale issus de différentes disciplines.”

## Réversibilité des décisions

Frédéric Bernier évoque la réversibilité des décisions et la récupérabilité des déchets. La réversibilité désigne la “capacité à revenir sur des décisions prises lors du développement et de la mise en œuvre progressive d’un stockage ; la réversibilité peut donc conduire à modifier, réévaluer ou inverser une décision prise”. La récupérabilité désigne “ la capacité à récupérer des déchets après leur mise en place dans un stockage”.



Réversibilité des décisions selon le Rapport au Roi et l’Arrêté Royal.

“La réversibilité du processus décisionnel est une nécessité compte tenu de la longueur des échelles de temps”, poursuit Frédéric Bernier. “L’exercice effectif de la réversibilité peut conduire à réévaluer, modifier ou annuler une décision prise au cours de la mise en œuvre progressive d’un système de stockage (voir figure). Mais ces décisions doivent garantir à tout moment que la sûreté reste la priorité première, non seulement pour les personnes qui vivent à proximité d’un site de stockage, mais aussi pour les travailleurs, les groupes vulnérables et la société dans son ensemble. Il est clair que ces décisions doivent être prises en toute transparence.”

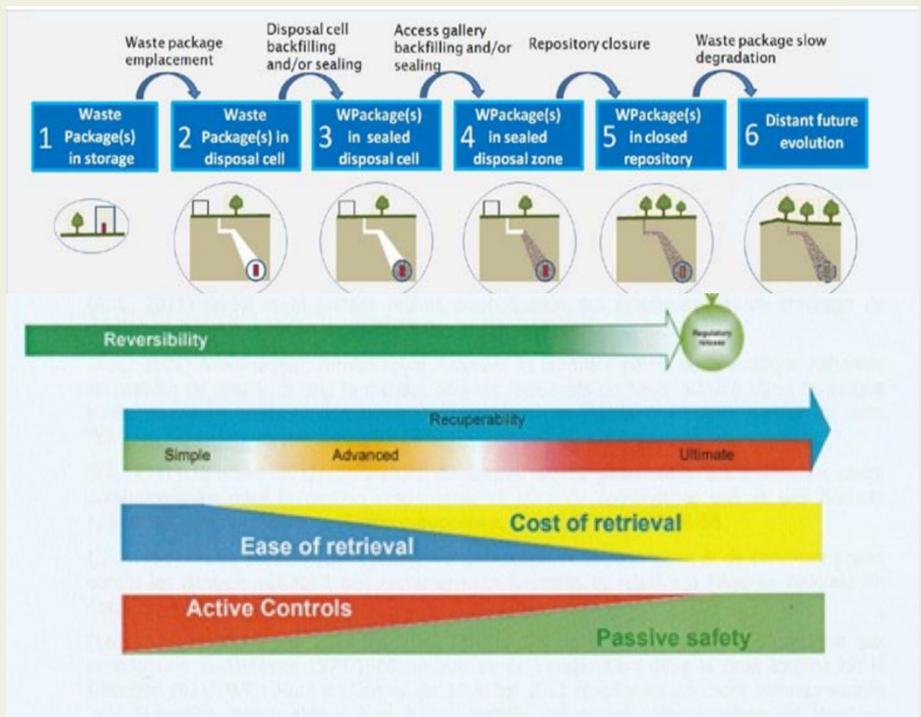
Il convient aussi de noter que les raisons pour revenir sur des décisions antérieures peuvent être de différentes natures : politiques, sociétales, économiques, techniques, environnementales ou liées à la sûreté, et qu’elles doivent être dûment justifiées. Le potentiel de réversibilité diminue avec l’avancement de la mise en œuvre du stockage : plus le processus est avancé, moins il sera facile de revenir en arrière.

## Récupérabilité de combustible nucléaire usé et/ou d'autres déchets radioactifs

La récupération effective des déchets peut être conditionnée par des impératifs de sûreté ou être motivée par des raisons économiques et sociétales et elle est soumise au principe d'optimisation de la protection. Dans une note de convergence, l'AFCE et l'ONDRAF font la distinction entre la récupérabilité simple, avancée et ultime.

La description qui suit de ces types de récupérabilité porte essentiellement sur le stockage en galeries.

- La **récupérabilité simple** vise à récupérer des déchets dans les sections de tunnels de l'installation de stockage qui n'ont pas encore été remblayées. Elle nécessite des équipements et des opérations identiques ou comparables à ceux utilisés pour la mise en place des déchets. La période pendant laquelle la récupération simple peut être pratiquée commence avec l'enfouissement des colis et prend typiquement fin avec le début des opérations de remblayage des galeries de stockage. Intrinsèquement, ce concept ne s'applique qu'à la phase opérationnelle (voir figure).
- La **récupérabilité avancée** consiste à récupérer des colis dans des tunnels de stockage partiellement ou entièrement remblayés et scellés. Elle exige des procédés et des équipements différents de ceux utilisés pour le stockage (nécessité d'enlever le remblai et/ou le scellement). La récupérabilité avancée s'achève lorsque commence le remblayage des voies d'accès (galeries ou puits).



**Figure 1 :** Représentation synoptique des principales considérations attachées aux concepts de réversibilité et récupérabilité, superposées aux étapes de la vie d'un stockage géologique de déchets radioactifs

a) extension temporelle des notions de réversibilité et récupérabilité des déchets

b) la facilité de récupération des déchets évolue au fil du temps de façon inversement proportionnelle au coût de celle-ci

c) les mesures actives de contrôle d'installation de stockage diminuent au fil du temps et disparaissent à la levée du contrôle réglementaire. Les mesures actives sont progressivement remplacées par les mesures passives de sûreté, seules pérennes au-delà de la levée du contrôle réglementaire.

(Source: adapted from NEA, 2012b)

Source : Note de convergence.

- La **récupérabilité ultime** désigne la récupération de colis de déchets après que le remblayage des tunnels d'accès et/ou des puits a commencé. Elle concerne notamment la période après le début de la fermeture du stockage. La récupération ultime des déchets, après la fermeture technique du stockage, se rapproche de l'exploitation minière.

Plus la récupération ultime est envisagée dans un avenir lointain, plus le risque de perte d'intégrité du colis de déchet est grand. Selon la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980, les opérations de réouverture de l'installation de stockage et, le cas échéant, de récupération des déchets radioactifs ou du combustible usé doivent faire l'objet d'une nouvelle autorisation.

“La possibilité de récupérer des déchets au-delà de la phase de contrôle pourrait être une décision pour des générations dans un avenir assez lointain”, explique Frédéric Bernier, “et devrait donc être laissée à leur appréciation. Ce n'est pas aux générations actuelles d'imaginer les raisons qui pourraient présider à l'exercice de la récupération des déchets.”

### **Le monitoring du stockage en profondeur**

“Le monitoring est un enjeu à la fois de sûreté et de société. Du point de vue de la sûreté, un monitoring n'est plus nécessaire après l'abrogation de l'autorisation, parce que la sûreté repose uniquement sur des moyens passifs (l'intervention humaine n'est plus requise)”, indique Frédéric Bernier. “Cependant, les générations futures pourraient décider de poursuivre le monitoring après la délivrance du permis. L'AFCN n'est pas opposé à un tel monitoring pour autant qu'il ne soit pas intrusif au système de stockage.” Le monitoring a pour but de confirmer les différentes hypothèses émises dans le dossier de sûreté au moment de l'octroi du permis. Le système de monitoring du stockage doit être conçu de manière à ce que cet objectif soit atteint”.

---

*La sûreté reste la priorité première, non seulement pour les personnes qui vivent à proximité d'un site de stockage, mais aussi pour les travailleurs, les groupes vulnérables et la société dans son ensemble.*

---

Différents systèmes de monitoring peuvent être mis en place. Certains pays envisagent d'installer des capteurs autour des déchets dans les galeries de stockage. D'autres ont l'intention de limiter le monitoring à des galeries témoin. Il appartient à l'opérateur de concevoir le système de monitoring, mais le régulateur en contrôlera la conception et les fonctionnalités. L'objectif de tout instrument de monitoring doit être clairement identifié dans le dossier de sûreté, ainsi que la période pendant laquelle les paramètres doivent être mesurés. Des plans en cas de défaillance ou d'écart par rapport aux valeurs attendues seront également élaborés à l'avance.

### **Des technologies de recyclage avancées**

L'Étude d'incidence sur l'environnement exige de comparer les solutions de gestion des déchets radioactifs et du combustible nucléaire usé. Pour ce qui est de ce dernier, une autre piste souvent évoquée consiste à le considérer comme une ressource, c'est-à-dire à en extraire l'uranium et le plutonium restants (ce qu'on appelle le retraitement) et à les réutiliser dans des centrales nucléaires. Comme quelques pour cent seulement de l'uranium initial (et dans certains cas du plutonium) sont effectivement utilisés dans les centrales nucléaires actuelles, une grande partie pourrait être réutilisée.

L’AFCN a analysé différentes techniques de retraitement et de réutilisation (ce qu’on appelle les cycles du combustible), tant du point de vue de la sûreté, de la sécurité et des garanties nucléaires des diverses installations nécessaires que de leur impact potentiel sur les besoins de stockage en profondeur.

“Les types avancés de retraitement et de réutilisation des matières récupérées permettent potentiellement une réduction importante du volume d’un groupe spécifique d’éléments radioactifs à stocker, appelés actinides (uranium, plutonium, américium, neptunium, ...). L’élimination de ces éléments dans les déchets restants n’est pas complète, mais la radiotoxicité intrinsèque de ces déchets sera réduite. En cas de stockage en profondeur, cela ne réduit l’exposition des êtres humains qu’en cas d’intrusion directe, par exemple lors d’un carottage. Une personne peut alors être directement exposée aux actinides contenus dans les déchets par inhalation et ingestion de particules de déchets. Mais ces actinides ne sont généralement pas responsables de l’exposition à long terme de la population et de l’environnement : ils sont en effet piégés et ils ne se déplacent pas dans le système de stockage grâce, par exemple, à leur faible solubilité et à leur forte sorption dans un environnement argileux.

Les produits de fission, présents dans les déchets dans tous les cas de figures, sont considérés comme les principaux contributeurs à l’exposition à long terme de la population et de l’environnement dans le cadre de l’évolution « attendue » de l’installation de stockage.

Le retraitement affecte les volumes de déchets et leur forme finale (déchets vitrifiés ou élimination directe sous forme d’assemblages de combustible usé) et peut donc offrir des possibilités supplémentaires d’optimisation de la conception et du coût du stockage. De plus, les déchets de haute radioactivité et de longue durée de vie autres que le combustible usé ne sont pas concernés par ces technologies de retraitement”, dit Kevin Govers, auteur de l’étude.

“La comparaison doit être effectuée sur tout le cycle du combustible, au-delà de la seule sûreté à long terme du système de stockage, prendre en compte la dimension sociétale et mettre en balance les préoccupations techniques (sûreté, sûreté et protections) et non techniques (sociétales et éthiques)”, ajoute Kevin Govers.

---

*Nous concluons également qu’aucune des options alternatives ou complémentaires que nous avons étudiées ne permettrait de se passer d’une installation de stockage en profondeur.*

---

Parmi les éléments à prendre en compte figurent les risques de prolifération et de détournement des matières fissiles telles que le plutonium, les risques liés à la sûreté nucléaire, l’utilisation des ressources naturelles et l’impact sur l’environnement, la sûreté opérationnelle, la sûreté à long terme, les préoccupations sociétales, éthiques et philosophiques, concernant notamment le poids imposé aux générations futures et la liberté qui leur est laissée de faire leurs propres choix en matière de politique énergétique et de gestion des déchets.

“Notre analyse indique que le plus grand avantage du retraitement consiste à épargner des ressources naturelles alors que le principal inconvénient concerne les périodes pendant lesquelles ces technologies devraient fonctionner avant qu’un gain substantiel de radiotoxicité des déchets ne soit observé. Considérant des cycles de retraitement d’une dizaine d’années, on parle de plusieurs décennies, dans l’état actuel des connaissances, pour une réduction significative des actinides ; toutefois, la recherche actuelle vise à réduire ces durées. Il faudrait assurer la continuité des opérations sur des périodes aussi longues non seulement pour garantir un gain net, mais aussi pour éviter de se retrouver avec des déchets ou des combustibles à forte teneur en actinides qui seront plus difficiles à gérer. Ceci devra être réévalué en fonction des avancées techniques qui permettraient de raccourcir les cycles de retraitement (utilisation plus poussée du combustible en réacteur, séparation par procédés pyrochimiques permettant des périodes de refroidissement plus courtes, ...). Mais, en tous cas, nous concluons également qu’aucune des options étudiées ne permettrait de se passer d’une installation de stockage en profondeur”.

En savoir plus :

- AFCN/FANC, Qu’est-ce qu’un déchet radioactif ?, <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/quest-ce-quun-dechet-radioactif>
- AFCN/FANC, Stockage en profondeur des déchets radioactifs, <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/dechets-radioactifs/gestion-des-dechets-radioactifs/stockage/stockage-en-profondeur-des>
- Govers K., FANC/AFCN, Alternatives to the direct disposal of spent fuel in a geological disposal facility: routes derived from spent fuel reprocessing, <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2022-09-19-kgov-en-alternatives-direct-disposal-spent-fuel.pdf>