

COMPRÉHENSION INTERNATIONALE DES NOTIONS DE RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS ET RÉCUPÉRABILITÉ DES DÉCHETS DANS UN STOCKAGE GÉOLOGIQUE



Plusieurs pays dans le monde mènent des travaux de recherche, développement et démonstration sur le stockage définitif de déchets radioactifs à vie longue en formation géologique profonde, comme solution de référence pour protéger les générations actuelles et futures ainsi que l'environnement. Dans plusieurs d'entre eux, la mise en œuvre effective d'un stockage géologique est prévue d'ici quelques années seulement. Certains pays considèrent également l'intégration des concepts de réversibilité et de récupérabilité dans leurs programmes de stockage, ainsi que les modalités de cette intégration. La réversibilité implique un programme par étapes, chacune laissant des options ouvertes ; elle offre en outre la possibilité de gérer le stockage avec flexibilité au cours du temps. La récupérabilité consiste à inverser l'étape de mise en stockage des déchets. On considère généralement qu'il est important pour chaque pays de préciser le sens et le rôle de la réversibilité et de la récupérabilité dans ses programmes et de rappeler que la sûreté à long terme est primordiale. Ce dépliant résume la compréhension actuelle développée dans le cadre du projet international de l'AEN en matière de réversibilité et récupérabilité (<http://www.oecd-nea.org/rwm/rr>). Il présente également une Echelle de Récupérabilité générique qui peut s'adapter à la plupart des programmes des pays concernés et peut aider au dialogue avec les parties prenantes.



Objectif et phases de vie du stockage

Le stockage géologique est destiné à protéger la population et l'environnement de tout danger que pourraient représenter les déchets radioactifs dans le temps. Une fois les déchets mis en place dans le stockage, il n'y a pas d'intention de les récupérer. A terme, la sûreté doit être assurée grâce aux barrières artificielles et aux formations géologiques hôtes qui remplissent des fonctions complémentaires ; le stockage devra être fermé selon un programme préalablement accepté. Ainsi, seuls des colis de déchets ultimes pourront être mis en place dans le stockage. L'entreposage des déchets n'est pas, dans ce contexte, une alternative au stockage mais plutôt une étape dans la stratégie de gestion qui conduit au stockage définitif.

Le stockage géologique se déroule en trois phases principales (Fig. 1) dont la durée respective peut varier selon les programmes nationaux en fonction du concept du stockage et de l'approche que chaque pays adopte pour ses prises de décision :

La **phase de pré-exploitation** consiste à concevoir le stockage, à choisir et à caractériser le site, à tester les matériaux, à démontrer les solutions d'ingénierie et à préparer les demandes d'autorisations pour la construction et l'exploitation, puis, après leur obtention à engager la construction du stockage. Un état de référence de l'environnement est également établi.

La **phase d'exploitation** peut être scindée en trois périodes :

(a) La *période de mise en place* des colis de déchets dans l'installation de stockage. Les conditions d'environnement sont suivies

en permanence et comparées aux données de l'état de référence. Les activités de recherche et développement se poursuivent ; l'autorité de sûreté procède à des inspections régulières de sûreté opérationnelle et à des revues de l'analyse de sûreté à long terme. De nouvelles galeries souterraines peuvent être creusées et d'autres partiellement remblayées et/ou scellées, tout comme certaines zones du stockage.

(b) La *période d'observation* : une fois que tous les colis de déchets ont été mis en place, il peut être décidé de surveiller certaines zones du stockage et de maintenir une certaine accessibilité à une partie des déchets pour procéder à des évaluations de performances complémentaires.

(c) La *période de fermeture* : le remblayage et le scellement sont réalisés selon la conception prédéfinie et l'accès depuis la surface aux installations souterraines est fermé. Les installations de surface peuvent être démantelées.

La **phase de post-exploitation** peut être divisée en deux périodes :

(a) Une *période de surveillance indirecte* : à l'issue de la fermeture, la sûreté est assurée grâce aux dispositions intrinsèques, passives du stockage, prévues par conception. Il est cependant possible de prévoir un suivi continu des conditions d'environnement ainsi qu'une surveillance à distance des installations souterraines. Les contrôles liés aux garanties nucléaires internationales continuent de s'appliquer. Les archives sur les données techniques et sur la configuration des colis de

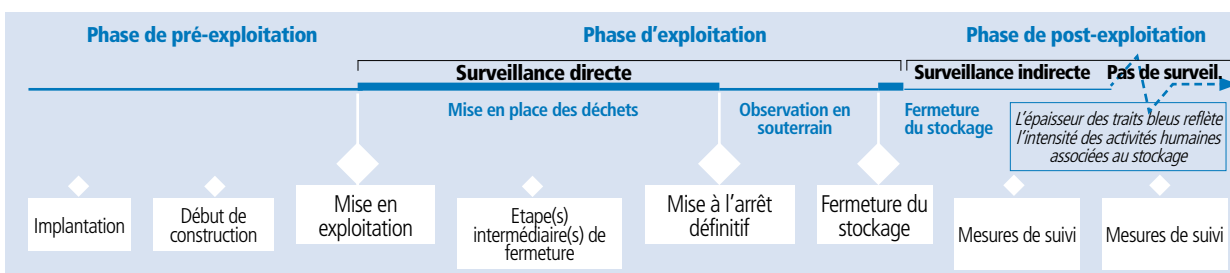


Figure 1: Phases du cycle de vie du stockage et exemples de points de décision importants.

Pour de plus amples informations, consulter le site web www.oecd-nea.org/rwm/rr

déchets et du stockage sont conservées, tout comme les marqueurs physiques permettant aux générations futures de se souvenir de leur existence.

(b) Une *période sans surveillance* : après des centaines, voire

des milliers d'années, on peut s'attendre à ce que cette mémoire et ce suivi se perdent, progressivement ou suite à des événements majeurs imprévisibles tels une guerre ou la perte des archives.

Réversibilité, récupérabilité : de quoi s'agit-il ?

La **réversibilité** se réfère au processus de décision au cours du projet : elle implique que le processus de mise en œuvre et les technologies soient suffisamment flexibles pour pouvoir, si nécessaire, à tout moment au cours du programme, inverser ou modifier, sans effort démesuré, une ou plusieurs décisions prises antérieurement. Par exemple, une décision de remblayage partiel peut être prise en sachant qu'il pourra être envisagé de revenir en arrière. Chaque autorisation importante concernant le stockage (Fig. 1) peut être considérée comme une évaluation de la pertinence de la poursuite du processus comme prévu initialement ou de la mise en œuvre d'autres options permises par la réversibilité (Fig. 2). La réversibilité implique une volonté de réinterroger les décisions antérieures, et une culture qui encourage cette attitude de questionnement. Elle suppose aussi un certain degré de récupérabilité des déchets.

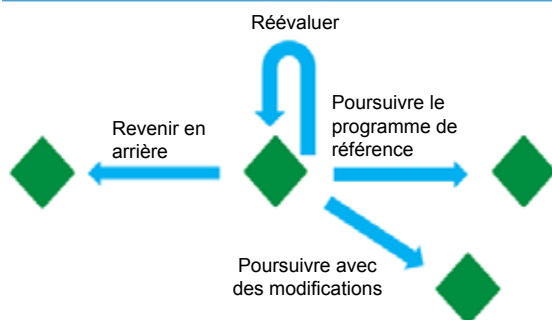


Figure 2: Options possibles liées à un jalon décisionnel, y compris un retour en arrière.

La **récupérabilité** désigne la capacité à récupérer les déchets, seuls ou sous forme de colis de déchets. La récupérabilité est une propriété intrinsèque au concept d'entreposage. En revanche, elle n'est pas requise pour la sûreté à long terme du concept de stockage. Les déchets ne devraient jamais être mis en place dans un stockage si l'analyse de sûreté à long terme n'est pas suffisamment robuste sans compter sur la récupérabilité. La récupérabilité peut cependant contribuer à accroître la confiance dans la sûreté. Elle peut aussi être envisagée pour d'autres raisons que la sûreté. Les dispositions en matière de récupérabilité peuvent aussi fournir une plus grande flexibilité au cours de l'exploitation du stockage. Même si le colis est dégradé, les déchets peuvent toujours être repris en mettant en œuvre des techniques adaptées. Si des radionucléides initialement contenus dans les déchets ont migré hors de l'emplacement initial de stockage, la récupération pourrait nécessiter le recours à des techniques minières analogues à

celles utilisées pour l'extraction de minerais.

La récupération de déchets peut être envisagée pour d'autres raisons que la sûreté, par exemple si ces déchets deviennent un jour considérés comme une ressource. L'analyse de sûreté d'un stockage devra cependant toujours reposer sur des considérations de sûreté passive et ne devra donc pas dépendre d'une possible récupération.

Durant la phase d'exploitation, la réversibilité et la récupérabilité traduisent l'application d'une démarche de précaution au stockage des déchets. Pour chaque phase de vie d'un stockage géologique la récupérabilité des déchets est facilitée par le fait même du confinement (non-dispersion) en installation souterraine. Dans le futur lointain, les déchets pourront toujours être repris, mais les coûts et les efforts nécessaires deviendront de plus en plus importants à mesure que le temps passe. La capacité à récupérer est donc plus une question de degré d'effort à consentir que de possibilité ou non de le faire. La recherche et le développement peuvent contribuer à réduire la difficulté de récupération (Fig. 3).

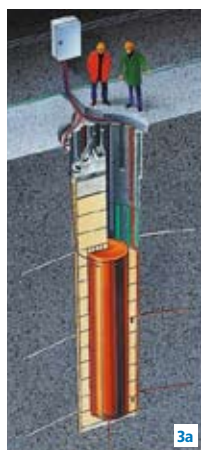


Fig. 3a & 3b: Essai de dépôt des anneaux de bentonite en vue de la récupération de colis de déchets en Suède (Åspö HRL, 2006)

Fig. 3c: Récupération de colis de déchets HA depuis un modèle d'alvéole de stockage en France (programme ES-DRED, 2008)



Une échelle de récupérabilité pour dialoguer avec les parties prenantes

Garder la possibilité de récupérer facilement les déchets stockés est l'une des préoccupations majeures des parties prenantes concernées par le stockage géologique de déchets radioactifs. La facilité de récupération va dépendre du degré

d'accessibilité aux déchets au cours des différentes phases de vie du stockage. Une échelle générique de récupérabilité a été mise au point pour illustrer qualitativement le type et le degré d'effort à déployer pour récupérer les déchets en fonction →

des étapes de leur cycle de vie, avant et après leur mise en place dans le stockage (voir Tableau I et Fig. 4). Cette échelle montre également la relation entre d'une part l'effort néces-

saire à la récupération des déchets et d'autre part le poids du contrôle actif dans la sûreté du stockage. Plus la récupération est complexe, plus les coûts associés sont élevés.

Étapes du cycle de vie des déchets et récupérabilité : description textuelle

Le cycle de vie des colis¹ de déchets peut se diviser en 6 étapes qui sont présentées dans le Tableau I. Le tableau identifie également pour chaque étape les principaux éléments de sûreté passive et de contrôle actif, ainsi que le niveau et la facilité de récupération. L'Étape 1 concerne l'entreposage des colis de déchets en surface. À l'Étape 2, les déchets ont été transférés du lieu d'entreposage vers l'installation de stockage, à quelques centaines de mètres de profondeur, ce qui peut nécessiter leur reconditionnement. À l'Étape 3, des barrières de protection supplémentaires sont installées autour des déchets dans les alvéoles de stockage : le remblayage (généralement pour s'opposer aux déformations de la roche) et/ou le scellement (pour limiter la circulation d'eau et de gaz). Les galeries d'accès aux alvéoles nécessitent encore un entretien actif, notamment pour la ventilation. Ces galeries seront remblayées et/ou scellées à l'Étape 4, qui peut correspondre à la fermeture de la zone de stockage dans laquelle se situe la

galerie, voire à la fermeture de toute l'installation souterraine. À ce stade, l'entretien de la zone de stockage (ou de l'ensemble de l'installation souterraine) n'est plus nécessaire mais l'installation peut toujours être surveillée à distance. Au cours de l'Étape 5, le stockage est fermé : l'accès depuis la surface est scellé et les installations de surface ont été démantelées. L'Étape 6 désigne l'état final du stockage. Même si l'intégrité des colis de déchets ne peut plus être garantie, les déchets sont toujours confinés à l'intérieur de l'installation. À ce stade, le niveau de radioactivité a diminué de manière significative. La sûreté ne dépend plus d'une maintenance ou d'un suivi. Les mesures visant à garantir la conservation des connaissances et de la mémoire du site peuvent continuer.

¹Le colis peut se présenter sous forme de fût en acier, de conteneur en béton, d'un colis primaire en acier à l'intérieur d'un conteneur en acier ou en béton, etc..

Table I: Étapes du cycle de vie des déchets, facilité de récupération et éléments spécifiques de sûreté passive et de contrôle actif

Étape et emplacement des déchets*	Facilité de récupération	Dispositions spécifiques de sûreté passive	Dispositions spécifiques de contrôle actif
1 Colis de déchets en entreposage	La récupérabilité des colis de déchets fait partie intégrante de la conception.	Déchets conditionnés et leur conteneur d'entreposage.	Gestion active de l'installation d'entreposage avec une zone de sécurité contrôlée.
2 Colis de déchets en alvéole de stockage**	Les colis de déchets sont récupérables en inversant la mise en place des colis.	Déchets conditionnés et leur conteneur de stockage. Plusieurs centaines de mètres de roche. Alvéole de stockage ouvragé.	Gestion active (y compris surveillance) des alvéoles et de l'installation de stockage. Zone de sécurité contrôlée.
3 Colis de déchets en alvéole de stockage obturé	Les colis de déchets sont récupérables après des travaux souterrains de préparation.	Comme l'étape précédente, plus remblayage/scellement des alvéoles de stockage.	La surveillance des alvéoles de stockage est possible. Gestion active des voies d'accès aux scellements des alvéoles de stockage. Zone de sécurité contrôlée.
4 Colis de déchets dans une zone de stockage scellée	Les colis de déchets sont récupérables après re-excavation de galeries.	Comme l'étape précédente, plus remblayage/scellement des galeries d'accès à ces alvéoles de stockage.	La surveillance des alvéoles de stockage est possible. Zone de sécurité contrôlée. Mémoire détaillée et contrôles institutionnels, y compris les garanties nucléaires internationales, sur une période spécifiée.
5 Colis de déchets dans le stockage fermé	Les colis de déchets sont récupérables après creusement de nouveaux accès depuis la surface. Des installations en support à ces opérations peuvent être nécessaires.	Comme pour le stade précédent, plus scellement de tous les puits et galeries d'accès pour garantir le confinement à long terme des déchets à l'intérieur de l'installation souterraine.	Conservation de la mémoire. Activités de surveillance régulières aussi longtemps que possible (suivi de l'environnement, suivi possible à distance, contrôles de sécurité et garanties nucléaires internationales).
6 Evolution à très long terme	Le colis se dégrade au cours du temps. À terme, les déchets ne sont récupérables que par des techniques minières.	Barrières géologiques et ouvragées. Diminution du niveau de radioactivité.	Dispositions spécifiques de conservation de la mémoire à long terme (marqueurs sur site par exemple).

* Au cours de la phase d'exploitation, les différents colis de déchets présents dans l'installation ne seront pas tous à la même étape du cycle de vie.

** Selon le programme national et le type de déchets considérés, le lieu d'emplacement des colis peut être désigné sous différents termes (alvéole, chambre, etc.). Le terme « alvéole » est utilisé ici de manière générique.

Etapes du cycle de vie des déchets et récupérabilité : description graphique

La Figure 4 illustre le rapport entre récupérabilité et sûreté passive au cours du cycle de vie des déchets radioactifs. C'est une représentation générique qui peut s'appliquer à différents programmes nationaux.

La durée des étapes du cycle de vie des déchets et la durée des phases du stockage dépendront des décisions prises par cha-

que pays. Pour chaque point de décision au cours de la phase de mise en œuvre, qui peut durer plus de 100 ans, différents facteurs seront pris en compte, notamment : la facilité de récupération des colis de déchets, la nécessité d'un contrôle actif, les évolutions affectant la sûreté à long terme et les coûts en matière d'économie, d'expositions aux doses, de dangers, etc.

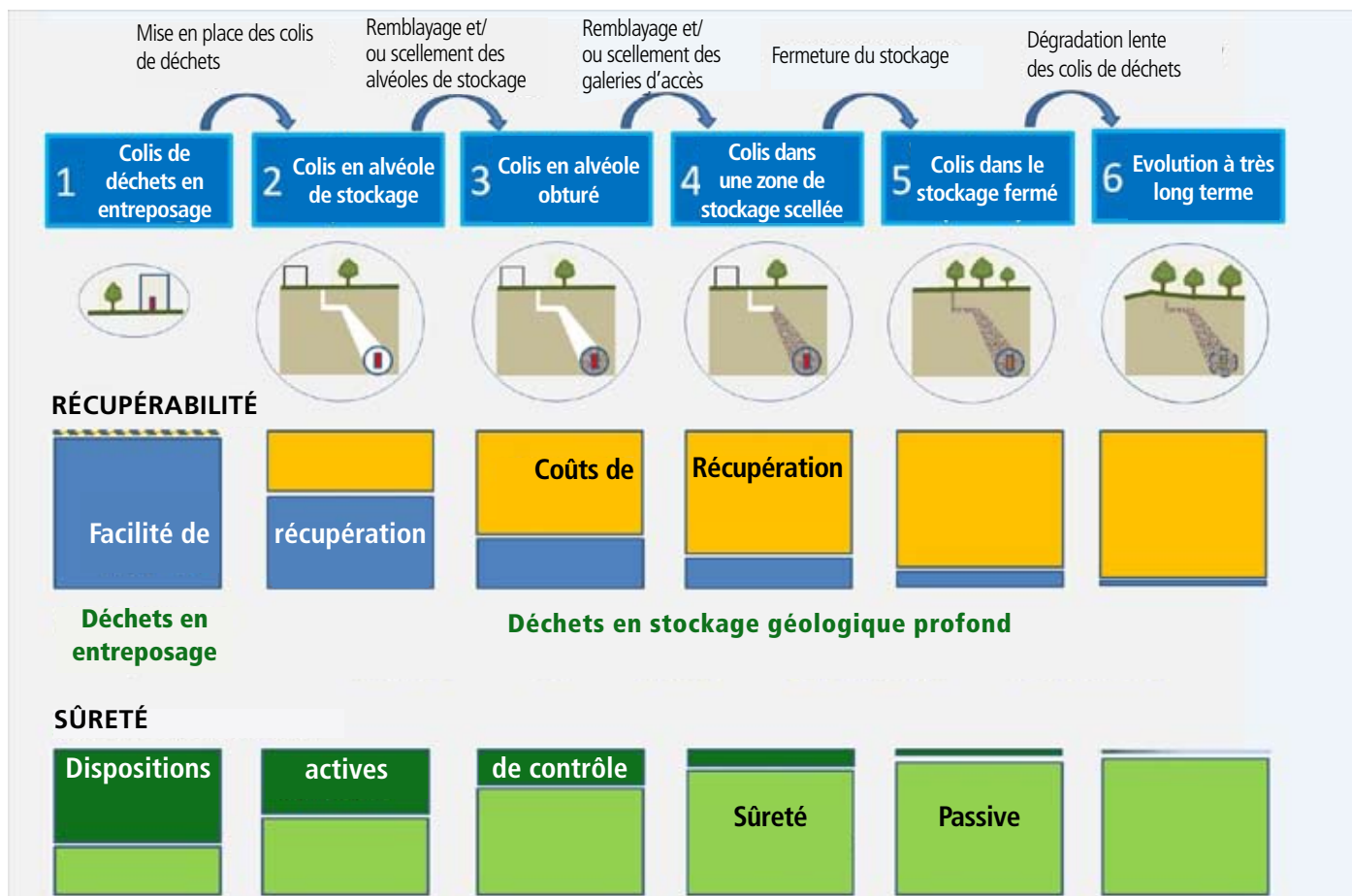


Figure 4 : Les étapes du cycle de vie des déchets illustrant l'évolution du degré de récupérabilité, de sûreté passive et des dispositions actives de contrôle dans un stockage géologique profond. Au cours de la phase d'exploitation, les différents colis de déchets présents dans l'installation ne seront pas tous à la même étape du cycle de vie.

Note : Les proportions relatives des rectangles illustrés peuvent varier selon la conception du stockage.

LA RÉVERSIBILITÉ ET LA RÉCUPÉRABILITÉ, QUI S'APPLIQUENT AU COURS DE LA PHASE D'EXPLOITATION D'UN STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE DÉCHETS RADIOACTIFS A VIE LONGUE, TRADUISENT L'APPLICATION D'UNE DÉMARCHÉ DE PRÉCAUTION ET DE FLEXIBILITÉ AU STOCKAGE DE DÉCHETS. LA RÉCUPÉRABILITÉ EST DONC PLUS UNE QUESTION DE DEGRÉ DE FACILITÉ À REPRENDRE LES DÉCHETS QUE DE POSSIBILITÉ OU NON DE LE FAIRE. MÊME SI LE CONCEPT DE SÛRETÉ À LONG TERME DU STOCKAGE NE REPOSE PAS SUR LA RÉCUPÉRABILITÉ, LES DÉCHETS PEUVENT TOUJOURS ÊTRE REPRIS, AVEC LE CAS ÉCHÉANT DES MOYENS IMPORTANTS EN TERMES DE COÛTS ET D'EFFORTS. LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT PEUVENT CONTRIBUER À RÉDUIRE LA DIFFICULTÉ DE RÉCUPÉRATION.