

STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT (SEA) POUR LE PLAN DÉCHETS DE L'ONDRAF

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Maître de l'ouvrage : ONDRAF
Numéro du document : 5249-507-082
Version : 02
Date : 2/06/2010

INFORMATION SUR LE DOCUMENT

Titre	Strategic Environmental Assessment (SEA) pour le Plan Déchets de l'ONDRAF
Sous-titre	Résumé non technique
Titre abrégé	SEA Plan Déchets ONDRAF – résumé non technique
Maître de l'ouvrage	ONDRAF
Numéro du document	5249-507-082

HISTOIRE DU DOCUMENT (LA RANGÉE SUPÉRIEURE EST LA VERSION ACTUELLE)

Version	Date	Remarques
02	2/06/2010	Version définitive
01	19/05/2010	

RESPONSABILITE DU DOCUMENT

Auteur(s)	Elisabeth Kuijken	Date 2/06/2010
Screeners(s)	Koen Couderé	Date 2/06/2010

INFORMATION SUR LE FICHER

Nom du fichier	P:\PROJECTEN\80-5249 SEA AFVALPLAN NIRAS\5-OUTPUT\50-WERKDOCUMENTEN\507 - NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING\VERTALINGEN\FRANS\5249-507-082-02 SEA PLAN DÉCHETS - RÉSUMÉ NON TECHNIQUE.DOCX
Date de réalisation	27/05/2010
Dernière mémorisation	01/06/2010
Date d'impression	01/06/2010

TABLE DES MATIÈRES

0	Préface.....	v
1.	Le SEA et le Plan Déchets	1
1.1	Qui est l'ONDRAF ?	1
1.2	De quels déchets radioactifs s'agit-il ?	1
1.3	Quel est l'objet du Plan Déchets ?	2
1.4	Pourquoi un SEA pour le Plan Déchets ?	2
1.5	Quelles sont les possibilités de consultation ?	3
2.	Méthodologie.....	4
2.1	Le cadre d'évaluation	4
2.2	Le processus : une approche par étapes	5
2.3	La marche à suivre.....	6
2.3.1	Impacts radiologiques.....	6
2.3.2	Pas de délimitation territoriale.....	6
2.3.3	Robustesse	7
2.3.4	Une évaluation qualitative soutenue par une large base de connaissances internationale.....	8
3.	Options de gestion.....	9
3.1	Options de gestion à vocation définitive.....	9
3.1.1	Gestion active.....	9
3.1.2	Gestion passive.....	9
3.1.2.1	Dépôt géologique	9
3.1.2.2	Mise en forages profonds.....	11
3.2	Options de gestion non définitives	13
3.2.1	Entreposage de longue durée dans la perspective du choix ultérieur d'une option de gestion à vocation définitive	13
3.2.2	Entreposage dans l'attente de l'application industrielle de technologies nucléaires avancées.....	13
3.3	Option du statu quo	14
4.	Description et évaluation des incidences	16
4.1	Impact sur la nature.....	16
4.1.1	Incidences physiques	16
4.1.2	Incidences radiologiques	17
4.1.3	Incidences des composés chimiques toxiques	17
4.2	Impact sur le paysage, le patrimoine architectural et l'archéologie	18
4.3	Impact sur les ressources naturelles.....	18

4.3.1	Sol.....	18
4.3.2	Eau	19
4.4	Impact sur la santé humaine.....	20
4.4.1	Air	20
4.4.2	Bruit	21
4.4.3	Incidences radiologiques	21
4.4.4	Intégration des incidences sur la santé humaine	22
4.5	Aspects sociétaux	23
4.6	Aspects financiers et économiques.....	24
4.7	Aspects éthiques.....	24
4.8	Sécurité et safeguards.....	26
5.	Robustesse des options de gestion.....	28
5.1	Robustesse par rapport aux évolutions naturelles.....	28
5.2	Robustesse par rapport aux modifications de la stabilité physique et technique intrinsèque	29
5.3	Robustesse par rapport aux événements externes non naturels	30
5.4	Robustesse sociétale	31
6.	Conclusion	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Classification schématique des déchets radioactifs conditionnés	1
Figure 2 :	Les quatre dimensions de la gestion à long terme des déchets radioactifs.....	2
Figure 3 :	Objectif, aspects et sous-aspects pour le court terme	4
Figure 4 :	Objectif, aspects et sous-aspects pour le long terme	5
Figure 5 :	Approche par étapes pour l'évaluation des incidences sur l'environnement d'une option pour la gestion à long terme des déchets des catégories B et C	6
Figure 6 :	L'architecture de référence pour le dépôt géologique.....	10
Figure 7 :	Concept pour une mise en forages profonds.....	12
Figure 8 :	Bâtiment B136 pour l'entreposage des déchets des catégories B et C	15

0 **PRÉFACE**

Le présent document est le résumé non technique du Strategic Environmental Assessment (SEA) pour le Plan Déchets de l'ONDRAF, qui fait une proposition concernant la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie en Belgique.

Selon la Loi du 13 février 2006, le Plan Déchets doit faire l'objet d'une étude d'incidences sur l'environnement. Ce SEA décrit et évalue les incidences du Plan Déchets sur l'environnement dans un sens large et est, par conséquent, une réponse à cette obligation.

Aide à la lecture

Le **chapitre 1** décrit les objectifs du Plan Déchets et explique à quels déchets radioactifs il s'applique. On y retrouve les raisons pour lesquelles le SEA a été rédigé, ainsi que des informations sur les possibilités de consultation.

La gestion à long terme des déchets radioactifs est un sujet atypique pour une étude d'incidences sur l'environnement. Le **chapitre 2** décrit les particularités méthodologiques qui en découlent.

Dans le **chapitre 3**, les différentes options de gestion possibles pour les déchets de haute activité et/ou de longue durée sont décrites.

Dans le **chapitre 4**, les incidences des différentes options de gestion sont décrites et évaluées. Il s'agit des incidences sur l'environnement selon la Loi du 13 février 2006, mais les aspects sociétaux, économiques et éthiques et l'aspect sécurité et safeguards (non-prolifération des matières nucléaires) sont également abordés.

Le **chapitre 5** contient une évaluation de la robustesse des options de gestion, c.-à-d. dans quelles mesures celles-ci peuvent résister à des changements à court et à long terme.

Dans le **chapitre 6**, enfin, on tire des conclusions du SEA.

Pour plus d'informations, nous vous renvoyons au **SEA**.

Le SEA s'appuie sur une base de connaissances nationale et internationale étendue. Une liste de la littérature consultée est donnée dans le **SEA**.

Note

Les versions originales du SEA ainsi que du résumé non technique ont été écrites en néerlandais. Ces documents sont disponibles en néerlandais, en français et en allemand.

1. LE SEA ET LE PLAN DÉCHETS

1.1 Qui est l'ONDRAF ?

L'ONDRAF est l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des matières Fissiles enrichies. Cet organisme public se charge entre autres de la gestion à long terme des déchets radioactifs. L'ONDRAF est également l'initiateur du Plan Déchets.

1.2 De quels déchets radioactifs s'agit-il ?

Les déchets radioactifs proviennent de différents secteurs, notamment des centrales nucléaires, des entreprises de fabrication de combustible nucléaire, des installations pour le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs, des organismes de recherche et des hôpitaux. Les déchets radioactifs conditionnés sont des déchets dont on a réduit le volume (si possible) et qui sont immobilisés, par exemple dans du ciment, du verre ou du bitume. Parmi ces déchets conditionnés, on fait une distinction entre les catégories A, B et C (voir schéma ci-dessous). La répartition se fait selon l'activité et la demi-vie. L'activité est liée au risque de dommage sur la santé par rayonnement radioactif. La demi-vie d'un radionucléide est le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs présents se désintègrent, et donne une indication du temps pendant lequel les déchets représentent un danger pour l'homme et l'environnement. En outre, les déchets de catégorie C émettent de la chaleur.

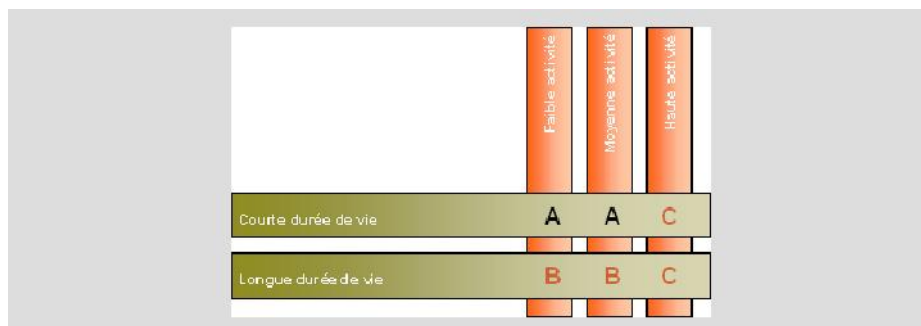


Figure 1 : Classification schématique des déchets radioactifs conditionnés

Le volume de déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie dépend de plusieurs facteurs (voir chapitre 2 du SEA)

- La reprise ou non du retraitement du combustible irradié. En Belgique, il y a actuellement un moratoire sur le retraitement du combustible irradié. Dans le cas d'une reprise du retraitement, le volume total est estimé à 11.100 m³ de déchets de catégorie B et 600 m³ de déchets de catégorie C. En cas d'arrêt du retraitement, les volumes seront de 10.430 m³ de déchets de catégorie B et 4.500 m³ de déchets de catégorie C.
- En outre, une prolongation éventuelle de la durée de vie des trois réacteurs nucléaires les plus anciens (Doel 1 et 2 et Tihange 1) aurait également une influence sur le volume de déchets des catégories B et C.
- Le volume de déchets de catégorie B pourrait changer par le transfert éventuel des déchets UMTRAP d'Umicore à l'ONDRAF.

- Les critères d'acceptation pour le dépôt en surface de déchets de catégorie A à Dessel peuvent conduire à un transfert d'une certaine quantité de déchets de la catégorie A vers la catégorie B (ou vice versa).

1.3 Quel est l'objet du Plan Déchets ?

En Belgique, la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie (c'est-à-dire les déchets des catégories B et C) se trouve encore actuellement au stade de la recherche et du développement avancé ; le gouvernement n'a pas encore pris de décision sur la manière dont la gestion à long terme de ces déchets doit s'effectuer. En attendant, les déchets en question sont provisoirement entreposés de manière sûre.

L'établissement d'un Plan Déchets est une des missions légales de l'ONDRAF. Le Plan Déchets de l'ONDRAF rassemble tous les éléments nécessaires pour permettre au gouvernement fédéral de prendre, en toute connaissance de cause, une décision de stratégie générale, autrement dit une décision de principe, sur la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. Parmi ces derniers se trouvent également le combustible irradié des centrales nucléaires, les quantités excédentaires des matières fissiles enrichies et les matières plutonifères si ceux-ci sont déclarées comme déchets.

Le Plan Déchets est donc focalisé sur la gestion à long terme des déchets des catégories B et C. Il concerne uniquement les déchets existants ou les déchets dont la production est planifiée, essentiellement dans le cadre du programme électronucléaire actuel et son éventuelle prolongation.

Pour la gestion des déchets radioactifs, l'ONDRAF suit des principes reconnus internationalement, comme les principes en matière de développement durable de la Déclaration de Rio, les principes de gestion des déchets radioactifs de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et les principes de protection radiologique de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Ces principes ont amené l'ONDRAF à évaluer les options de gestion considérées dans le Plan Déchets et dans le SEA sur base de quatre dimensions.

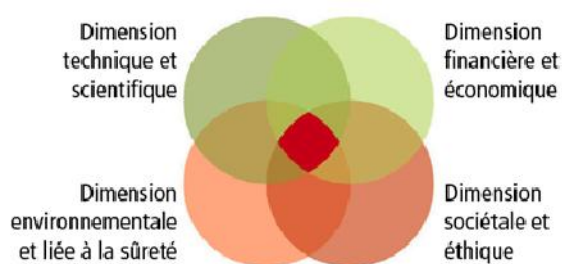


Figure 2 : Les quatre dimensions de la gestion à long terme des déchets radioactifs

1.4 Pourquoi un SEA pour le Plan Déchets ?

L'évaluation des incidences environnementales en matière de plans et de programmes au niveau fédéral est déterminée par la Loi du 13 février 2006. Dans cette loi, il est établi qu'une évaluation des incidences environnementales avec consultation du public est exigée pour « le programme général de gestion à long terme des déchets radioactifs prévu à l'article 2, § 3, de l'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, avec ses modifications » (article 6 §1, premier point).

Le Plan Déchets de l'ONDRAF est le programme général pour la gestion à long terme des déchets radioactifs et doit donc faire l'objet d'une évaluation des incidences sur l'environnement au niveau des plans et programmes. Cette évaluation des incidences sur l'environnement sera mentionnée ici par le terme « Strategic Environmental Assessment » ou SEA.

Le présent document comprend un résumé non technique du SEA destiné au grand public.

1.5 Quelles sont les possibilités de consultation ?

Pendant la phase préparatoire, préalable à la procédure légale, l'ONDRAF a organisé une consultation sociétale. Ses résultats ont été pris en compte lors de l'établissement du Projet de Plan Déchets. En parallèle, le projet de Répertoire du SEA a été établi ; il s'agit d'un document préparatoire qui détermine la portée et le niveau de détail du SEA. Le projet de Répertoire a été soumis au Comité d'Avis SEA pour avis. Les avis émis ont été pris en compte dans le SEA.

Dès le 7 juin 2010, le Projet de Plan Déchets et le SEA sont soumis à une consultation officielle comme prévu dans la Loi du 13 février 2006. Pour ce faire, l'ONDRAF demandera l'avis de la population en général, du Comité d'avis SEA, du Conseil Fédéral du Développement Durable, des gouvernements régionaux et de toutes les autres instances qui sont pertinentes pour l'ONDRAF (dans ce cas-ci l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire, l'AFCN).

2. MÉTHODOLOGIE

Ce SEA se distingue fortement des évaluations « classiques » des incidences sur l'environnement. Ce chapitre décrit brièvement quelques particularités méthodologiques. Pour de plus amples informations, nous vous renvoyons au chapitre 5 du SEA.

2.1 Le cadre d'évaluation

Le Plan Déchets et le SEA se caractérisent par un horizon temporel exceptionnellement long. L'homme et l'environnement doivent être protégés pendant des dizaines de milliers d'années voire plus contre la radioactivité des déchets des catégories B et C. Durant tout ce temps, l'option de gestion choisie doit être en mesure de garantir la sûreté. Cela pose des exigences particulières quant à la manière de réaliser l'évaluation des incidences. Dans la pratique, ce SEA effectue une analyse séparée pour le court terme et le long terme.

Le **court terme** est une période d'environ 100 ans suivant la décision de principe. Pendant cette période ont lieu la préparation, la construction, l'exploitation et éventuellement la fermeture et/ou le démantèlement de l'installation de gestion. Comme cette phase est caractérisée par des activités dont l'impact environnemental est connu ou peut être déterminé dans les grandes lignes, il est judicieux de réaliser une évaluation des incidences environnementales « classiques » pour cette phase, comme défini dans la Loi du 13 février 2006. Ensuite quelques thèmes relatifs aux quatre dimensions de la Figure 2 sont discutés. Dans ce large cadre de référence, l'objectif central se décrit comme « protection durable » (voir Figure 3).

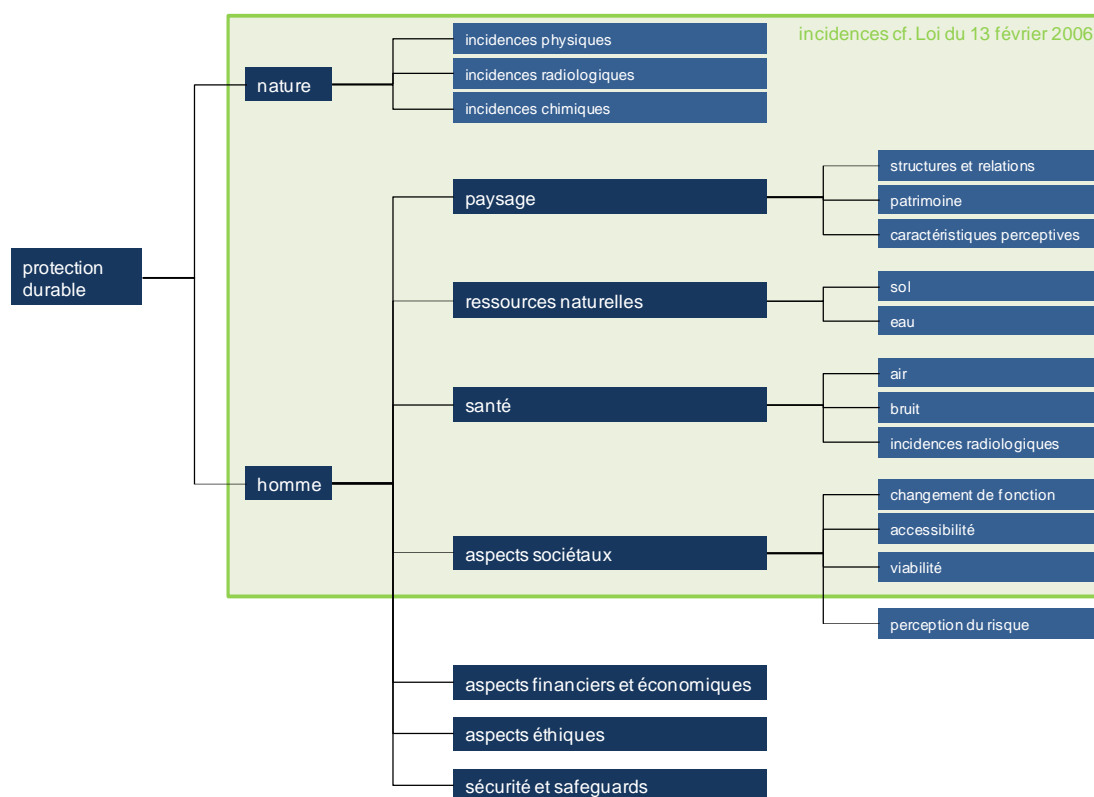


Figure 3 : Objectif, aspects et sous-aspects pour le court terme

Par le **long terme**, nous considérons la période qui commence après le court terme (c'est-à-dire après 100 ans) et qui dure des dizaines de milliers, voire des centaines de milliers d'années. Bien que pour cette période nous puissions parler de stabilité géologique dans notre région, les suppositions par rapport aux évolutions sociétales possibles n'ont pas de sens. Une évaluation des incidences selon la structure de la Loi du 13 février 2006 n'est donc pas pertinente pour le long terme. Pour le long terme, c'est la vraisemblance qu'une incidence inacceptable se produise qui est analysée plutôt que l'incidence elle-même. Quelques thèmes environnementaux « classiques » sont étudiés, mais le cadre d'évaluation est ici également plus large que celui prescrit selon la Loi du 13 février 2006 (voir Figure 4).

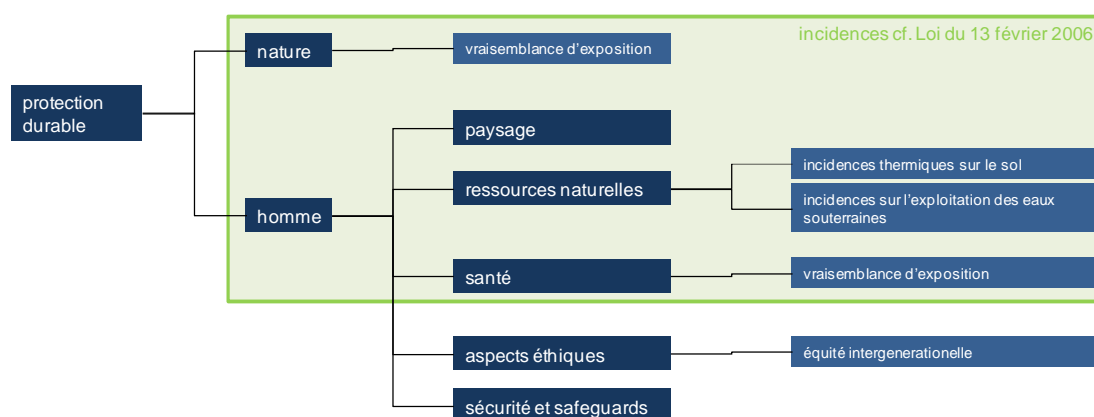


Figure 4 : Objectif, aspects et sous-aspects pour le long terme

Les options de gestion à évaluer sont également différentes pour le court et le long terme. Pour le court terme, il est possible d'étudier plusieurs options de gestion clairement définies. Pour le long terme, il n'est pas justifié de s'attacher aux options de gestion comme nous pouvons les définir en ce moment ; le choix se réduit au choix fondamental entre une gestion active (où la protection de l'homme et de l'environnement repose en permanence sur l'action humaine) et une gestion passive (où aucune action humaine n'est nécessaire pour garantir la protection de l'homme et de l'environnement).

2.2 Le processus : une approche par étapes

Le Plan Déchets et le SEA servent de support à une décision de principe, qui sera suivie plus tard par des décisions plus concrètes sur, par exemple, le site et la variante de mise en oeuvre. C'est pourquoi l'évaluation des incidences sur l'environnement est considérée dans son ensemble comme un processus en plusieurs étapes, dont ce SEA en constitue la première.

Le principe de base de cette approche par étapes est simple : l'évaluation des incidences sur l'environnement se fait en différentes phases consécutives, avec pour chaque phase un niveau de détail n'allant pas au-delà de ce qui est possible et défendable compte tenu du niveau de détail du plan considéré et de la décision à laquelle le plan sert de support. Cela signifie donc que certains éléments ou niveaux de l'évaluation sont reportés à plus tard (étapes moins stratégiques, plus orientées vers un projet). Cela ne signifie aucunement que l'évaluation dans sa globalité sera incomplète ou imprécise : au final, le plan et sa matérialisation auront été évalués en détail (voir Figure 5).

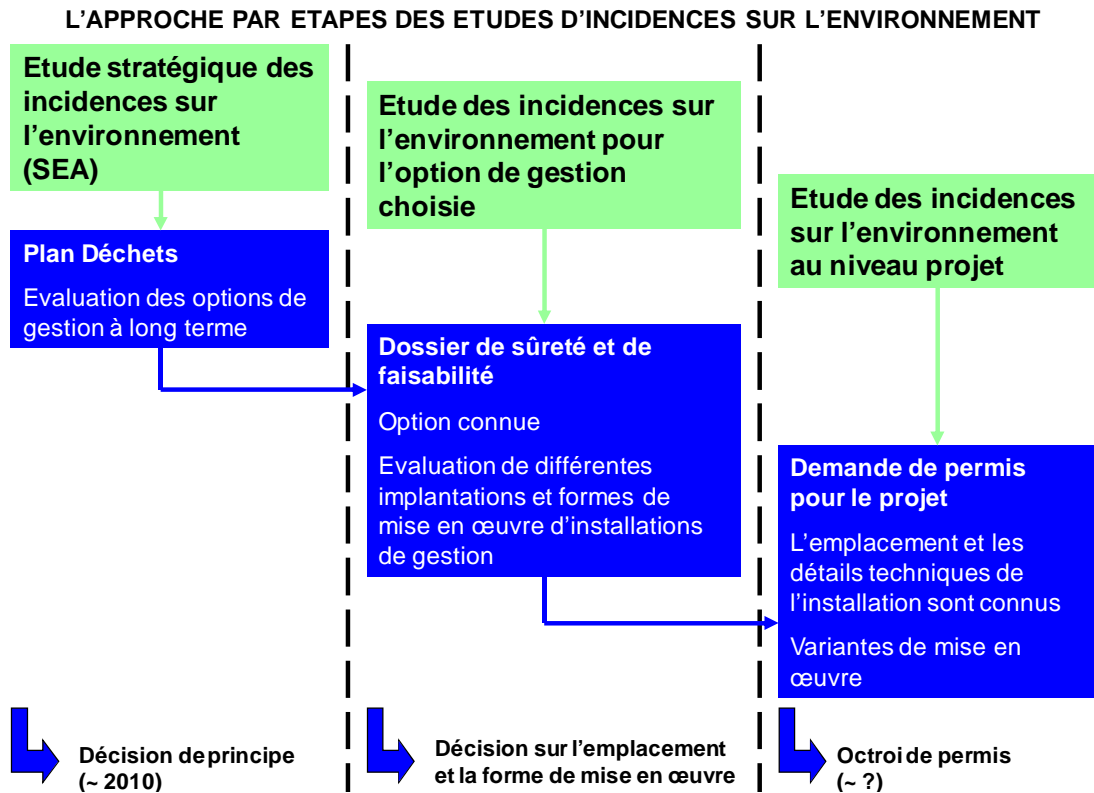


Figure 5 : Approche par étapes pour l'évaluation des incidences sur l'environnement d'une option pour la gestion à long terme des déchets des catégories B et C

2.3 La marche à suivre

2.3.1 Impacts radiologiques

Dans la mesure où le SEA se rapporte à un plan pour la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie, les incidences radiologiques sont très pertinentes. Celles-ci sont étudiées aussi bien à court terme qu'à long terme.

Le but n'est pas, à ce stade, d'effectuer des calculs de dose radiologique pour l'homme ou l'environnement. La nature stratégique de l'étude, la description générique des options de gestion et l'incertitude sur le ou les site(s) où l'option de gestion sera mise en œuvre, impliquent que de tels calculs de dose ne sont ni faisables ni souhaitables dans ce cadre. Cela ne signifie pas qu'on ignorera les connaissances existantes. Il y a en effet une base de connaissances nationale et internationale très étendue concernant les incidences radiologiques de la gestion à long terme des déchets radioactifs, qui est évidemment utilisée pour soutenir et étayer l'évaluation des incidences (et ce, de manière souvent qualitative).

2.3.2 Pas de délimitation territoriale

Le fait que ce SEA se rapporte à une décision de principe implique que l'on ne peut donner de délimitation territoriale stricte de la zone du plan ou de la zone des incidences. Une décision concernant la localisation où l'option de gestion serait mise en œuvre n'est pas à l'ordre du jour pour le moment. Cela a des conséquences pour l'évaluation principalement à court terme ; pour le long terme nous tenons uniquement compte de la vraisemblance que

certaines incidences inacceptables pourraient se produire, sans les relier à un site particulier.

L'incertitude qui règne sur l'environnement concerné peut être compensée en travaillant avec des **environnements-types**. Bien entendu, ceux-ci doivent toujours être adaptés au mieux aux exigences d'implantation liées à une option de gestion déterminée. Celles-ci peuvent ensuite être complétée par des hypothèses qui caractérisent l'environnement avec un certain niveau de détail afin qu'une base suffisante soit disponible pour la description et l'évaluation des incidences. Il faut également s'assurer que l'environnement-type reste suffisamment générique de manière à conserver largement la pertinence des conclusions. Dans ce SEA, nous définissons quatre environnements-types : zone urbaine, zone agricole, zone naturelle, zone industrielle. Celles-ci sont décrites à l'aide de plusieurs propriétés caractéristiques (voir chapitre 5 du SEA).

Une autre solution qui permet de contourner les incertitudes concernant l'environnement est l'utilisation de **critères non liés à l'implantation**. Ainsi, pour les incidences sur l'air on peut considérer les émissions de l'installation (c'est-à-dire la quantité émise de matières polluantes) plutôt que l'immission (c'est-à-dire la concentration résultante dans l'environnement récepteur). Les critères non liés à l'implantation sont surtout utiles pour le long terme car les incertitudes concernant l'environnement et son évolution sont très grandes.

Les incidences transfrontières ne sont pas encore discutées dans cette phase dans la mesure où le lieu où l'option de gestion choisie sera mise en oeuvre n'est pas encore connu.

2.3.3 Robustesse

Les évolutions à long terme ne pouvant pas être déterminées précisément, le niveau d'**incertitude** est élevé. Les différentes options de gestion sont toutes soumises dans une même mesure à cette incertitude liée à ces évolutions. Ce qui diffère toutefois, c'est la mesure dans laquelle ces évolutions incertaines ont des conséquences sur le bon fonctionnement de l'option de gestion et sur les impacts à attendre (dont le moindre n'est pas l'impact radiologique). La mesure dans laquelle une option de gestion est plus ou moins influencée par (l'incertitude) des évolutions est exprimée par le terme **robustesse**. La robustesse est donc une propriété intrinsèque de l'option de gestion.

Les évolutions citées ci-dessus peuvent être de nature diverse :

- Evolutions naturelles : p.ex. changement climatique dû à l'effet de serre, tremblements de terre, inondations
- Changements dans la stabilité physique et technique intrinsèque de l'option de gestion : p.ex. mauvais scellement de l'installation, formation de gaz
- Événements externes non naturels : p.ex. forage d'exploration à travers une installation de dépôt souterraine, chute d'un avion sur une installation de surface
- Evolutions sociétales : p.ex. surpopulation, guerre

Les évaluations de sûreté analysent toujours plusieurs scénarios d'évolution possible pouvant avoir une influence sur la gestion. Les évolutions sociétales par contre ne sont pas analysées systématiquement. C'est pourquoi nous élaborons pour le SEA du Plan Déchets le concept de robustesse sociétale. Nous définissons la robustesse sociétale comme la mesure dans laquelle les options de gestion sont résistantes aux incertitudes et développements sociétaux futurs possibles. Les options de gestion qui sont insensibles – ou peuvent s'adapter – aux changements sociétaux offriront de meilleures garanties pour la protection de l'homme et de l'environnement.

La robustesse sociétale est décrite à l'aide de trois aspects :

- La flexibilité est la mesure dans laquelle on peut revenir sur des décisions qu'on a prises dans le passé. Il ne s'agit pas seulement de la possibilité technique de récupérer les déchets d'une installation de gestion si cela s'avère nécessaire ou souhaitable. La flexibilité concerne tous les stades du processus décisionnel et de la mise en œuvre de l'option de gestion.
- L'autonomie est la mesure dans laquelle l'option de gestion peut continuer à fonctionner de manière autonome une fois que la gestion active est abandonnée par l'homme.
- La sûreté est définie dans ce contexte comme la mesure dans laquelle l'option de gestion peut garantir la sûreté pour l'homme et l'environnement en cas de développements sociétaux défavorables. Il peut s'agir de menaces accidentelles, mais aussi d'actes malveillants.

A l'aide de plusieurs développements possibles dans différents domaines sociétaux (entre autres, la science, les institutions, l'économie, la démographie), quelques visions d'avenir sont établies pour le court terme (autour de l'an 2100) et pour le long terme (autour de l'an 3000). Ensuite, la robustesse sociétale des options de gestion est analysée en les confrontant avec les visions d'avenir et en vérifiant si la protection de l'homme et de l'environnement reste garantie. Plus de détails sont donnés en Annexe C du SEA.

2.3.4 Une évaluation qualitative soutenue par une large base de connaissances internationale

Dans la mesure où ce SEA se situe à un niveau stratégique et part d'options de gestion dont les détails doivent encore être élaborés dans des phases ultérieures, l'importance des impacts n'est ni calculée ni estimée à l'aide de modèles. Toute tentative en ce sens donnerait un faux sentiment de précision, précision qui ne peut actuellement être obtenue de manière comparable pour toutes les options de gestion et qui n'est pas nécessaire pour prendre une décision de principe.

La description et l'évaluation des incidences se basent donc sur un jugement d'expert. Le jugement d'expert repose et est soutenu par la base de connaissances très étendue sur les options de gestion qui a été élaborée à un niveau international au cours des dernières décennies. Grâce à une collaboration intense de plusieurs années sur le plan international (dans le giron de l'AIEA, de l'Union Européenne et de l'OCDE entre autres) et par des contacts multilatéraux avec des organismes de gestion de déchets radioactifs dans de nombreux autres pays, l'ONDRAF (et les experts qui réalisent le SEA, via l'ONDRAF) a accès à cette base de connaissances.

A l'aide de ces études et des analogies avec des plans comparables réalisés auparavant ou ailleurs ou avec des installations similaires déjà existantes, il est possible d'élaborer un jugement d'expert scientifiquement fondé, sans devoir passer, à ce niveau stratégique, par l'utilisation de modèles spécifiques.

3. OPTIONS DE GESTION

Les options de gestion étudiées pour les déchets des catégories B et C sont décrites brièvement dans ce chapitre. Pour de plus amples détails, nous vous renvoyons au chapitre 7 du SEA.

Plusieurs options de gestion n'entrent pas en ligne de compte pour notre pays car elles sont en opposition avec la législation belge ou avec des accords internationaux ratifiés par la Belgique. Il s'agit entre autres de l'immersion en mer, de l'évacuation dans une calotte glaciaire ou de l'évacuation dans l'espace.

Les options de gestion qui entrent en ligne de compte comprennent d'une part les options de gestion à vocation définitive et d'autre part les options de gestion non définitives. Pour les options de gestion à vocation définitive, on fait une distinction entre la gestion active (dans laquelle la protection de l'homme et de l'environnement repose en permanence sur des actions humaines) et la gestion passive (où aucune action humaine n'est plus nécessaire pour garantir la protection de l'homme et de l'environnement). Les options non définitives impliquent qu'on reporte la décision d'une option de gestion définitive vers les générations futures. L'option du statu quo revient à la poursuite de l'entreposage actuel dans les installations existantes.

3.1 Options de gestion à vocation définitive

3.1.1 Gestion active

L'ONDRAF ne considère qu'une seule option possible de gestion active à vocation définitive : ce qu'on appelle l'entreposage perpétuel. Dans cette option, les déchets sont entreposés « pour l'éternité » dans des installations spécialement conçues à cet effet avec les mécanismes de contrôle correspondants (« eternal stewardship »). L'entreposage perpétuel peut être considéré comme la répétition récurrente, sur des centaines de milliers d'années, d'étapes de reconditionnement et d'entreposage, qui se suivent à un intervalle de 100 à 300 ans.

Dans ce type d'entreposage, la protection de l'homme et de l'environnement repose sur l'emballage des déchets et sur l'installation d'entreposage qui doit rester sous surveillance en permanence. L'emballage et l'installation sont les mêmes que pour l'entreposage de longue durée (voir paragraphe 3.2.1) : ils sont remplacés tous les 100 à 300 ans. Ce processus entraîne des déchets radioactifs supplémentaires et la quantité de déchets augmente dès lors après chaque cycle d'entreposage de longue durée. Les incidences liées à la construction des installations (voir chapitre 4) se produisent également à chaque cycle.

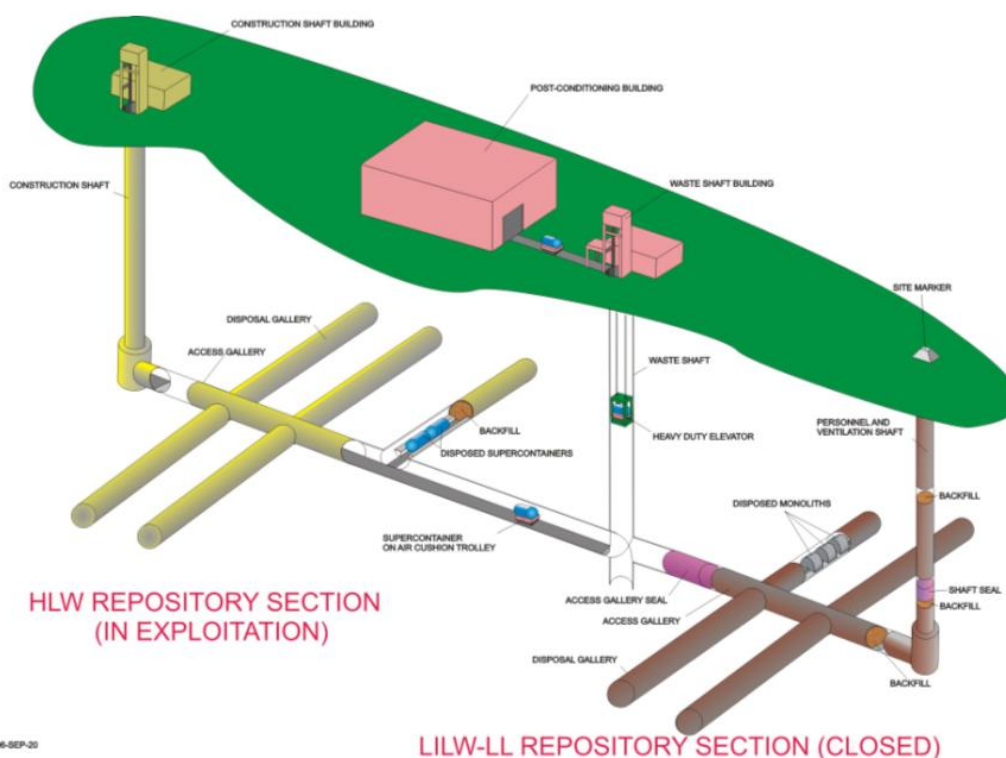
Un entreposage perpétuel exige que les connaissances et le savoir-faire nécessaires soient transmis aux générations suivantes. En outre, des mécanismes de financement doivent être disponibles pour le remplacement périodique des emballages et des bâtiments.

3.1.2 Gestion passive

3.1.2.1 Dépôt géologique

Dans le dépôt géologique, les déchets radioactifs sont placés, dans leur emballage, à une profondeur de plusieurs centaines de mètres dans une installation spécialement conçue dans une couche géologique appropriée et entourés par un matériau de remplissage. Après

la phase d'exploitation, l'installation de dépôt est progressivement fermée et une gestion active n'est plus nécessaire pour garantir la sûreté. Une surveillance peut cependant être prévue.



VERSION DATE 2006-SEP-20

Figure 6 : L'architecture de référence pour le dépôt géologique

La couche géologique appropriée, appelée formation hôte, doit notamment pouvoir limiter le mouvement des radionucléides, doit résister aux événements futurs possibles dans le sous-sol et doit permettre la réalisation de travaux de construction. En outre, il faut tenir compte des activités humaines actuelles et potentielles sur le site ou à proximité de celui-ci.

La sûreté de l'homme et de l'environnement repose sur des barrières ouvragées (l'emballage des déchets, le matériau de remplissage et le scellement des galeries et puits) et sur la barrière naturelle (la formation hôte géologique). A long terme, les barrières ouvragées se dégradent et c'est la formation hôte qui empêche le mouvement des radionucléides. Une récupérabilité peut être mise en œuvre, mais est de plus en plus difficile et onéreuse à mesure que l'installation est progressivement fermée.

Un large consensus au niveau international considère le dépôt géologique comme l'option à préconiser pour la gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. Certains pays l'ont même établie dans leur législation (p.ex. Suisse, Japon, Finlande, France, Suède). La réalisation concrète du dépôt géologique diffère cependant d'un pays à l'autre.

Au niveau international, différentes sortes de roches sont étudiées comme formations hôtes possibles. Un premier dépôt géologique dans une roche évaporitique (sel) est opérationnel pour des déchets de catégorie B à Carlsbad, Nouveau Mexique (Etats-Unis) depuis la fin des années 90. La Finlande est le seul pays européen où une installation de dépôt géologique est en cours de construction. Cette construction a été précédée par des études détaillées où différents sites possibles ont été comparés. Le site choisi (Olkiluoto) est à

proximité d'une installation nucléaire existante. En Suède, ces dernières années, plusieurs sites possibles pour le dépôt géologique ont également été étudiés et comparés de manière approfondie. Au cours de l'été 2009, le site de Forsmark a été sélectionné, un site également proche d'une installation nucléaire. La France a opté en 2006 pour le dépôt géologique dans une couche d'argile. Très récemment, l'Allemagne a repris le programme de dépôt géologique dans un dôme de sel à Gorleben ; le site Konrad se trouve dans une ancienne mine de fer et sera opérationnel pour la mise en dépôt de déchets de la catégorie B d'ici 2013.

En Belgique, c'est l'argile peu indurée qui est étudiée comme formation hôte possible. L'**Argile de Boom** se trouve dans le sous-sol des provinces d'Anvers et du Limbourg. Elle est très homogène et plastique (autrement dit, les fractures et fissures se scellent). Elle ne permet pas les mouvements d'eau et peut retenir plusieurs métaux et radionucléides. En outre, la roche se présente à plusieurs endroits à des profondeurs et des épaisseurs suffisantes. A l'exception de l'eau, il n'y a pas, dans le voisinage de cette formation, de ressources naturelles exceptionnelles qui pourraient être exploitées, nuisant ainsi à la sûreté du système. Sur base de plusieurs décennies d'étude, l'Argile de Boom apparaît pouvoir servir de roche hôte pour un dépôt géologique en Belgique.

Les **Argiles Yprésiennes** se trouvent principalement dans le sous-sol en Flandre Occidentale et Orientale. Les propriétés des Argiles Yprésiennes sont partiellement similaires à celles de l'Argile de Boom. Dans le programme de recherche et développement belge, les Argiles Yprésiennes sont actuellement considérées comme une roche hôte alternative.

L'étendue nécessaire de l'installation de dépôt géologique dépend du volume et des émissions de chaleur des déchets. A la surface, un site d'environ 75 hectares serait nécessaire selon les estimations actuelles.

3.1.2.2 Mise en forages profonds

Dans le cas d'une mise en forages profonds, des conteneurs de déchets de quelques mètres de longueur et de 50 à 100 cm de diamètre sont empilés les uns sur les autres dans un forage étroit de quelques kilomètres de profondeur. Un matériau de remplissage (p.ex. argile) est placé entre les conteneurs et dans la partie supérieure du forage. Après la fermeture du forage, aucune autre intervention humaine n'est prévue et la récupérabilité des déchets n'est normalement plus possible.

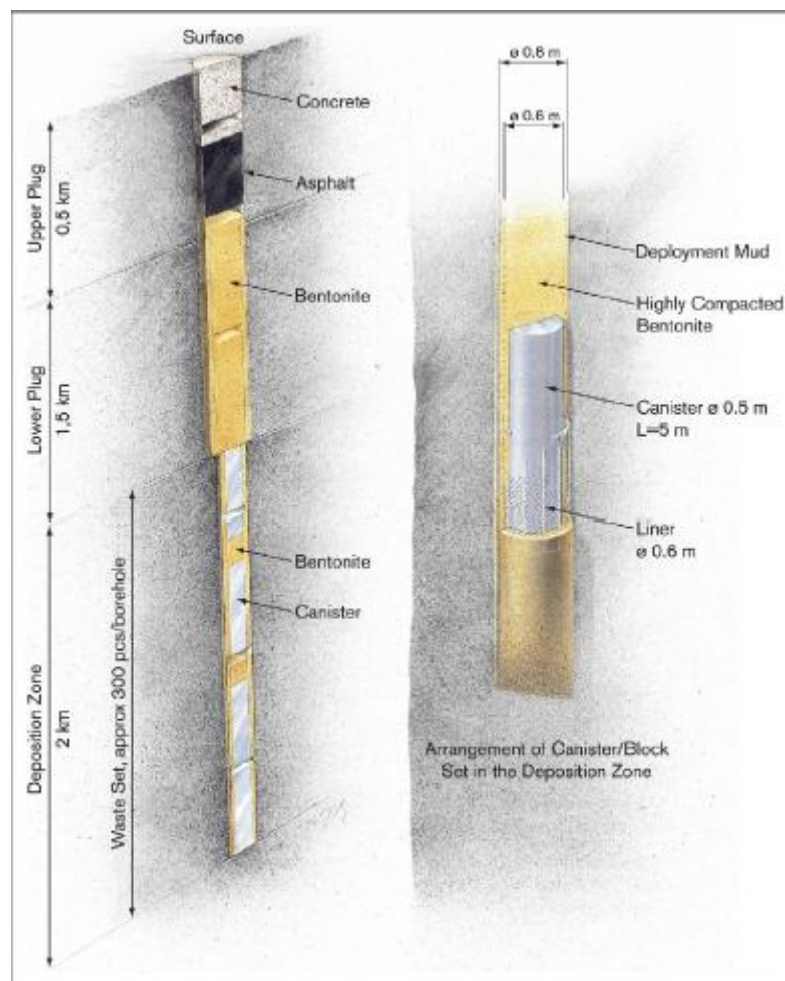


Figure 7 : Concept pour une mise en forages profonds

L'intégrité de l'emballage des déchets et du matériau de remplissage ne peut être garantie pendant une longue période à grande profondeur. Après quelque temps, la roche hôte est la seule barrière entre les déchets radioactifs et l'environnement et doit donc être choisie avec le soin nécessaire.

On ne sait pratiquement rien de la présence de formations hôtes appropriées pour la mise en forages profonds en Belgique. Le sous-sol à quelques kilomètres de profondeur n'a que peu été étudié au moyen de forages. Avant la réalisation de la mise en forages profonds, plusieurs années d'étude seraient nécessaires pour identifier des roches hôtes potentiellement appropriées, sans garantie de succès.

Les technologies de mise en forages profonds ne sont pas encore utilisées actuellement, bien qu'on ait les connaissances nécessaires pour les développer.

Pour la mise en dépôt des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie en Belgique, il faudrait environ 60 forages. Des études en Suède, au Royaume-Uni et aux États-Unis recommandent de respecter une distance d'au moins 500 m entre deux forages. Un site de 60 forages demanderait donc une très grande surface (ordre de grandeur de 13 km²). La mise en forages profonds peut être une option intéressante pour des pays qui ont

de petites quantités de déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie où se trouve une formation hôte adaptée.

3.2 Options de gestion non définitives

3.2.1 Entreposage de longue durée dans la perspective du choix ultérieur d'une option de gestion à vocation définitive

Cette option de gestion implique que les déchets radioactifs sont entreposés dans des installations adaptées pour une période de 100 à 300 ans. L'objectif est qu'à la fin de cette période, les générations futures devront prendre une décision quant à la manière de poursuivre la gestion. L'entreposage de longue durée implique la construction de nouvelles installations d'entreposage et une gestion active correspondante : contrôles, entretiens réguliers de l'installation et vérification régulière de l'intégrité des conteneurs et des déchets eux-mêmes. Cette option de gestion non définitive correspond à la première phase de l'entreposage perpétuel (voir paragraphe 3.1.1) mais implique qu'une option de gestion définitive doit être mise en œuvre à terme ; ceci conduit à des incidences supplémentaires et à un report des charges de gestion sur les générations futures (voir chapitre 4).

Dans ce type d'entreposage, la protection de l'homme et de l'environnement repose sur l'emballage des déchets et sur l'installation d'entreposage qui doit rester sous surveillance en permanence. L'emballage assure entre autres le confinement des radionucléides et assure qu'il n'y ait pas d'émission de rayonnements en cas d'accident. Pour des déchets de catégorie B, un conteneur en béton convient, pour des déchets de catégorie C, des conteneurs en métal sont prévus. Dans les deux cas, la durée de vie peut atteindre 300 ans.

L'installation d'entreposage doit protéger les déchets contre des influences néfastes comme des tremblements de terre et des chutes d'avion. Il a été démontré que les constructions en béton armé peuvent avoir une durée de vie d'au moins 100 ans. Une attention particulière doit être accordée à la maîtrise de la température et de l'humidité de l'air dans l'installation pour éviter la corrosion des emballages.

L'équipement de l'installation d'entreposage (machines, ventilation, systèmes pour la surveillance et le contrôle...) doit rester opérationnel pendant toute la durée de vie. A cette fin, il sera entretenu et remplacé périodiquement. De même, les informations sur les déchets et les connaissances techniques sur la gestion doivent être conservées tant que l'installation d'entreposage est utilisée. Vu la longue durée de vie de l'installation, ceci est un défi technique et sociétal. Enfin, un mécanisme de financement est nécessaire de manière à ce que les générations futures aient les moyens d'exploiter l'installation de manière sûre.

Pour un entreposage de longue durée, un site d'environ 40 hectares serait nécessaire.

3.2.2 Entreposage dans l'attente de l'application industrielle de technologies nucléaires avancées

Cette option de gestion implique qu'on ne prenne pas encore de décision sur la gestion à long terme, mais qu'on décide d'attendre la mise en œuvre industrielle de nouvelles technologies. Concrètement, il s'agit de « séparation et transmutation », où la majeure partie des composants valorisables du combustible irradié est extraite pour réutilisation et où la radiotoxicité de certains radionucléides peut être réduite. Pour une description plus détaillée, nous vous renvoyons au chapitre 7 du SEA. Ces technologies sont actuellement encore en développement. L'application à l'échelle industrielle ne serait possible que dans 30 à 40 ans. En attendant que de telles technologies soient disponibles, le combustible irradié serait entreposé. L'emballage des déchets et les installations sont les mêmes que pour

l'entreposage de longue durée dans la perspective du choix ultérieur d'une option de gestion à vocation définitive (voir paragraphe 3.2.1).

Le choix d'une gestion avancée exige qu'on opte pour un cycle du combustible (partiellement) fermé, où les fractions utiles du combustible irradié sont recyclées (« retraitées »). Cela implique en outre un engagement sur le long terme (plus de 100 ans) en faveur d'une production d'électricité par l'énergie nucléaire et du retraitement.

Cette option de gestion nécessitera également tôt ou tard une nouvelle décision sur la gestion à long terme des déchets déjà existants ou prévus, qui ne peuvent être traités avec des technologies nucléaires avancées. La mise en œuvre d'une option de gestion définitive conduit inévitablement à des incidences supplémentaires (voir chapitre 4). D'autre part, il faut garantir la gestion à long terme pour les déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie qui seront inévitablement produits par ces nouvelles technologies.

3.3 Option du statu quo

Cette option de gestion implique qu'on décide de ne pas prendre de décision sur la gestion à long terme. La décision de principe est donc reportée pour une durée indéterminée. Cela revient à la poursuite des activités de gestion actuelles dans les bâtiments d'entreposage existants : contrôles réguliers de l'emballage, reconditionnement des déchets si nécessaire, contrôle et entretien des installations. La durée est limitée par la durée de vie des installations actuelles (environ 75 ans) et leur taux de remplissage. Si la durée de vie des installations d'entreposage existantes est écoulee ou si ces dernières sont saturées, il faudra rénover les installations ou en construire de nouvelles. Il existe au niveau international un large consensus selon lequel la poursuite de l'entreposage temporaire n'est pas une solution à long terme (voir entre autres les décisions prises au Canada, en Suède, en Finlande, en France et au Royaume-Uni). Une option de gestion définitive doit donc être mise en œuvre à terme, ce qui conduit à des incidences supplémentaires (voir chapitre 4).

En Belgique les bâtiments d'entreposage se trouvent sur le site de Belgoproces à Dessel (entre autres les bâtiments B127, B129 et B155 pour les déchets de catégorie B et le bâtiment B136 pour les déchets des catégories B et C) et sur les sites des centrales nucléaires de Doel et Tihange (pour l'entreposage du combustible irradié). Les bâtiments d'entreposage sur le site de Belgoproces n'ont pas la capacité suffisante pour absorber la quantité totale attendue de déchets de catégorie B. La capacité devrait être étendue de 3 à 10 %, selon que l'on opte pour la poursuite retraitement ou non. Dans le cas de la poursuite du retraitement, la capacité du bâtiment B136 devrait être fortement étendue. Si la décision de ne pas retraiter le combustible irradié est maintenue, il faudrait étendre la capacité d'entreposage sur les sites des centrales nucléaires de Doel et Tihange. Pour l'extension de la capacité, un espace supplémentaire limité d'environ 8 hectares au total serait nécessaire.



Figure 8 : Bâtiment B136 pour l'entreposage des déchets des catégories B et C

Dans le SEA, l'option du statu quo est considérée comme l'« alternative zéro », c'est-à-dire l'option qui sert de base de comparaison pour l'évaluation des incidences des autres options de gestion. Notez que la définition d'une alternative zéro n'a de sens que pour le court terme (environ 100 ans). Tôt ou tard (p.ex. au moment où les installations d'entreposage seront pleines), il faudra prendre une décision en vue d'une gestion pour le long terme. Le concept d'« alternative zéro » n'est donc pas d'application pour le long terme.

4. DESCRIPTION ET ÉVALUATION DES INCIDENCES

Ce chapitre donne un bref aperçu de la description et de l'évaluation des incidences. Pour de plus amples détails, nous vous renvoyons au chapitre 9 du SEA.

4.1 Impact sur la nature

4.1.1 Incidences physiques

A **court terme**, on considère les incidences physiques suivantes sur la nature :

- Perte directe d'écotopes
- Perturbations par le bruit, les vibrations, la lumière, changements de la qualité de l'eau ou de l'air ou du niveau de la nappe phréatique
- Impact sur les liaisons écologiques (interactions entre les différents composants de l'écotopie) : fragmentation et effet de barrière

Ces incidences ne s'évaluent que si on a une bonne vision du site où se trouveront les installations de gestion. Comme le site n'est pas encore connu, on travaille avec des environnements-types (voir paragraphe 2.3.2) ainsi qu'une description et une évaluation qualitative des incidences. Dans l'évaluation, on tient compte de l'importance et de la durée de l'impact ainsi que de la vulnérabilité de l'environnement (type).

Pour la perte directe d'écotopes, l'emprise spatiale est déterminante. L'emprise spatiale de l'entreposage perpétuel de longue durée et celle du dépôt géologique sont à peu près du même ordre de grandeur. Pour la mise en forages profonds, une superficie plus grande est nécessaire, mais il semble improbable que les écotopes soient perdus dans toute la zone. L'option du statu quo n'implique qu'une occupation d'espace supplémentaire limitée. Pour toutes les options de gestion, l'importance de l'impact est la plus grande en zone naturelle, elle est moindre en zone agricole extensive et est limitée en zone industrielle, zone urbaine ou zone agricole intensive.

Les perturbations par le bruit et par les vibrations sont surtout attendues pendant la construction. Pour un entreposage de longue durée ou perpétuel, les perturbations sonores seront plus élevées que pour un dépôt géologique et une mise en forages profonds. Cela s'explique par la période plus courte sur laquelle les travaux de construction sont répartis. L'environnement-type joue également un rôle : en zone naturelle ou zone agricole extensive, la perturbation est la plus grande, a fortiori si les travaux se font pendant la période de nidation. En zone industrielle, zone urbaine ou zone agricole extensive, les perturbations sont considérées comme limitées voire négligeables.

Les perturbations par changements de la qualité de l'air ou du régime hydrologique sont limitées voire négligeables pour toutes les options de gestion.

La nuisance lumineuse est considérable si le site est en zone naturelle ou en zone agricole extensive, où se trouvent des espèces sensibles à ce type de perturbation. Il est possible que le site soit éclairé pour des raisons de sécurité. En zone industrielle, zone urbaine ou zone agricole intensive, la pollution lumineuse est déjà considérable, donc la nuisance supplémentaire est considérée comme limitée.

L'impact sur les liaisons écologiques dépend de l'occupation de l'espace (voir ci-dessus) et de la mesure dans laquelle les mouvements naturels des organismes sont limités. Compte

tenu du manque d'informations sur le site, ce dernier aspect est difficile à évaluer. En général, on peut établir que la gravité de l'impact sera la plus grande en zone naturelle.

L'impact sur la nature à **long terme** est très difficile à estimer, car celui-ci dépend de plusieurs aspects actuellement inconnus, comme le climat. Mais on peut affirmer qu'en cas de gestion passive un retour à une situation naturelle est en principe possible à terme pour le site. En cas de gestion active par contre, des installations de surface permanentes sont présentes, ce qui empêche ce retour à une situation naturelle.

4.1.2 Incidences radiologiques

Pour l'évaluation des incidences radiologiques sur la faune et la flore, on étudie la dose absorbée annuelle, c'est-à-dire la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par kg de matière et par an. Des études sur l'influence des rayonnements sur la faune et la flore sont réalisées par diverses organisations internationales, dans le but de déduire des valeurs seuil.

A ce stade, il n'est pas encore possible d'évaluer quantitativement la dose annuelle pour les différentes options de gestion. C'est pourquoi une évaluation qualitative se fait à l'aide de la probabilité d'absence d'exposition significative.

En général, on peut affirmer que l'impact sur la biodiversité est plus grand dans les zones où la biodiversité est la plus grande (c'est-à-dire les zones naturelles et dans une moindre mesure les zones agricoles).

Pour le **court terme**, il y a peu de différence entre les options de gestion. Le court terme est une phase opérationnelle : les installations sont construites, les déchets conditionnés et placés dans l'installation, et la surveillance humaine reste exercée. Il est raisonnable de penser que grâce aux améliorations techniques, les nouvelles installations offriront une meilleure protection aussi bien pour l'entreposage que pour la mise en dépôt que les installations existantes. Pour l'option du statu quo, la probabilité d'absence d'exposition significative est également considérée comme relativement élevée sur base des données des rejets de routine actuels. En cas de dépôt géologique ou de mise en forages profonds, une partie des déchets est déjà mise en dépôt en sous-sol d'ici la fin du court terme, ce qui diminue encore la probabilité d'exposition.

Pour le **long terme**, la probabilité d'absence d'exposition significative est également considérée comme élevée, tout du moins dans des conditions normales. L'entreposage perpétuel se compose de cycles d'entreposage de longue durée et offre donc à long terme normalement la même protection qu'à court terme. Cependant, le reconditionnement régulier des déchets implique une certaine dose opérationnelle pour les employés. Pour le dépôt géologique, des études effectuées en Belgique et à l'étranger démontrent qu'il ne faut pas attendre d'impact négatif résultant de l'exposition aux rayonnements. Beaucoup moins d'études ont été effectuées concernant la mise en forages profonds. Compte tenu de la très grande profondeur, on peut supposer que les concentrations de radionucléides dans la biosphère seront suffisamment faibles pour n'avoir qu'une incidence mineure sur la faune et la flore.

4.1.3 Incidences des composés chimiques toxiques

Des composés chimiques toxiques, comme ceux incluant des métaux lourds, sont présents dans les déchets radioactifs, mais aussi dans l'emballage et le matériau de remplissage. La quantité de ces composés chimiques ne diminue pas avec le temps, contrairement aux radionucléides dont la radioactivité diminue par la décroissance radioactive. Si la

radioactivité est très fortement diminuée par décroissance radioactive dans des centaines de milliers d'années, la toxicité chimique peut devenir le risque dominant. Il est possible de décrire l'impact chimique à l'aide des concentrations, qui peuvent être comparées en principe à des valeurs seuil. Dans ce domaine, très peu d'informations quantitatives sont disponibles.

Pour le **court terme**, l'occurrence d'un impact chimique est fortement liée à celle d'un impact radiologique. Nous vous renvoyons donc au paragraphe 4.1.2.

Seules quelques études sont réalisées sur l'impact chimique à **long terme**. Celles-ci démontrent qu'il n'y a pas d'incidences nocives sur la faune et la flore dues à la libération des composants chimiques en cas de dépôt géologique.

4.2 Impact sur le paysage, le patrimoine architectural et l'archéologie

Les groupes d'incidences suivants sont étudiés :

- Impact sur les structures et relations paysagères
- Impact sur le patrimoine architectural
- Impact sur les valeurs archéologiques
- Impact visuel

A **court terme**, les différences entre les options de gestion ne sont pas grandes. Dans tous les cas, une surface importante est occupée, où les structures paysagères seront anéanties en grande partie. Cela va de pair avec un impact visuel important. Le patrimoine archéologique présent (qui se trouve dans la couche de sol supérieure) risque également la destruction. S'il y a un patrimoine architectural sur le site ou à proximité, il subira au moins des dommages indirects. Bien entendu, l'évaluation de l'impact dépend du site ; l'impact peut être diminué si l'on opte pour un site avec une valeur paysagère ou patrimoniale limitée. Dans l'option du statu quo, on ne prévoit qu'une petite extension des installations existantes et l'impact sur le paysage est par conséquent négligeable.

L'impact à **long terme** sur le paysage est difficile à estimer, notamment en raison des incertitudes sur le climat. Toutefois, on peut prétendre qu'une gestion passive permet de réparer ou de redévelopper le paysage à terme. En cas de gestion active, cela n'est pas possible car des installations de surface permanentes restent présentes sur le site. En cas de dépôt géologique, il y aura, au début du long terme, des incidences sur le patrimoine architectural dans l'environnement du site résultant d'un faible gonflement thermique du sol, induit par la chaleur produite par les déchets. A la surface, cela entraînera une élévation maximale de 15 centimètres. Des dégâts causés par de tels dénivelés semblent toutefois improbables. Cette incidence disparaîtra progressivement quand la surface aura repris sa position originelle.

4.3 Impact sur les ressources naturelles

4.3.1 Sol

A **court terme**, les incidences suivantes sont étudiées :

- Perturbation physique du sol : modification du profil ou de l'utilisation du sol, modification de la structure et du régime hydrologique
- Pollution non radiologique du sol pendant la construction (p.ex. par de l'huile provenant des véhicules de chantier)

- Terrassement

La perturbation physique du sol est estimée sur base de la superficie sur laquelle se trouvent les bâtiments, l'infrastructure, le revêtement et le déblai. Pour un entreposage perpétuel ou de longue durée ou pour la mise en forages profonds, la surface de sol perturbée est estimée à environ 14,5 hectares. Pour le dépôt géologique, une plus grande surface (environ 20 hectares) est nécessaire car il faudra entreposer le déblai. L'option du statu quo n'implique qu'une perturbation supplémentaire du sol limitée.

Sur base de l'expérience, la pollution du sol est corrélée avec les superficies sur lesquelles des constructions sont effectuées. L'évaluation de la pollution du sol est donc équivalente à celle de la perturbation physique du sol.

Le terrassement est le plus important pour le dépôt géologique. Ceci est principalement le résultat de l'entreposage et de la couverture des déblais sur le site. Pour la mise en forages profonds, une quantité de terre plus réduite est déblayée. L'entreposage de longue durée ou perpétuel exige seulement l'apport de terre pour le remblayage du terrain sous les bâtiments. L'option du statu quo n'implique qu'un terrassement limité.

L'évaluation de la perturbation du sol et de la pollution du sol dépend de l'environnement-type. Dans les environnements urbains ou industriels, qui se caractérisent par des sols déjà perturbés, ces incidences sont considérées comme moins négatives que dans un environnement naturel ou agricole, où il est encore possible de rencontrer des sols relativement intacts. Le terrassement est indépendant de l'environnement-type.

Au début du **long terme** des incidences thermiques ont lieu au sein de la formation hôte dans le cas du dépôt géologique. La roche se réchauffe par les émissions thermiques des déchets. Dans le cas d'un dépôt dans l'argile, le réchauffement des couches aquifères au-dessus de la formation hôte ne dépasse pas les normes. L'impact thermique résultera en une élévation progressive et homogène du sol au-dessus de l'installation de dépôt et dans l'environnement lointain (ordre de grandeur d'environ 15 centimètres). Après la phase thermique, cette incidence disparaîtra progressivement.

En cas de mise en forages profonds, les émissions thermiques des déchets auront une influence largement inférieure car la distance jusqu'à la surface est plus grande et la température de la roche hôte sera déjà bien plus élevée à grande profondeur.

4.3.2 Eau

A **court terme**, les incidences suivantes sont étudiées :

- Modification du niveau et de l'écoulement des eaux souterraines
- Formation d'un contact hydraulique entre les différentes couches aquifères
- Dessèchement et impact sur l'évacuation de crue en raison d'une imperméabilisation croissante du sol

Les installations pour l'entreposage de longue durée ou perpétuel peuvent être construites en surface ou juste en dessous de la surface. Dans le cas d'un entreposage souterrain, il peut y avoir une incidence sur le niveau de la nappe phréatique et sur son écoulement, en fonction de l'étendue de l'installation, de sa profondeur, du mode d'exécution des travaux et du type de sol. En cas de dépôt géologique et de mise en forages profonds, les couches aquifères au-dessus de la formation hôte sont influencées par les puits d'accès ou les forages. Ceux-ci sont limités en diamètre et auront donc peu d'influence significative sur l'écoulement des eaux souterraines. En principe, un rabattement de la nappe n'est pas

nécessaire pendant la construction. L'évaluation de l'incidence sur le niveau et l'écoulement des eaux souterraines dépend des caractéristiques du système hydrologique et est donc liée à la localisation.

Un contact hydraulique entre les différents aquifères peut se produire en cas de dépôt géologique, en cas de mise en forages profonds ou (dans une moindre mesure) pour la variante souterraine d'un entreposage de longue durée ou perpétuel. Cela dépendra essentiellement de la méthode d'exécution des travaux et du soin y apporté. Une exécution correcte supprime les incidences.

Une augmentation de la surface revêtue mène d'un côté à un dessèchement du sol résultant du fait que les eaux pluviales ne peuvent plus s'infiltrer. Celles-ci sont rapidement évacuées vers l'eau de surface. En cas de crue, il est possible que des inondations surviennent. La surface revêtue supplémentaire est la plus grande pour l'entreposage de longue durée ou perpétuel (environ 14,5 hectares). Pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds, on attend moins de revêtement (environ 9 hectares). Le revêtement supplémentaire en cas de statu quo est limité (environ 1 hectare).

Pour le **long terme**, c'est l'impact sur l'exploitation des aquifères pour la production d'eau potable qui est pris en considération. Bien que les barrières ouvragées et naturelles (dans le cas d'une gestion passive) veillent à ce que la concentration de radionucléides dans les eaux souterraines soit limitée de manière à éviter tout danger pour la santé humaine, les autorités pourraient interdire l'exploitation des aquifères dans une zone déterminée autour du site, comme mesure préventive ultime.

4.4 Impact sur la santé humaine

4.4.1 Air

Seul l'impact sur la qualité de l'air à court terme est étudié dans le SEA. Les principales sources d'émission sont le transport, les machines de chantier, la manipulation des déblais et la production de béton. Cela implique que les émissions de NO₂, les poussières fines (PM_{2,5} et PM₁₀) et les poussières sédimentables importent particulièrement pour l'évaluation.

Dans le SEA (chapitre 9) une estimation du nombre de transports par camion pour le terrassement et l'apport de matériaux de construction et du matériau de remplissage est effectuée. Le nombre total de transports est le plus élevé pour le dépôt géologique, en raison des terrassements considérables. Dans le cas d'une mise en forages profonds, le nombre de transports est moins élevé en raison de terrassements moindres. Pour un entreposage de longue durée ou perpétuel, le nombre de transports est encore plus faible, mais dans la mesure où les terrassements sont concentrés sur une période beaucoup plus courte, cela entraîne pendant une période donnée des émissions plus élevées que pour la mise en dépôt. Ces émissions sont limitées en termes absolus et n'entraînent pas une dégradation importante de la qualité de l'air.

L'effet des poussières sédimentables lors de la manipulation du déblai dépend fortement des conditions météorologiques, mais peut être limité par l'application de mesures adaptées (entre autres, l'adaptation de la vitesse des véhicules et l'humidification des voies de chantier).

Le béton peut être amené ou produit sur place. Dans ce dernier cas, il faut qu'on amène les matières premières (sable, gravier et ciment) vers le site. L'impact est donc lié à l'endroit où le béton est produit.

En cas d'entreposage, après le placement des déchets dans l'installation, il faut s'attendre à des émissions limitées, notamment dues au chauffage des bâtiments. Ces émissions diminueront avec le temps en raison des progrès technologiques. En cas de dépôt géologique et de mise en forages profonds, il faudra amener du matériau de remplissage après le placement des déchets. Par l'étalement de ces activités sur une longue période, l'impact est plutôt limité selon les estimations.

4.4.2 Bruit

Seul l'impact sur le niveau de bruit à court terme est étudié dans le SEA. Les principales incidences sonores pendant l'aménagement sont les terrassements et les travaux de forage et de construction. Après la construction, l'impact de l'acheminement des déchets radioactifs, de la manipulation des déchets sur le site, du placement dans l'installation et de l'acheminement du matériau de remplissage est significatif.

La période relativement courte pendant laquelle les terrassements sont effectués en cas d'entreposage de longue durée ou perpétuel peut mener à des incidences sonores négatives pour les habitants le long des routes de transport. Un étalement sur une période plus longue peut diminuer l'impact de manière significative. Pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds, le nombre de mouvements de camions pour les terrassements est plus élevé, mais les travaux sont étalés sur une période beaucoup plus longue, ce qui limite leur impact.

L'acheminement des matières premières (béton et acier pour la construction des installations d'entreposage) et du matériau de remplissage n'entraîne pas d'incidences sonores importantes grâce à l'étalement sur une longue période.

L'importance de la nuisance sonore dépend de l'environnement traversé par les transports. Dans les zones agricoles et naturelles, le niveau de bruit environnant est moins élevé que dans des zones urbaines ou industrielles, si bien qu'il y a une plus grande probabilité d'une augmentation importante du niveau sonore. D'autre part, le nombre de personnes gênées est plus élevé dans des zones à forte population (p.ex. villes et centres de villages) que dans des zones peu peuplées.

4.4.3 Incidences radiologiques

Les incidences radiologiques sur l'homme peuvent être décrites à l'aide de la dose effective. C'est la quantité d'énergie qui est déposée par le rayonnement par unité de masse, multipliée par des coefficients de correction qui tiennent compte de la nature du rayonnement et des différents organes dans le corps humain. La dose effective s'exprime en Sievert (Sv). On travaille également avec la dose effective annuelle.

La dose effective annuelle moyenne en Belgique est estimée à 4,6 mSv, dont 2,5 mSv proviennent de sources naturelles et 2,1 mSv proviennent des différentes applications des rayonnements ionisants, principalement dans la médecine. Les limites de dose réglementaires pour les rayonnements ionisants se basent sur des directives européennes qui sont elles-mêmes basées sur les recommandations d'instances internationales. Hors rayonnements naturels et exposition médicale, la limite de dose effective annuelle pour la population s'élève à 1 mSv. Pour les employés dans l'industrie nucléaire, la limite de dose effective annuelle est de 20 mSv. Les recommandations internationales mentionnent une valeur de référence de 0,1 à 0,3 mSv/an pour les installations de gestion à long terme.

Tout comme pour les incidences radiologiques sur la faune et la flore (voir paragraphe 4.1.2), l'impact radiologique sur l'homme est décrit de manière qualitative à l'aide de la probabilité d'absence d'une exposition significative.

Pour le **court terme**, il y a peu de différence entre les options de gestion. Il est raisonnable de penser que grâce aux améliorations techniques, les nouvelles installations offriront une meilleure protection que les installations existantes, aussi bien pour ce qui est de l'entreposage que pour la mise en dépôt. Pour l'option du statu quo également, la probabilité d'absence d'exposition significative est considérée comme relativement élevée sur base des données sur l'exposition actuelle et des rejets de routine actuels. En cas de dépôt géologique ou de mise en forages profonds, une partie des déchets est déjà mise en dépôt en sous-sol d'ici la fin du court terme, ce qui diminue encore la probabilité d'exposition significative.

Si des technologies nucléaires avancées (séparation et transmutation, voir paragraphe 3.2.2) sont appliquées au combustible irradié, la radiotoxicité des déchets diminue plus rapidement, mais l'influence sur l'impact radiologique du dépôt reste limitée.

La gestion active à **long terme** mène à des risques de santé importants pour les employés, étant donné que la surveillance continue et le reconditionnement régulier des déchets entraînent une exposition. Les risques pour la population devraient rester limités dans des conditions normales.

L'impact radiologique du dépôt géologique à long terme a déjà été analysé dans différents pays (entre autres la France, la Suisse et la Finlande). Les résultats de ces études démontrent que l'exposition radiologique potentielle de l'homme et de l'environnement reste nettement inférieure à l'exposition liée à la radioactivité naturelle. On sait peu de l'impact radiologique de la mise en forages profonds. On peut présumer que dans le cas du choix d'une roche hôte adaptée et dans des conditions normales, les effets radiologiques seront encore plus bas que pour le dépôt géologique.

4.4.4 Intégration des incidences sur la santé humaine

Le SEA fait une évaluation des effets de l'exposition radiologique sur la santé humaine à l'aide de quelques paramètres qui déterminent le risque d'exposition :

- Puissance de la source
- Distance entre la source et le récepteur (propre à l'option de gestion)
- Barrières
- Probabilité de contact

En outre, on tient compte, pour le court terme, de l'incidence des émissions dans l'air de substances nocives et des émissions sonores sur la santé humaine.

A **court terme**, la puissance de la source augmentera par rapport à la situation actuelle dans la mesure où l'exploitation des centrales nucléaires et d'autres applications (médicales notamment) généreront des déchets radioactifs supplémentaires dans les décennies à venir. La distance entre la source et le récepteur est relativement faible pour toutes les options de gestion, dans tous les cas pour les employés qui se chargeront de la gestion pendant la phase opérationnelle. Les barrières ouvragées jouent un rôle similaire pour toutes les options de gestion. En ce qui concerne la probabilité que des hommes entrent en contact avec les déchets radioactifs, les options de gestion non définitives sont évaluées un peu plus négativement car le nombre de transports peut être plus grand que pour les options de gestion définitives (p.ex. si les déchets doivent être transportés par après vers une

installation de gestion définitive). De manière globale, il y a un risque d'exposition un peu plus grand pour les options de gestion non définitives.

L'impact des émissions atmosphériques et des émissions sonores est estimé plus élevé pour l'entreposage que pour la mise en dépôt car les travaux de construction sont étalés sur une période plus longue dans le cas du dépôt (voir paragraphes 4.4.1 et 4.4.2).

Pour la gestion active, le volume de déchets augmente à **long terme**, car le reconditionnement régulier génère de nouveaux déchets radioactifs (voir paragraphe 3.1.1). En cas de gestion passive, le volume de déchets reste en principe inchangé. L'activité des déchets diminue à long terme. La distance entre la source et le récepteur est plus favorable en cas de gestion passive en raison de la localisation souterraine. Selon les estimations, les barrières offrent une protection tout aussi bonne que dans la situation actuelle. Le dépôt géologique a l'avantage de combiner les barrières ouvragées et naturelles. Enfin, la probabilité de contact est considérée comme beaucoup plus faible pour le dépôt géologique et certainement pour la mise en forages profonds que pour la gestion active. De manière globale, il apparaît qu'il y a un risque clairement plus faible d'exposition en cas de gestion passive, par rapport à la gestion active.

4.5 Aspects sociétaux

Les aspects sociétaux suivants sont étudiés :

- Modification de fonction: disparition, changement, limitation, augmentation, permission et création supplémentaire de fonctions et d'activités
- Accessibilité: influence sur la mobilité
- Perception des risques
- Viabilité / qualité de l'environnement dans lequel on vit

L'aspect du changement de fonction est déterminé par l'espace occupé. Les fonctions et activités qui sont actuellement présentes à l'endroit où sera implanté le site disparaîtront entièrement ou partiellement. L'occupation spatiale est la plus grande pour la mise en forages profonds (env. 12,6 km²). Dans un pays à forte densité de population comme la Belgique, l'impact sur les fonctions présentes est certainement considérable. Pour le dépôt géologique et l'entreposage de longue durée ou perpétuel, l'occupation spatiale est moins importante (moins de 1 km²). L'espace supplémentaire nécessaire dans le cas du statu quo a pour but d'étendre la capacité des installations existantes et est considéré comme négligeable. D'un point de vue sociétal, le plus grand impact d'une modification de fonction est attendu dans un environnement urbain et dans une moindre mesure dans un environnement industriel.

L'influence sur la mobilité est définie par le nombre de transports pendant la construction et l'exploitation, mais aussi par la fonction de barrière qui sera générée par le site même. La fonction de barrière est la plus grande pour la mise en forages profonds. Le nombre total de mouvements de camions pendant la construction est plus grand pour la mise en dépôt que pour l'entreposage, mais en raison de l'étalement sur une période plus longue, le nombre de camions est en moyenne inférieur par unité de temps. La nuisance sur la mobilité sera la plus grande dans un environnement urbain.

Selon la perception du public, des risques sont liés aux déchets radioactifs dans tous les cas, quelle que soit l'option de gestion. L'option du statu quo est moins bien perçue car elle n'offre pas de solution définitive et implique une durée de vie limitée des installations. Les installations pour l'entreposage de longue durée ou l'entreposage perpétuel ont une durée de vie plus longue, mais ces options de gestion impliquent qu'un nouveau site soit aménagé,

ce qui peut mener à des craintes dans la population riveraine. Il ressort des enquêtes que la population belge a une préférence pour le dépôt géologique. Les nombreuses incertitudes liées à la mise en forages profonds ont un effet négatif sur la perception des risques.

Pour les incidences sur la qualité de vie dans l'environnement du site, la nuisance des travaux de construction est la plus déterminante. Toutes les options de gestion apportent des nuisances par le trafic de chantier et l'utilisation de machines. La nuisance sera la plus grande dans un environnement urbain.

4.6 Aspects financiers et économiques

Les aspects suivants sont étudiés :

- Coûts
- Couverture des coûts et financement

L'option du statu quo implique le maintien des coûts de gestion actuelle, avec une extension limitée de la capacité d'entreposage. Pour les autres options de gestion, il faut construire de nouvelles installations. Les coûts de construction sont élevés pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds, mais après la fermeture du dépôt, les coûts sont faibles (surveillance uniquement). Pour l'entreposage perpétuel par contre, il faut reconstruire les installations tous les 100 à 300 ans et reconditionner régulièrement les déchets. Cela implique des coûts récurrents considérables à long terme. Dans les options de gestion non définitives, il faut tenir compte du caractère provisoire de l'entreposage pendant le développement et la construction de l'installation, ce qui augmente les coûts. Les coûts de la mise en œuvre d'une option de gestion définitive doivent y être ajoutés.

En ce qui concerne la couverture des coûts et le financement, il y a de grandes différences entre les options de gestion. En cas de dépôt géologique et de mise en forages profonds, la génération actuelle peut prévoir les fonds nécessaires pour garantir la gestion. Le fait que l'installation de dépôt soit fermée à terme contribue à la fiabilité de cette solution. A long terme, ces options de gestion posent peu ou pas d'exigences financières. Pour l'entreposage perpétuel, comme mentionné ci-dessus, de moyens suffisants devront toujours être disponibles à l'avenir pour la reconstruction des installations et le reconditionnement des déchets. Il ressort dans la pratique qu'il n'est pas possible de prévoir les fonds nécessaires en ce moment et de garantir leur disponibilité à long terme pour un projet « sans fin ». Enfin, les options de gestion non définitives imposent des charges financières considérables aux générations suivantes. Par le déplacement de l'horizon temporel, l'incertitude sur les fonds augmente. En outre, il faudra en tous les cas financer une option de gestion définitive à l'avenir.

4.7 Aspects éthiques

L'horizon temporel éloigné, la complexité, l'importance de l'impact possible sur la société et les incertitudes sont inhérents et liés au choix et à la mise en œuvre d'une option de gestion pour les déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. C'est pourquoi il s'agit d'une décision de principe fondamentale pour la société et qui ne peut pas être soutenue que scientifiquement. L'éthique peut offrir un cadre d'évaluation supplémentaire. Le point de vue éthique ne peut clarifier ou expliquer l'argumentation issue du débat sociétal, mais peut confirmer si ces arguments sont justifiés sur le plan éthique ou sont équitables.

Les principes éthiques suivants sont considérés comme pertinents dans le contexte de la gestion des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie :

- Le **principe de précaution** affirme que le manque de certitude scientifique ne peut pas être utilisé comme argument pour le report des mesures. Il peut être utilisé comme principe de conception pour l'approche des risques.
- Le **développement durable** est un développement qui répond aux besoins des générations actuelles sans mettre en danger la possibilité des générations à venir de faire la même chose. Généralement, le développement durable est considéré à l'aide des trois piliers : environnement, société et économie.
- L'**équité intragénérationnelle** se rapporte à la répartition équitable des avantages et des inconvénients sur les différents groupes et individus dans la société.
- L'**équité intergénérationnelle** implique l'équité par rapport aux générations futures.

Les organisations internationales comme l'AIEA et l'AEN de l'OCDE construisent leur vision sur la gestion à long terme à l'aide de principes éthiques similaires. Les arguments en faveur ou non de la récupérabilité des déchets sont également soutenus par des points de vue éthiques (voir chapitre 9 du SEA).

Le dépôt géologique et la mise en forages profonds sont soutenus par le principe de précaution. Il s'agit d'options de gestion passive qui peuvent fonctionner de manière autonome à terme sans intervention humaine, à condition d'un choix de la formation hôte adapté. Cependant, les incertitudes technologiques en cas de mises en forages profonds sont encore trop grandes. Pour l'entreposage perpétuel, il est en principe possible de prendre les mesures de précaution nécessaires, mais la protection de l'homme et de l'environnement ne peut être garantie que si la société reste suffisamment stable, pour que les connaissances soient conservées et appliquées. L'influence négative de développements sociétaux défavorables est difficile à éviter. Les options de gestion non définitives et l'option du statu quo sont en opposition avec le principe de précaution : la décision sur la gestion à long terme est reportée, alors que des solutions peuvent malgré tout être développées et élaborées.

Du point de vue du principe de développement durable, le dépôt géologique et la mise en forages profonds ont la préférence. Le moins de charges possibles sont transmises aux générations futures. L'entreposage perpétuel implique une augmentation de la quantité de déchets et exige la construction d'une nouvelle installation tous les 100 à 300 ans. On peut donc affirmer que cette option de gestion ne contribue pas à une utilisation durable des ressources naturelles. Un avantage des options de gestion non définitives est que les nouvelles technologies peuvent conduire à une solution définitive plus durable. Des charges considérables sont néanmoins transmises aux générations futures. Enfin, l'option du statu quo n'est pas considérée comme durable car la génération actuelle ne prend pas ses responsabilités par rapport aux générations futures.

Le dépôt géologique et la mise en forages profonds correspondent le mieux au principe d'équité intragénérationnelle. Il est possible de prévoir le financement nécessaire au sein de la génération actuelle. Les coûts sont donc supportés en premier lieu par les pollueurs (notamment les producteurs d'électricité nucléaire). Pour l'entreposage perpétuel, les fonds nécessaires ne peuvent pas être prévus dans la pratique, car les coûts n'ont pas de fin. En conséquence, les coûts pourraient être transférés à l'avenir sur des gens qui n'ont pas connu les avantages de l'énergie nucléaire. Les options de gestion non définitives connaissent le même problème, mais le report de la décision peut laisser le temps nécessaire pour construire une assise sociétale plus grande.

Par rapport à l'équité intergénérationnelle, on peut affirmer que le dépôt géologique et la mise en forages profonds transmettent le moins de charges possibles aux générations

futures, mais que la flexibilité est limitée. L'entreposage perpétuel offre bien la flexibilité, mais pose à terme des risques inacceptables pour les générations futures.

4.8 Sécurité et safeguards

La sécurité a pour objectif d'éviter des actes malveillants utilisant des matières radioactives ou dirigés contre des installations nucléaires. Jusque dans les années 90, la protection s'orientait surtout sur l'évitement des vols et la prolifération des matières nucléaires qui pourraient être utilisées dans des armes nucléaires. Au cours de la dernière décennie, il y a eu une prise de conscience selon laquelle des actes malveillants pourraient faire usage des matières radioactives qui ne sont pas nécessairement utilisables pour la fabrication d'armes nucléaires ou pourraient être dirigés contre des installations qui abritent ce genre de matières. La sécurité est considérée comme une préoccupation nationale; cependant, différents pays ont signé des accords internationaux qui les lient mutuellement.

Le terme « safeguards » se rapporte aux contrôles de sécurité effectués par l'AIEA, que les pays non dotés d'armes nucléaires doivent autoriser selon le traité de non-prolifération. Les safeguards sont d'application pour les matières nucléaires qui sont utilisables pour la fabrication d'armes nucléaires. L'AIEA peut contrôler la comptabilité des matières, mais peut aussi effectuer des mesures indépendantes ou inspecter les équipements. Sur la base de ces contrôles, l'AIEA évalue s'il y a des indices de détournement de matières nucléaires déclarées à des fins non pacifiques ou s'il y a des indices de matières nucléaires non déclarées ou d'activités nucléaires non déclarées. L'EURATOM effectue également des contrôles de sécurité.

Toutes les options de gestion exigent pour le **court terme** un transport et un post-conditionnement (c'est-à-dire le traitement et le réemballage des déchets). Le transport est considéré par l'AIEA comme la phase pendant laquelle les matières nucléaires sont les plus vulnérables au vol ou au sabotage. Une installation de post-conditionnement est moins attrayante comme cible, car la quantité présente de matières nucléaires est petite. Au cours du post-conditionnement, il y a plusieurs moyens de dérober des matières nucléaires. Les inspections de safeguards peuvent se faire avec des techniques connues (entre autres, inspection visuelle, surveillance vidéo, contrôle des dimensions). Des conteneurs fermés peuvent difficilement être inspectés dans la pratique, mais un contrôle à l'aide de scellés est tout à fait possible.

Vu sa localisation souterraine, une installation de dépôt géologique est moins attrayante comme cible pour des actes malveillants qu'une installation de post-conditionnement. Cependant, il est recommandé de protéger convenablement le site avec entre autres des barrières physiques, des capteurs et un contrôle d'accès. Il en va de même pour une mise en forages profonds. Les installations d'entreposage en surface sont plus vulnérables que les installations de dépôt souterraines, mais ne sont pas vraiment attrayantes comme cible pour des actes malveillants étant donné le haut degré de protection offert par l'emballage et les bâtiments sur un site fermé.

Les techniques pour des inspections de safeguards dans une installation d'entreposage sont connues et éprouvées. Pour une installation de dépôt géologique, des techniques spécifiques sont nécessaires. Les conteneurs ne peuvent plus être inspectés une fois qu'ils sont placés dans l'installation, mais on peut se baser sur des scellés au niveau des galeries ou des puits. D'autres techniques plus avancées sont entre autres la surveillance par satellite (p.ex. pour le suivi d'activités minières non déclarées), les mesures de signaux sismiques et les mesures de paramètres environnementaux aux abords du site. Ces techniques sont encore en développement. Pour la mise en forages profonds, les inspections de safeguards semblent encore plus complexes que pour le dépôt géologique.

Dans le cas d'une gestion active, la situation est la même à court et à **long terme** : il s'agit d'une installation d'entreposage qui est vulnérable aux actes malveillants, mais qui peut toutefois bien être contrôlée dans le cadre des safeguards. En gestion passive, les barrières ouvragées se dégradent à terme et la roche hôte doit remplir la fonction de protection. Une installation de dépôt géologique complètement fermée ou des forages complètement scellés sont encore moins attrayants comme cible pour les actes malveillants qu'une installation de dépôt qui se trouve encore en phase opérationnelle. Des inspections de safeguards ne sont pas possibles avec des techniques classiques et sont donc plus complexes que pour la gestion active, mais le progrès technologique ou un éventuel assouplissement des exigences en matière de safeguards par l'AIEA (p.ex. en raison du caractère inaccessible d'une installation de dépôt géologique fermée) peuvent y remédier.

5. ROBUSTESSE DES OPTIONS DE GESTION

Ce chapitre évalue la robustesse des options de gestion (voir paragraphe 2.3.3 pour la définition de ce terme). Vous trouverez plus de détails au chapitre 10 du SEA.

5.1 Robustesse par rapport aux évolutions naturelles

A **court terme**, la différence entre les options de gestion n'est pas significative. Il s'agit dans tous les cas d'une phase opérationnelle. La robustesse de l'option du statu quo par rapport aux évolutions naturelles est déterminée par les bâtiments d'entreposage existants. La conception tient compte des évolutions naturelles possibles. Les bâtiments ont une durée de vie de seulement 75 ans, dont une partie s'est déjà écoulée. La question est donc de savoir si les bâtiments offriront la protection nécessaire dans 100 ans. Il faudra entreprendre des actions pour assurer l'intégrité des bâtiments. Dans le cas d'évolutions naturelles inattendues et qui n'ont pas été considérées (p.ex. inondations suite à l'augmentation du niveau de la mer), il y est possible de déplacer les déchets vers une autre installation, si tout du moins ces évolutions se déroulent progressivement.

Pour l'entreposage de longue durée ou perpétuel, les bâtiments sont prévus pour une durée de vie d'au moins 100 ans. Le choix du site peut être optimisé, p.ex. en tenant compte de la protection contre les inondations. Ainsi, le risque d'une exposition significative de l'homme et de l'environnement est plus faible que pour l'option du statu quo.

Dans le cas d'un dépôt géologique ou d'une mise en forages profonds, les installations en surface satisfont aux mêmes exigences que pour un entreposage de longue durée ou perpétuel. Le fait qu'à la fin du court terme (autrement dit après environ 100 ans) une partie des déchets se trouve déjà en sous-sol, est considéré comme un avantage : cela diminue le risque d'exposition. La roche hôte est choisie de manière à ce qu'il y ait le moins d'influence possible d'une activité sismique ou tectonique.

L'entreposage perpétuel présente à **long terme** les mêmes caractéristiques qu'à court terme, étant donné qu'il s'agit de cycles d'entreposage de longue durée consécutifs (100 à 300 ans). Les formes de conditionnement des déchets et les bâtiments d'entreposage seront probablement optimisés ou adaptés de manière telle que les émissions de routine vont plutôt diminuer qu'augmenter. Avec le temps, des évolutions naturelles difficiles à prévoir peuvent se produire. Le fait de reconstruire l'installation tous les 100 à 300 ans offre la possibilité d'imposer d'autres conditions ou des conditions supplémentaires à la conception. Le choix d'emplacement peut également être révisé si cela est jugé nécessaire (p.ex. si le site d'origine est menacé par une augmentation du niveau de la mer).

En cas de gestion passive, la sûreté à long terme est assurée par la roche hôte. De nombreux phénomènes naturels ont des impacts limités à la surface ou à une faible profondeur (p.ex. ouragans, inondations, augmentation du niveau de la mer, érosion). Pour la plupart de ces phénomènes, l'impact est limité à quelques dizaines de mètres ou aux couches aquifères. Les phénomènes géologiques dans le sous-sol (p.ex. formation de montagne) sont extrêmement lents. Si cette évolution semble stationnaire depuis des millions d'années et que l'histoire géologique (qui est bien connue) ne montre aucun indice que cette situation stationnaire puisse être remise en question, il est possible d'évaluer l'évolution future pendant quelques centaines de milliers d'années. C'est le cas pour l'Argile de Boom et les Argiles Yprésiennes, des formations qui sont étudiées en Belgique comme formations hôtes pour le dépôt géologique. Une formation hôte profonde qui est reconnue comme stable assurera les conditions physiques et chimiques qui resteront relativement inchangées pendant une centaine de milliers d'années. La stabilité se traduit par une faible

probabilité d'activité sismique ou volcanique, par des propriétés hydrogéologiques qui contrent la circulation de l'eau et par des propriétés mécaniques qui sont favorables à la construction, l'exploitation et la fermeture d'une installation de dépôt. Grâce à ce contexte stable, la formation hôte ne sera influencée que dans une faible mesure par l'environnement géologique et la surface et protégera par conséquent l'installation et les déchets contre ces influences.

En cas de dépôt géologique, la formation hôte doit ralentir ou limiter le contact de l'eau avec les déchets. Dans le cas d'une installation de dépôt dans une formation d'argile, l'installation est conçue et construite de manière à résister pendant des dizaines de milliers d'années à la corrosion par l'eau et assurer le confinement des radionucléides. En outre, les radionucléides sont piégés par l'argile.

Malgré une très faible probabilité, des scénarios d'activation d'une faille dans la roche hôte sont étudiés par précaution. Ces études ont démontré que l'impact radiologique reste du même ordre de grandeur que dans des conditions normales. Cela est dû à la plasticité de l'argile, qui permet un scellement rapide des éventuelles failles et fissures.

Les théories sur le changement climatique à long terme ne prévoient pas de période glaciaire extrême dans les 800.000 ans à venir. Dans les centaines de milliers d'années à venir, on s'attend cependant à quelques périodes glaciaires comparables au Weichsel (il y a 20.000 ans). Au cours de cette période glaciaire, la Belgique n'a pas été recouverte de glace. Même en ces temps glaciaires extrêmes, il n'y aura pas de glaciers en Belgique selon les modèles. En outre, les périodes glaciaires devront être très limitées par l'effet de serre dans les centaines de milliers d'années à venir.

Il ressort des études décrites ci-dessus qu'il est donc très improbable que des changements naturels augmentent l'exposition radiologique de l'homme et l'environnement dans le cas d'un dépôt géologique dans une argile peu indurée.

Par rapport aux phénomènes naturels de surface, la même conclusion peut être tirée pour la mise en forages profonds. Une étude suédoise a démontré qu'un phénomène naturel extrême peut avoir une plus grande influence à grande profondeur. Ainsi, les eaux souterraines stagnantes pourraient être mobilisées à grande profondeur par une période glaciaire. En Belgique, aucune période glaciaire extrême n'est attendue dans les 800.000 prochaines années. En outre, on dispose de peu de connaissances sur les propriétés des roches hôtes possibles pour la mise en forages profonds en Belgique et sur la manière dont elles peuvent être influencées par des évolutions naturelles à long terme. L'incertitude est donc plus grande que pour le dépôt géologique.

5.2 Robustesse par rapport aux modifications de la stabilité physique et technique intrinsèque

Les bâtiments d'entreposage existants ont une durée de vie de seulement 75 ans, dont une partie s'est déjà écroulée. Cela signifie qu'il est possible que les bâtiments perdent leurs fonctions protectrices d'ici la fin du **court terme**. Le conditionnement des déchets n'est actuellement pas conçu pour une durée de vie de plus de 100 ans. Cela peut résulter en une augmentation du risque d'exposition si aucune mesure n'est prise.

Pour l'entreposage de longue durée ou perpétuel, les bâtiments sont prévus pour une durée de vie d'au moins 100 ans. Les conteneurs devraient également avoir une durée de vie de quelques centaines d'années. Le risque de libération de radionucléides suite à la dégradation des barrières ouvragées est donc très faible.

La situation est la même pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds que pour l'entreposage pendant que les conteneurs se trouvent à la surface. Le fait qu'une partie des déchets se trouve déjà en sous-sol à la fin du court terme est considéré comme un avantage. Les superconteneurs (pour des déchets de catégorie C) et les monolithes (pour des déchets de catégorie B) sont conçus, dans les conditions attendues, pour une durée de vie de bien plus de 100 ans dans l'installation de dépôt géologique. Par l'application des mesures nécessaires, il est possible de limiter au maximum la production de gaz (entre autres) dans l'installation.

La robustesse de la mise en forages profonds est estimée un peu plus faible que celle du dépôt géologique en raison des incertitudes liées à la technologie. Pendant le placement dans le forage, les conteneurs peuvent rester bloqués à un endroit inadéquat et pourraient être endommagés. Si cela se produit à une faible profondeur et à proximité de failles et d'aquifères, cela peut mener à une plus grande exposition de l'homme et de l'environnement.

A **long terme**, les conteneurs et les bâtiments offrent en principe la même protection pour l'entreposage perpétuel qu'à court terme. L'intégrité de l'installation est également assurée pour une durée de vie de quelques centaines d'années. Au début de chaque cycle d'entreposage de longue durée, il faut reconditionner les déchets. Pour cela, on peut supposer que le personnel recevra une certaine dose, même si elle est sous les limites applicables. L'United States Department of Energy estime que si un contrôle institutionnel est maintenu pendant la période de 100 à 10.000 ans après la mise en service de l'installation d'entreposage, il y aura 10 victimes parmi les employés et 3 victimes dans la population suite à l'exposition radiologique.

La dégradation des barrières ouvragées en cas de dépôt géologique est inévitable, mais très lente et bien maîtrisée par l'environnement géologiquement stable et bien caractérisé. Dans les dossiers de POSIVA (Finlande), SKB (Suède), NAGRA (Suisse), ANDRA (France) et ONDRAF, la tenue des barrières ouvragées qui garantissent le confinement des radionucléides durant des milliers à des dizaines de milliers d'années est démontrée. Un mauvais scellement des galeries et des puits a une incidence minimale si on a fait le bon choix de la roche hôte. La corrosion accélérée et la dégradation des conteneurs n'entraîneront pas non plus une plus grande exposition car la couche d'argile épaisse est la barrière principale.

En cas de mise en forages profonds, un conteneur peut se poser à un endroit inadéquat et peut être endommagé. La haute température et la pression à grande profondeur et la teneur en sel élevée des eaux souterraines entraînent une accélération de la dégradation du matériau de remplissage et du conteneur. Des morceaux de roche libres peuvent également endommager le conteneur. La mise en forages profonds n'est donc qu'un système à une barrière : à terme, seule la masse de roche se situant au-dessus des déchets représente une barrière. Si le forage, le matériau de remplissage et le conteneur des déchets sont endommagés, le forage même peut constituer une voie de transport vers la surface pour les radionucléides, avec une plus grande exposition possible de l'homme et de la nature.

5.3 Robustesse par rapport aux événements externes non naturels

Les bâtiments d'entreposage actuels sont résistants à certains événements externes non naturels qui pourraient se produire à **court terme**, comme la chute d'un avion. Les bâtiments ne sont conçus que pour une durée de vie de 75 ans, si bien qu'il n'est pas certain qu'ils offriront encore la protection nécessaire à la fin du court terme. Un programme d'inspection et d'entretien adapté peut apporter une solution, mais cela exigerait des modifications importantes sur les installations actuelles.

Les bâtiments pour un entreposage de longue durée ou perpétuel sont conçus pour être résistants aux influences externes défavorables pendant au moins 100 ans. Si le bâtiment est endommagé, le conteneur de déchets assure encore le confinement des radionucléides. Il ressort que la dose de rayonnement serait limitée pour une série de scénarios accidentels (p.ex. la chute d'un avion). Le risque d'exposition est considéré plus faible que pour l'option du statu quo.

Il en va de même pour les installations de surface en cas de dépôt géologique ou de mise en dépôt dans des forages profonds (p.ex. pour le post-conditionnement). Le fait qu'une partie des déchets se trouve déjà en sous-sol à la fin du court terme est considéré comme un avantage. Les événements externes non naturels sont toujours d'origine humaine et se produisent donc toujours en surface. La probabilité d'une exposition radiologique de l'homme et de la nature diminue donc quasi proportionnellement avec la diminution de la fraction de déchets qui se trouve encore en surface. Un forage d'exploration involontaire au travers de l'installation de dépôt est très improbable à court terme étant donné que le site sera signalé par la présence d'installations de surface. Pour limiter le risque d'un tel forage d'exploration, on choisit de préférence un site dans une région où il n'y a pas de ressources naturelles précieuses exploitables dans le sous-sol profond.

A **long terme**, les installations offrent en principe la même protection contre les influences externes défavorables pour l'entreposage perpétuel qu'à court terme. Il est presque impossible d'estimer l'évolution de tels événements à long terme. Avec une gestion active réalisée correctement, nous pouvons partir du principe que les conceptions successives tiendront compte de la situation du moment. Des évolutions intermédiaires peuvent être compensées par des adaptations intermédiaires.

Les événements externes non naturels semblent n'avoir qu'un effet limité sur une installation de dépôt géologique entièrement fermée. Dans le cas d'un forage au travers de l'installation, on compte sur les propriétés de la roche hôte pour limiter la dispersion des radionucléides. Grâce à la plasticité de l'argile, les ouvertures se ferment très rapidement, de manière à réparer la barrière naturelle. Cela n'aurait un impact significatif que pour les personnes qui entrent en contact avec les radionucléides qui se trouvent dans les carottes de forage. Pour limiter le risque d'un tel forage d'exploration, on choisit de préférence un site dans une région où il n'y a pas de ressources naturelles précieuses exploitables dans le sous-sol profond.

Pour la mise en forages profonds, l'impact de tels événements externes non naturels semble encore plus faible que pour le dépôt géologique grâce à la grande profondeur.

5.4 Robustesse sociétale

Pendant le **court terme**, toutes les options de gestion exigent des actions humaines pour garantir la protection de l'homme et de l'environnement. Les options sont donc vulnérables aux changements sociétaux. Des années sans gestion pourraient entraîner une dégradation progressive des installations de surface, si bien que le confinement des radionucléides n'est plus garanti, avec éventuellement une augmentation des émissions et un impact sur l'homme et l'environnement. Cependant, il semble assez improbable que la gestion prenne fin à court terme. En cas d'instabilité sociétale extrême (p.ex. guerres, attaques terroristes), il peut être difficile d'assurer la sûreté de l'installation.

Dans un dépôt géologique ou une mise en forages profonds, une partie des déchets se trouve déjà en sous-sol à la fin du court terme. Ceci est un facteur favorable. L'influence des évolutions sociétales sur la performance d'un dépôt géologique et donc sur l'exposition radiologique de l'homme et de l'environnement est considérée comme limitée. Dans le cas

d'une mise en forages profonds, des développements sociétaux ne peuvent plus avoir d'influence sur les déchets déjà évacués.

Dans le cas d'un entreposage, les déchets peuvent toujours être récupérés et déplacés vers une autre installation si l'on constate que la gestion n'apporte plus la protection suffisante. Cependant, de telles décisions et manipulations ne sont possibles que dans une société suffisamment stable, où les connaissances techniques nécessaires sont conservées. Pour le dépôt géologique, il est possible de récupérer les déchets en cours de phase opérationnelle, à condition que les connaissances nécessaires soient disponibles. Le degré de difficulté et les coûts de la récupérabilité augmentent à mesure que l'installation de dépôt est remplie et fermée. La récupérabilité n'est pas possible en pratique dans le cas d'une mise en forages profonds.

A **long terme**, il y aura sûrement des changements sociétaux. On ne peut garantir que les moyens financiers resteront disponibles pour garantir une bonne gestion. En cas de changements profonds dans la société, la gestion active peut faire défaut ou même complètement prendre fin, ce qui aurait des conséquences inacceptables pour l'homme et l'environnement.

Les autres aspects de la robustesse de l'option de gestion d'entreposage perpétuel montrent la nécessité du contrôle institutionnel. Le United States Department of Energy estime que le nombre de victimes dans la population à long terme (100 à 10.000 ans après la mise en service) serait d'environ 3.300 si le contrôle institutionnel, pour quelque raison que ce soit, prenait fin après le court terme. A titre de comparaison : si le contrôle institutionnel est bien conservé, 10 victimes parmi les employés et 3 victimes parmi la population sont attendues. En cas de perte complète de protection, on pourrait en arriver, dans certains cas, à des doses immédiatement létales, ce qui est évidemment inadmissible. Un entreposage perpétuel sans contrôle institutionnel perpétuel n'est donc pas une option.

En cas de gestion passive, aucune action humaine n'est nécessaire pour garantir la protection de l'homme et de l'environnement. L'influence des évolutions sociétales sur la performance d'un système de dépôt et sur l'exposition radiologique de l'homme et de la nature qui en résulte est donc considérée comme très faible, certainement en comparaison avec une gestion active en surface.

6. CONCLUSION

Ce Strategic Environmental Assessment (SEA) sert de support à une décision de principe sur la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et/ou de longue durée de vie. Plusieurs options de gestion pour le court terme (la première centaine d'années) et le long terme (jusqu'à des dizaines de milliers ou centaines de milliers d'années) sont décrites et évaluées pour ce qui concerne leurs incidences sur l'homme et l'environnement. On ne considère pas seulement les incidences sur l'environnement sensu stricto, mais aussi les aspects sociétaux, économiques et éthiques. L'évaluation s'appuie sur une base de connaissances nationale et internationale étendue.

Etant donné le niveau stratégique de la décision de principe à prendre, le SEA est également de nature stratégique. Cela signifie que les options de gestion ne sont pas décrites avec un niveau de détail important et que le site d'implantation n'est pas fixé. Ainsi, la description et l'évaluation des incidences sont surtout qualitatives et ne peuvent pas se baser sur des connaissances précises de l'environnement hôte. Des affirmations plus détaillées sur la portée des incidences seront à l'ordre du jour dans un stade ultérieur, lorsque les évaluations d'incidences sur l'environnement seront établies pour des sites et/ou des variantes d'exécution bien définis. Cependant, l'évaluation des incidences au niveau stratégique permet dès maintenant de tirer quelques conclusions sur les différentes options de gestion.

Impact radiologique

L'impact radiologique sur l'homme et la nature à court terme est très limité dans des conditions normales et est similaire pour toutes les options de gestion. Seule l'option du statu quo est moins performante car la durée de vie des installations existantes d'entreposage et des conditionnements est limitée.

Même sur le long terme, il n'y a pas de grand risque d'exposition significative à attendre dans des conditions normales. Pour une gestion active, les barrières ouvragées et la gestion compétente offrent la protection nécessaire. Pour la gestion passive, la formation hôte assure la sûreté.

Les différences entre les options de gestion sont plus claires si on considère la robustesse, autrement dit la mesure dans laquelle les options de gestion sont résistantes à toutes sortes de modifications. A court terme, les différences ne sont pas significatives ; une robustesse moins grande s'explique par la durée de vie limitée des installations d'entreposage (option du statu quo) ou par des incertitudes technologiques (mise en forages profonds). Ce sont surtout les changements sociétaux qui peuvent à court terme avoir une influence défavorable sur les options de gestion.

A long terme, la gestion passive (c'est-à-dire le dépôt) est très robuste. Les évolutions naturelles, les changements dans l'installation même, les événements externes non naturels ou les évolutions sociétales n'ont que peu d'influence sur la sûreté d'un dépôt géologique ou d'une mise en forages profonds. La gestion active (entreposage perpétuel) est beaucoup plus vulnérable aux changements sociétaux. Sans une intervention humaine compétente, le risque d'exposition significative est important. Le reconditionnement régulier des déchets entraîne inévitablement une certaine exposition.

Incidences de l'aménagement

Toutes les options de gestion auront un impact significatif sur l'environnement à court terme. Il s'agit toujours de grands projets de construction, pour lesquels un site d'au moins

quelques dizaines d'hectares subira des modifications profondes. La perturbation du sol, de la faune et de la flore, du paysage et des activités humaines présentes est considérable. Les différences entre les options de gestion sont surtout déterminées par les différences en occupation de l'espace. Pour une mise en forages profonds, un site bien plus grand que pour le dépôt géologique ou l'entreposage de longue durée ou perpétuel semble nécessaire car il faut respecter une certaine distance entre les forages. Pour l'option du statu quo, seule une extension limitée sur le site existant est nécessaire et la perturbation est par conséquent réduite.

En plus de l'occupation de l'espace, les travaux de construction sont également déterminants pour l'impact. C'est surtout le dépôt géologique et dans une moindre mesure la mise en forages profonds qui impliquent un terrassement important. Les transports par camion qui y sont liés entraînent une pollution de l'air, une nuisance sonore et une gêne de mobilité pour les riverains. Pour l'entreposage de longue durée ou perpétuel et pour l'option du statu quo, le terrassement est moins important, mais les travaux sont concentrés sur un période bien plus courte, ce qui résulte temporairement en une intensité plus élevée des transports. Pour l'entreposage perpétuel, les incidences sont récurrentes. Un risque sérieux pour la santé ne serait pas à l'ordre du jour.

Le site à long terme

Une grande différence entre la gestion active et passive est la mesure dans laquelle le site peut être utilisé ou développé à terme. Dans une gestion active, les installations de surface restent présentes « éternellement » et le site est occupé en permanence. Pour la gestion passive au contraire, il est en principe possible de démanteler les installations en surface. Ainsi, un développement naturel ou paysager favorable est possible ou le site peut être réutilisé pour certaines activités humaines.

Coûts et financement

Toutes les options de gestion entraînent des coûts considérables. Pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds, il est possible de prévoir maintenant les fonds nécessaires. A long terme, ces options de gestion posent peu ou pas d'exigences financières. La nécessité d'un reconditionnement régulier pour l'entreposage perpétuel fait que dans la pratique l'établissement d'un mécanisme de financement adéquat est rendu impossible. Cela signifie que des charges financières considérables sont transmises aux générations futures. Il en est de même pour les options de gestion non définitives : les coûts pour la mise en œuvre d'une option de gestion définitive seront dans ce cas toujours transférés.

Aspects éthiques

Les arguments éthiques sur base de principes acceptés internationalement, comme le principe de précaution, le développement durable et l'équité intragénérationnelle et intergénérationnelle entraînent une préférence pour les options de gestion passive. La responsabilité est prise dans ce cas au sein de la génération actuelle et il n'y a plus de charges transmises aux générations futures. Le financement est assuré par les pollueurs actuels (notamment les producteurs d'électricité nucléaire). On peut y opposer le fait que la flexibilité et la liberté de choix pour les générations futures sont plus grandes dans la gestion active.

Sécurité et safeguards

Les installations pour l'entreposage de longue durée ou le dépôt de déchets radioactifs ne sont pas considérées comme des cibles attrayantes pour des actes malveillants. La localisation souterraine dans le cas d'un dépôt géologique ou d'une mise en forages

profonds est un avantage supplémentaire. Cela n'enlève rien au fait qu'il faut prendre les mesures de sécurité nécessaires sur le site.

Les contrôles effectués par l'AIEA et l'EURATOM dans le cadre des safeguards pour les installations d'entreposage peuvent se faire avec des techniques classiques. Pour le dépôt géologique et la mise en forages profonds, des techniques plus complexes sont nécessaires. Le vol de matière nucléaire est bien plus difficile à cause de la location souterraine.