

Gestion des déchets radioactifs

ISBN 978-92-64-99108-8

Optimisation des stockages géologiques de déchets radioactifs

Recommandations nationales et internationales
et futurs thèmes de discussions

© OCDE 2010
NEA n° 6837

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

L'AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1er février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Publié en anglais sous le titre :

Optimisation of Geological Disposal of Radioactive Waste

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : www.oecd.org/editions/corrigenda.

© OCDE 2010

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.

AVANT-PROPOS

Le Forum des régulateurs (RWMC-RF) du Comité de gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN est une enceinte établie comprenant des régulateurs de haut niveau impliqués dans la gestion des déchets radioactifs et le démantèlement des installations nucléaires. Le Forum des régulateurs a été créé en 1998 et ses membres représentent actuellement les autorités de sûreté de 17 pays de l'OCDE. Le Forum fournit à ses membres l'occasion de discuter librement et d'appréhender les expériences des autres pays ainsi que les bonnes pratiques réglementaires, en vue de l'amélioration de la réglementation dans les domaines concernés. Le Forum promeut une interaction efficace entre régulateurs, maîtres d'ouvrage, spécialistes de R&D, responsables politiques et spécialistes en sciences humaines au cours d'ateliers et dans le cadre d'autres activités du RWMC.

Dès sa création, le Forum des régulateurs a examiné la nature du système réglementaire de la gestion des déchets radioactifs et la manière d'exercer la fonction correspondante. Le Forum des régulateurs accorde un intérêt particulier aux critères de sûreté, ainsi qu'aux aspects réglementaires liés à la réversibilité, à la démarche d'optimisation et à la surveillance à long terme des stockages géologiques. Le Forum s'intéresse aussi aux pratiques réglementaires qui se mettent en place dans le domaine du démantèlement. Pour ce qui concerne le rapport entre réglementation et aspects sociétaux, le Forum reconnaît l'importance d'un suivi, d'une part, de la réflexion dans le domaine de l'éthique quant aux responsabilités des régulateurs vis-à-vis de la génération présente et des générations futures et, d'autre part, de l'évolution quant aux attentes de la société sur leur rôle.

Alors que les programmes nationaux de stockage géologique progressent vers leur mise en œuvre, le processus d'« optimisation » et les exigences réglementaires associées suscitent une attention accrue. Les échanges au sein des groupes d'experts de l'AEN ont montré que les régulateurs et les exploitants pourraient ensemble bénéficier d'un examen des concepts applicables ainsi que des recommandations et de l'expérience disponibles. Ce rapport récapitule et examine les concepts relatifs à l'optimisation des systèmes de stockage géologique tels qu'ils sont mis en avant dans les textes réglementaires nationaux

et les recommandations internationales. Il présente également un certain nombre d'observations et de questions clés. De façon générale, l'étude montre que, lorsque l'on traite de l'optimisation, il existe des marges substantielles pour clarifier les concepts, les faits et les options ainsi que pour s'assurer que les textes réglementaires sont suffisamment précis et applicables.

L'objectif de ce rapport est de servir de base d'échanges au sein et au delà des comités et des groupes d'experts de l'AEN. Une version précédente a été utilisée au cours des discussions à l'atelier de Tokyo du RWMC-RF du 20 au 22 janvier 2009. À plus long terme, il est envisagé que le rapport aide à instaurer une compréhension partagée sur la façon dont les concepts d'optimisation ou les exigences associées peuvent être interprétés, et la façon dont ces exigences peuvent être formulées de sorte que la réglementation soit transparente, proportionnée et applicable.

Remerciements

Ce rapport est le résultat d'une étude demandée par le RWMC-RF et menée par Claudio Pescatore et Philippe Rimbault. Il a fait l'objet d'un examen et d'une amélioration par le RWMC-RF qui a également approuvé sa publication.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	3
1. INTRODUCTION	7
2. LES CONCEPTS USUELS D’OPTIMISATION ET LES RECOMMANDATIONS ASSOCIÉES	11
2.1 Les recommandations de la CIPR.....	11
2.2 Les recommandations de l’AIEA	14
2.3 La directive européenne sur les « meilleures techniques disponibles »	16
2.4 Textes réglementaires au niveau national	17
3. PRINCIPALES OBSERVATIONS ET QUESTIONS.....	21
4. CONCLUSIONS	31
5. RÉFÉRENCES	35

1. INTRODUCTION

La sûreté d'un système de stockage repose, finalement, sur le choix du site et les caractéristiques de sa conception, de sa construction et de son évolution dans le temps et non sur les arguments avancés pour démontrer sa sûreté. L'adoption d'une méthode rigoureuse pour le choix du site et la construction d'un système de stockage fiable, complétée par une assurance qualité scrupuleuse, est un préalable de sûreté. Le dossier de sûreté présente pour chaque cas les bases pour juger de la sûreté de l'installation de stockage et d'orienter le choix du site et la conception, la construction, l'exploitation et la fermeture de l'installation de stockage.

Pour démontrer la performance d'un système de stockage géologique dans le long terme en matière de sûreté, les organisations internationales compétentes recommandent à l'organisme responsable du dossier de sûreté de s'appuyer non seulement sur des analyses faisant appel à des indicateurs opérationnels classiques de protection, à savoir la « *dose* » et le « *risque* », mais également sur des modes complémentaires de raisonnement et d'analyse et des indicateurs complémentaires de performance. L'utilisation de *plusieurs modes de raisonnement* et d'*indicateurs complémentaires de performance* permettra de convaincre de la véracité des allégations sur la capacité du système de stockage géologique de se comporter comme prévu dans le temps. Les recommandations nationales et internationales mentionnent expressément la mise en œuvre de *principes rationnels d'ingénierie et de gestion* pour obtenir l'autorisation de création et de construction d'une installation de stockage géologique de déchets radioactifs. Ces textes peuvent aussi préconiser de présenter et de justifier la démarche adoptée pour réduire, en particulier, les expositions radiologiques dans les dossiers de sûreté afin d'augmenter la confiance dans la sûreté de l'installation. Globalement, ces concepts sont liés à la notion plus générale d'« *optimisation* », qui consiste à choisir la combinaison « optimale » parmi différentes solutions techniques envisageables pour respecter un ensemble de spécifications. En principe, l'objectif est de trouver la combinaison optimale, ou « meilleure » combinaison, de propriétés visant à concilier les impératifs de sûreté à court et à long terme tout en préservant les intérêts des générations actuelles et futures. Il s'agit là d'un objectif idéal plus que d'un objectif vraiment réalisable dans la pratique.

À présent que les projets de stockage approchent de leur mise en œuvre industrielle, le concept d'« optimisation » et ses implications sur le choix du site, la conception, la construction, l'exploitation et la fermeture d'une installation de stockage font l'objet d'une attention accrue. Les recommandations sont, cependant, génériques à ce stade. Les échanges au sein des groupes de l'AEN ont montré que les autorités de sûreté et les exploitants tireraient profit d'un examen des concepts applicables, de l'expérience acquise et des recommandations émises aux niveaux national et international. Ce document a été rédigé à la suite du grand intérêt manifesté dans ce domaine par le Forum des régulateurs du Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN (RWMC-RF) et le Groupe d'intégration pour le dossier de sûreté des stockages de déchets radioactifs (IGSC).

Ce document vise à stimuler la réflexion sur l'optimisation d'une installation de stockage et à favoriser une convergence de vue sur l'interprétation des différents concepts d'optimisation ou des prescriptions correspondantes ainsi que sur la manière de formuler ces dernières pour rendre la réglementation transparente, compréhensible et applicable pendant les dizaines d'années que peut durer le processus par étapes qui accompagne le développement d'un projet de stockage profond. Le document a été élaboré, à l'origine, pour servir de base de discussion dans le cadre de l'Atelier de Tokyo organisé par le RWMC-RF, du 20 au 22 Janvier 2009¹. L'atelier a permis de valider le texte de ce document.

Dans ce document en cinq parties, font suite à la section introductive qui précède :

- La section 2 qui résume et analyse les concepts relatifs à l'« optimisation » des systèmes de stockages géologiques, tels qu'ils sont présentés dans les textes nationaux et internationaux ainsi que dans le cadre des travaux réalisés par les groupes de l'AEN. Ont servi de sources d'information les recommandations émises par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la Directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (IPPC) de la Commission européenne, ainsi que par les documents du RWMC-RF et de l'IGSC. Cette section s'appuie sur une analyse bibliographique plus détaillée qui est présentée dans un document de référence complémentaire.

1. Actes de l'atelier dont la publication est prévue en Automne 2009. Les enseignements recueillis et le programme de l'atelier sont présentés dans le rapport NEA/RWM/RF(2009)1, qui est consultable par le public.

- La section 3 présente un ensemble d'observations et quelques questions clés sur les concepts fondamentaux d'« optimisation » visant plus particulièrement les grandes échelles de temps. Il peut être utile, dans ce contexte, de distinguer différentes formes d'optimisation, allant de la simple minimisation de la dose ou du risque radiologique, indépendamment d'autres considérations, à l'« optimisation du système de stockage », à savoir la protection de l'homme et de l'environnement contre tous types de risques compte tenu des considérations sociales et économiques. Ces différentes formes d'optimisation ne conduisent pas nécessairement au même résultat.
- La section 4 présente les conclusions de l'étude.

2. LES CONCEPTS USUELS D'OPTIMISATION ET LES RECOMMANDATIONS ASSOCIÉES

Cette section résume et analyse les concepts se rapportant à l'« optimisation » des systèmes de stockages géologiques, présentés dans les textes nationaux et internationaux ainsi que dans les travaux des groupes de l'AEN. Cette section se fonde sur une analyse bibliographique plus détaillée où d'autres textes sont cités².

2.1 Les recommandations de la CIPR

1. La CIPR a développé au fil des ans un système de protection radiologique qui s'applique à toutes les situations d'expositions radiologiques. Les recommandations générales les plus récentes font l'objet de la publication n° 103 de la CIPR (CIPR-103) publiée en décembre 2007 [1]. Sur le plan de l'optimisation, ce document prend en compte les recommandations de la CIPR-101 publiées en janvier 2006 [2]. Par ailleurs, un document plus récent consacré aux champs d'application (CIPR-104) traite de l'exclusion et de l'exemption. Il est également subordonné à la CIPR-103.
2. L'un des principes de base de la CIPR est le principe d'« optimisation de la protection ». Suivant ce principe, l'exposition doit être maintenue au niveau le plus bas que l'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux (principe ALARA, CIPR-60 [3], CIPR-103). Le principe ALARA peut être mis en œuvre de manière formelle dans les installations pouvant faire l'objet d'un contrôle. En outre, le retour d'expérience du fonctionnement de l'installation peut être utilisé pour améliorer les caractéristiques techniques et organisationnelles de l'installation de façon à maintenir les expositions ALARA.

2. Voir le rapport NEA/RWM/RF(2008)3.

3. En pratique, toute installation présentant des risques radiologiques peut être à l'origine d'expositions non prévues ou non planifiées, c'est-à-dire d'expositions potentielles. L'exposition potentielle est la situation type susceptible de se produire à long terme dans une installation de stockage de déchets radioactifs en formation géologique. La CIPR-81 (1998) [4] contient des recommandations spécifiques sur les installations de stockage géologique. Le paragraphe 49 de la CIPR-81 ainsi que d'autres recommandations plus anciennes de la CIPR constatent qu'il n'y a pas de techniques formelles pour traiter des expositions potentielles dans les situations de stockage de déchets radioactifs.
4. Dans le cas de situations d'exposition potentielle la CIPR recommande de ne pas mettre en jeu des limites strictes mais plutôt des contraintes de dose ou de risque. Ces contraintes doivent être utilisées de manière « prospectives » dans un processus d'« optimisation sous contrainte » (CIPR-81, Par. 36). Ce processus doit être expliqué clairement. Le respect d'un critère de radioprotection ne suffit pas pour se prononcer sur l'acceptabilité d'un dossier de sûreté (CIPR-81, paragraphe 77).
5. La CIPR-103, dont l'objectif est d'améliorer et de rationaliser la présentation des recommandations précédentes de la CIPR, indique que la CIPR-81 reste valide pour les situations de stockage (paragraphe 265). Cette publication de la CIPR précise, en outre, que, dans le cadre d'un processus d'optimisation, « la meilleure option n'est pas nécessairement celle correspondant à la dose la plus faible ». De surcroît, on peut lire dans le paragraphe 223 que « Tous les aspects de l'optimisation ne peuvent pas être codifiés ; toutes les parties prenantes doivent plutôt se positionner par rapport au processus d'optimisation. Lorsque l'optimisation est traitée du point de vue de l'autorité de sûreté, l'attention ne doit pas être uniquement portée sur les résultats de l'optimisation, mais plutôt sur les processus, les procédures et les jugements qui ont conduit à cette optimisation. Un dialogue ouvert doit être établi entre l'autorité de sûreté et l'opérateur, et la réussite du processus d'optimisation dépendra essentiellement de la qualité de ce dialogue ».
6. Conformément à la CIPR-81, *l'optimisation sous contrainte* est « un processus faisant appel au jugement et doit être conduite d'une manière structurée, essentiellement qualitative » lors de la conception du stockage et de sa réalisation. L'objectif est de s'assurer que des mesures raisonnables ont été adoptées pour réduire les doses futures de telle façon que les ressources nécessaires soient en adéquation avec ces réductions (paragraphe 50). Les estimations des doses ou des risques

individuels sont des données utilisées pour le processus d'optimisation ; l'élément important de la démarche d'optimisation de la radioprotection est le processus structuré mis en place lors de la conception et de la mise en œuvre. L'application de « bonnes pratiques »³ est la condition fondamentale de la réussite du processus d'optimisation car il assure la robustesse et l'efficacité du système. La défense en profondeur et l'assurance qualité sont citées comme exemples de « bonnes pratiques » dans la publication CIPR-81. Les études de sûreté intermédiaires réalisées périodiquement pour déceler les vulnérabilités du système de stockage en sont un autre exemple. La CIPR souligne la différence de nature entre les évaluations du type intrusion humaine et les scénarios impliquant des processus naturels. En particulier, la CIPR recommande différentes valeurs de contrainte de dose pour les deux types de scénarios. Il ressort de la cohérence entre les paragraphes 52 et 78 de la CIPR-81 que les évaluations d'intrusions humaines devraient encore plus mettre l'accent sur la mise en œuvre de « bonnes pratiques » (voir aussi le paragraphe 51).

7. En termes de critères de jugement relatifs à la conformité réglementaire concernant l'optimisation, la CIPR-81 met en avant la qualité de l'approche retenue et la pertinence des dispositions mises en place pour assurer la protection radiologique. La CIPR-81 indique que le caractère qualitatif du jugement relatif à l'obtention d'un système optimisé ne doit pas conduire à un processus de durée indéterminée. En l'occurrence, on peut considérer que les prescriptions relatives à la radioprotection ont été respectées si des mesures raisonnables ont été prises pour satisfaire les contraintes de protection radiologique pour les processus naturels et pour réduire la probabilité ou les conséquences des intrusions humaines involontaires et que des principes techniques, d'ingénierie et de gestion rationnels ont été appliqués (paragraphe 78). Il est intéressant de noter que le paragraphe qui précède ne mentionne pas explicitement qu'il est nécessaire de choisir entre diverses options. Cependant, la cohérence des paragraphes 50 et 78 de la CIPR-81 implique qu'un processus d'optimisation a été suivi de manière à aboutir à la mise en œuvre de « mesures raisonnables » et « à se conformer aux contraintes » de radioprotection pour les scénarios d'évolution naturelle.

3. « Principes d'ingénierie et de gestion rationnels » selon les termes de la CIPR-81 ; « bonnes pratiques » est utilisé dans le reste du document.

8. La CIPR-81 traite aussi du concept des « meilleures techniques disponibles n'engendrant pas de coûts excessifs », ou « *Best available technology not entailing excessive costs* » (BAT) proposé par la Commission européenne. En l'espèce ce concept diffère de l'optimisation au sens de la CIPR, en ce qu'il considère l'environnement dans son ensemble et que, de ce fait, il ne s'agit pas d'un processus destiné à procéder à des évaluations des expositions radiologiques à l'homme par référence à une contrainte. La CIPR souligne que ce concept peut être utile lors que les évaluations des conséquences radiologiques deviennent trop peu fiables. Donc, il est peut-être plus proche du concept d'application de « principes d'ingénierie et de gestion rationnels » (« bonnes pratiques ») que de celui d'« optimisation de la protection (radiologique) ».
9. Enfin, alors qu'en général il faut considérer que la dose ou le risque, même pour des expositions potentielles, se rapportent à un détriment sanitaire (voir le glossaire de la CIPR-103), une exception doit être faite pour le stockage de déchets radioactifs. La CIPR-81 et la CIPR-103 affirment que « les doses et les risques, en tant que mesures d'un détriment sanitaire, ne peuvent pas être évaluées avec certitude sur des périodes dépassant plusieurs centaines d'années. Seules des estimations de ces doses peuvent être faites ». « De telles estimations ne devraient pas être considérées comme des mesures d'un détriment sanitaire ». Le paragraphe 71 de la publication 81 de la CIPR établit un lien entre la possibilité d'utiliser la dose ou le risque comme mesures du détriment sanitaire et la prédictibilité de l'évolution du système de stockage dans le temps. Dans la CIPR-77 [5], il est en outre souligné que le lien entre dose et détriment sanitaire devrait vraisemblablement évoluer avec le temps.

2.2 Les recommandations de l'AIEA

1. Le standard de référence de l'AIEA sur le stockage géologique est le WS-R-4 [6]. Ce document, à l'instar d'autres documents de l'AIEA, s'appuie sur les recommandations de la CIPR et notamment sur la CIPR-81, et il est supposé être conforme aux principes fondamentaux de sûreté de l'AIEA présentés dans le document « *Safety Fundamental No. 1* » SF-1 publié en 2006 [7]. Étant de haut niveau et applicable à tout type d'installation et au transport, le SF-1 est de portée très générale. Il est intéressant de noter, toutefois, que l'un des principes fondamentaux de sûreté concerne l'optimisation. Le Principe n° 5 stipule que pour toute installation qui entraîne des risques radiologiques que « *la protection doit être optimisée avec l'objectif d'assurer le plus*

haut niveau de sûreté pouvant raisonnablement être atteint ». Dans le reste du texte du SF-1, la sûreté est alors très étroitement liée au risque radiologique.

2. Dans le WS-R-4 l'optimisation est décrite comme un processus devant être mis en œuvre tout au long du développement d'une installation de stockage géologique en visant à l'acquisition progressive d'une compréhension adéquate de la pertinence et des implications pour la sûreté des options élaborées par l'exploitant dans le but ultime d'éviter ou de réduire les expositions radiologiques. L'optimisation de la radioprotection dans le cas d'une installation de stockage géologique est un processus faisant appel au jugement qui s'applique aux décisions prises au cours du développement de la conception de l'installation. Un lien fort est établi entre l'optimisation de la radioprotection et l'application de « principes d'ingénierie et de gestion rationnels » (« bonnes pratiques »). On voit dans ces principes un moyen permettant d'arriver à un processus d'optimisation de la radioprotection plus convaincant.
3. Le WS-R-4 cadre assez étroitement avec la CIPR-81 (paragraphe 78) en ce qui concerne la conformité réglementaire et la référence à l'optimisation. L'accent est mis dans la CIPR-81 sur des « dispositions raisonnables » ; le WS-R-4 précise ce que pourraient être certaines de ces dispositions. Un critère de conformité stipule qu'il faudrait une « assurance raisonnable » que les doses ou risques évalués *ne dépassent pas* les contraintes pour l'évolution normale attendue du système. Il correspond à priori à l'expression « *respecter les contraintes* » de la CIPR-81. L'AIEA et la CIPR semblent ainsi distinguer la période avant la fermeture de l'installation de stockage géologique, au cours de laquelle des conséquences radiologiques aussi faibles que raisonnablement possibles sont exigées, du long terme pour lequel on ne demande que le respect d'une contrainte.
4. Le WS-R-4 avertit en outre que les analyses d'impact radiologique sont de moins en moins fiables plus on se projette dans le temps, et qu'il faut le prévoir et en tenir compte dans l'appréciation finale sur le dossier de sûreté. Cependant, contrairement à la CIPR-81, aucune indication n'est donnée sur les périodes de temps concernées.
5. Le WS-R-4 insiste sur l'importance d'une approche par étapes et de l'évaluation de plusieurs options à chaque échéance décisionnelle. Les conditions d'obtention d'un système optimisé sont indiquées. En particulier, les implications à long terme sont mises en avant pour le

choix de la meilleure option, l'objectif ultime étant d'assurer un niveau optimisé de sûreté en exploitation et après la fermeture du stockage. Il n'y a, cependant, aucune recommandation sur la manière de fixer le poids respectif à donner à la sûreté en exploitation et à la sûreté post-fermeture. De plus, quand plusieurs choix sont considérés, il est précisé dans les prescriptions de l'AIEA que d'autres facteurs pourraient être pris en compte, tels que la disponibilité de voies de transport, l'acceptation du public et le coût.

2.3 La directive européenne sur les « meilleures techniques disponibles »

1. La directive IPPC (directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution) de la Commission européenne [8] demande que les installations soient exploitées de telle façon que les « meilleures techniques disponibles » (*Best available techniques* ou BAT) soient utilisées comme mesures préventives ou correctives pour éviter la pollution de l'environnement.
2. La directive IPPC définit « meilleures », « disponibles », et « techniques » : (a) « techniques » se réfère aussi bien aux techniques employées qu'à la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt, (b) « meilleures » se réfère aux techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble ; (c) « disponibles » signifie que l'exploitant peut y avoir accès dans des conditions raisonnables et que les techniques ont été mises au point sur une échelle suffisante. Ce texte comme ceux de la CIPR et de l'AIEA, exprime la volonté de maintenir les éventuels effets indésirables à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Le concept de BAT introduit par l'IPPC se réfère surtout à des situations d'exploitation mais il peut aussi être appliqué à la protection de l'environnement à long terme. La plus grande différence entre ce concept de l'IPPC et les concepts de la CIPR en matière d'optimisation réside dans le fait que cette dernière utilise les contraintes radiologiques comme mesure et met l'accent sur les expositions radiologiques, alors que, dans la directive IPPC, le concept de meilleures techniques disponibles est axé sur la protection contre toutes les sources de danger sans qu'aucun critère de référence ne soit spécifié. Ce concept, dans le sens que lui donne l'IPPC, vise l'*optimisation de la protection en général* à distinguer de l'*optimisation de la radioprotection*.

2.4 Textes réglementaires au niveau national

Des pays préparent des textes réglementaires sur la démonstration de la sûreté à long terme. L'application du concept d'optimisation y est plus ou moins détaillée suivant les pays mais reste le plus souvent à un niveau très général. « Aussi faible que raisonnablement possible », « optimisation », « principes rationnels d'ingénierie et de gestion », « meilleures techniques disponibles » ou autres expressions apparentées apparaissent sous diverses formes dans tous les textes réglementaires. La signification de ces termes, l'interprétation des recommandations internationales et l'ampleur des règles varient énormément d'un pays à l'autre. Ainsi :

1. La réglementation suédoise de radioprotection pour les stockages géologiques définit l'« optimisation » et les « meilleures techniques disponibles (BAT) ». L'optimisation est définie comme un processus visant à limiter la dose et le risque (également à long terme) mis en évidence par des évaluations périodiques des risques. Selon cette définition, l'optimisation est un concept très analogue à la réduction de dose d'une quantité qui peut, au moins en principe, être calculée. Cette réglementation s'inspire des textes de radioprotection, mais transparait dans celle-ci une approche plus formelle et évidente de l'optimisation radiologique, – plus quantitative – que celle présentée dans la CIPR-81. Aussi, aux « principes rationnels d'ingénierie et de gestion » de la CIPR-81, le régulateur suédois préfère son propre concept de BAT. Ce dernier se rapporte aux activités destinées à limiter la dose et le risque au moyen de toute mesure pouvant empêcher, limiter ou retarder les relâchements à travers les barrières de confinement du système de stockage. On considère que ce concept favorise la robustesse intrinsèque et, donc, la sûreté radiologique bien que de manière non quantifiable.
2. Les textes suédois donnent des exemples de conflits pouvant découler de l'utilisation de l'optimisation radiologique et du concept de BAT. En cas de conflit, le concept de BAT l'emporte. De plus, le concept de BAT devient le principal critère à très long terme quand les analyses de risque sur lesquelles s'appuie l'optimisation radiologique deviennent les moins fiables. Enfin, pour permettre aux autorités de juger de la conformité réglementaire, l'exploitant devrait notamment indiquer dans son dossier comment il a appliqué les principes d'optimisation radiologique et de BAT au choix du site et à la conception de l'installation de stockage et des composants correspondants du système, ainsi que la démarche d'assurance qualité qu'il a adoptée pour les différentes étapes des travaux et les analyses de risques correspondantes. Le concept de BAT, dans l'esprit du régulateur

suédois, s'identifie en quelque sorte aux performances des barrières ouvragées dans la mesure où il leur est alloué des fonctions de sûreté essentielles. Ce concept se trouve donc lié à celui de radioprotection. Cette interprétation des meilleures techniques disponibles peut sembler différente en théorie de celle qui apparaît dans la directive IPPC mais elle est en fait de même nature car dans les deux cas elles peuvent contribuer à réduire l'impact global sur l'environnement.

3. En Finlande, la réglementation stipule que l'utilisation des meilleures connaissances scientifiques et technologie disponibles devra être prise en compte dans le projet. Dans le cadre de la récente modification de la loi sur l'énergie nucléaire, le principe SAHARA (niveau de sûreté le plus élevé qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre) a été intégré. Les règlements ne contiennent aucune autre directive et n'exigent pas d'évaluations formelles et rigoureuses démontrant le respect des principes ci-dessus.
4. Les textes réglementaires du Royaume-Uni sur le stockage des déchets radioactifs solides spécifient que l'optimisation s'applique uniquement aux risques radiologiques pour l'homme. Les autres organismes vivants doivent aussi être protégés des risques radiologiques mais il n'y a pas d'exigence d'optimisation les concernant. Les textes réglementaires précisent que l'optimisation est un processus prospectif, itératif et continu visant à augmenter au maximum la part des effets bénéfiques par rapport aux impacts négatifs, qui prend en compte les facteurs techniques et socio-économiques, et fait appel à des jugements fondés sur des éléments aussi bien qualitatifs que quantitatifs. Ce processus suppose que l'on se demande sans cesse si toutes les mesures auxquelles on pouvait raisonnablement recourir ont été prises pour réduire les risques ? Dans toutes les organisations concernées, il demande une mobilisation à tous les niveaux, ainsi que des procédures et des ressources appropriées. Les décisions relatives à l'optimisation d'une installation de stockage des déchets radioactifs mettent en balance l'impact associé au risque radiologique, les autres bénéfices et impacts (économiques, humains, sociétaux, politiques, etc.) évalués d'une part au moment où les décisions sont prises et d'autre part dans le futur, ainsi que les ressources disponibles pour protéger l'homme et l'environnement. Ces décisions sont contraintes par les conditions prévalant au moment où elles sont prises. Il faut replacer l'optimisation dans un contexte plus large en sachant qu'il faudra procéder à des arbitrages compte tenu de la limitation des ressources, et qu'il est impossible de gérer les déchets radioactifs avec un risque zéro. L'optimisation permet de ramener le risque radiologique à un niveau

suffisamment faible sans pour autant choisir le niveau de risque le plus faible qu'il soit possible d'atteindre.

5. Aux États-Unis, la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) requiert que la protection radiologique dans l'installation de stockage des déchets radioactifs avant sa fermeture soit optimisée conformément au principe ALARA. La NRC précise, cependant, que l'application du principe ALARA n'est pas adaptée à la réalisation des objectifs de performances à long terme car elle demanderait que les bénéfices et les impacts soient évalués sur une période couvrant un grand nombre de générations. Elle considère qu'une fois l'installation fermée, le respect de prescriptions strictes, incluant un objectif de performance, permet de protéger la santé et la sécurité publiques. Le programme américain s'inscrit dans un processus de développement par étapes qui permet de modifier la conception du stockage en fonction des nouvelles technologies ou d'autres facteurs. En ce sens, on peut considérer que le résultat du processus de développement du stockage conduit à l'optimisation de ses performances. Cette approche semble finalement très proche de celle décrite dans la CIPR-81 pour juger de la conformité à la réglementation. Aux États-Unis, l'optimisation étant un processus limité dans le temps, dès que les performances du stockage sont conformes aux exigences réglementaires, on estime que la santé et la sécurité publiques sont préservées, et on n'exige l'adoption d'aucune autre mesure.

3. PRINCIPALES OBSERVATIONS ET QUESTIONS

Cette section présente une série d'observations et de questions clés sur les concepts fondamentaux de l'« optimisation » à long terme en particulier.

Quatre observations générales et interdépendantes peuvent être formulées :

1. La radioprotection a une signification différente ou peut être interprétée de manière différente dans la phase pré-fermeture et dans la phase post-fermeture d'une installation de stockage. Dans ce dernier cas, les éléments de retour d'expérience de l'exploitation, le contrôle de la protection sont absents, et les expositions radiologiques peuvent seulement être estimées. Ceci conduit à se poser la question fondamentale de savoir si un terme identique peut être utilisé pour traiter de la protection avant et après la fermeture de l'installation. Il convient donc de différencier clairement l'optimisation de l'installation pendant sa phase d'exploitation et dans le futur lointain. On observe une tendance à mélanger les deux domaines dans le cadre d'un processus d'optimisation alors qu'il est plus pertinent de sérier les problèmes.
2. La CIPR et l'AIEA ainsi que plusieurs réglementations nationales soulignent l'importance d'une démarche d'optimisation progressive. Des suggestions sont formulées pour parvenir à optimiser le système, avec pour but ultime de mettre en place un niveau optimisé de sûreté radiologique en exploitation et en phase de post-fermeture. On constate, toutefois, l'absence de recommandations spécifiques sur les méthodes permettant de trouver le juste équilibre entre les contributions respectives de la sûreté en exploitation et de la sûreté post-fermeture.
3. La CIPR-103 précise que, dans un processus d'optimisation, l'option choisie n'est pas nécessairement celle qui correspond à la dose la plus faible. Les recommandations de l'AIEA stipulent que, à des fins d'optimisation, il faudra peut-être prendre en compte des facteurs autres que la radioprotection, tels que la disponibilité de voies de transport, l'acceptabilité par le public et le coût. Des facteurs qui ne sont pas nécessairement radiologiques ont été mis en avant dans les programmes nationaux : prédictibilité, démontrabilité, flexibilité, faisabilité de la construction, de l'exploitation, de la maintenance et récupérabilité, entre autres. Il serait utile qu'une distinction plus claire soit faite entre

optimisation du système et optimisation radiologique. On observe donc apparemment une volonté d'évoluer de l'optimisation de la radioprotection à l'optimisation du système, à savoir de la prise en compte de considérations sociales et économiques parallèlement à tous les types de risques.

4. On perçoit dans les publications récentes l'émergence de l'idée que l'optimisation devrait plus concerner les procédures que les résultats.

Citons aussi les observations suivantes :

- Le concept d'optimisation de la protection a été proposé et développé au cours des ans par les radioprotectionnistes, et il figure dans diverses publications de la CIPR. Ces publications mettent l'accent sur l'optimisation de la radioprotection et ont inspiré des recommandations complémentaires au niveau international, par l'AIEA, et, au niveau national, par les autorités compétentes. Parmi les ouvrages de la CIPR, la publication de référence traitant des recommandations pour les stockages géologiques est la CIPR-81. Elle a été publiée en 1998 et sa validité a été réaffirmée très récemment dans la CIPR-103 en décembre 2007. Le concept de « meilleures techniques disponibles » (BAT) développé dans la directive IPPC de la Commission européenne a aussi plus ou moins influencé les recommandations internationales et nationales. Ce dernier concept s'applique à la protection globale de l'environnement et ne se limite donc pas à la simple radioprotection. Le concept CIPR de l'application de « bonnes pratiques » peut présenter des similitudes avec le concept de BAT, même s'il est cité dans le contexte de la protection contre l'exposition aux rayonnements ionisants.
- Selon l'approche de l'optimisation habituellement adoptée par la CIPR en ce qui concerne les pratiques impliquant des expositions radiologiques, une contrainte de dose ou de risque devrait être considérée comme un seuil pour accepter ou non une option étudiée. Si l'impact associé à cette option est inférieur au seuil, il faut poursuivre le processus d'optimisation, ce qui aboutit généralement à des solutions dont l'impact est nettement inférieur au seuil. Cependant, en théorie la solution pourrait être très proche du seuil. L'approche de la CIPR-81 dans le cas du stockage est moins ambiguë car il suffit, pour la conformité réglementaire, de se situer sous le seuil et de démontrer que de « bonnes pratiques », sont appliquées (paragraphe 78) pour que la poursuite du processus d'optimisation ne soit pas jugée nécessaire. Cela semble être également la position du WS-R-4 de l'AIEA.

- D'après la CIPR, un stockage géologique à un horizon lointain correspond à une situation radiologique très spéciale. Pour les stockages, on manque, à long terme, d'indicateurs du détriment sanitaire réel dû à l'exposition radiologique. La position de la CIPR sur l'utilisation et la signification de la dose et du risque peut être résumée de la façon suivante : (a) quelques centaines d'années après la fermeture définitive du stockage, quand la dose et le risque peuvent être évalués avec un haut niveau de fiabilité, ils devraient être considérés comme une mesure du détriment sanitaire ; (b) quand les évaluations deviennent moins fiables, la dose et le risque peuvent être estimés, mais ils ne devraient pas être interprétés nécessairement comme une mesure du détriment sanitaire mais plutôt, progressivement, comme des indicateurs de performance ; (c) à des horizons où les estimations sont très peu fiables, on peut avoir recours au concept de BAT.
- En ce qui concerne les dossiers d'autorisation à établir, la CIPR-81 préconise que le dossier de sûreté final qui doit prouver la conformité réglementaire de l'installation n'a en fait pas besoin de démontrer formellement que la radioprotection a été optimisée mais plutôt de montrer que des dispositions raisonnables ont été intégrées dans la conception du système de stockage pour satisfaire à un ensemble d'exigences incluant celles relatives à ses performances dans le cadre des scénarios d'évolution naturelle. Ces dispositions devront avoir été renseignées par un processus d'optimisation radiologique prenant en compte les contraintes de dose et de risque adaptées. Il faut donc que l'existence de ce processus soit également justifiée. On pourrait avancer que le processus normal de développement par étapes d'une installation de stockage, du stade de sa conception à celui de son implémentation – dans le cadre duquel les concepts font l'objet d'analyses, sont discutés au sein de l'organisation en charge du projet, puis entre celle-ci et les membres des groupes d'expertise, et sont ensuite évalués indépendamment par les autorités de contrôle, et évoluent – est par lui-même un processus implicite d'optimisation. Cette réflexion sous-tend sans doute la position de la NRC aux États-Unis vis-à-vis de la conformité réglementaire aux critères de performance à long terme. D'autres autorités de contrôle préféreront être tenues informées plus formellement des changements conceptuels majeurs introduits et recevoir un compte rendu sur les performances atteintes par rapport à un ensemble d'exigences à l'aide de différents indicateurs. Ces indicateurs incluent la dose estimée (l'exigence correspondante étant la conformité avec la contrainte de dose). Elles souhaiteraient également être

informées sur les décisions prises après avoir évalué ces indicateurs de performances et comparé les alternatives envisagées.

- La manière dont les concepts, tels que BAT, l'optimisation de la radioprotection, etc. sont considérés ou définis et l'importance qui leur est donnée dans les différents contextes réglementaires nationaux varie. Il importe de ne pas perdre de vue la distinction entre l'optimisation de la radioprotection, l'optimisation de la protection dans son ensemble au sens de la protection de l'homme et de l'environnement contre tous types de dangers, et l'optimisation du système au sens de la protection de l'homme et de l'environnement contre tous types de dangers en prenant en compte les contraintes sociales et économiques.

Les points essentiels suivants ressortent de cette étude :

- Selon la CIPR les doses et les risques, en tant que mesures du détriment sanitaire, ne peuvent pas être prévus avec certitude au-delà de quelques centaines d'années et de telles estimations ne devraient pas être considérées comme des évaluations d'un détriment sanitaire.
 - a. Clairement la position de la CIPR s'explique essentiellement par l'augmentation avec le temps des incertitudes associées à l'évaluation des expositions radiologiques et du détriment sanitaire par unité de dose. Existe-t-il d'autres raisons, telles que les incertitudes relatives au comportement de l'homme et de ses caractéristiques, et l'incertitude inhérente à la relation dose-risque ? Si les paramètres de la biosphère sont trop incertains, et sachant que les évolutions des barrières ouvragées et de la géologie sont mieux prévisibles que celle de la biosphère, une analyse fondée sur les fonctions de sûreté du système de stockage ne serait-elle pas plus défendable ? Cela reviendrait à mettre moins l'accent sur l'optimisation de la radioprotection, c'est-à-dire la réduction des doses calculées, pour privilégier l'optimisation de la protection globale par des analyses de la robustesse du système. Les calculs à un horizon lointain peuvent être fondés sur des hypothèses très majorantes (relâchement total de l'inventaire radioactif estimé du stockage dans l'environnement ; utilisation sans restriction, par l'homme, d'eau contaminée). Dans ces conditions l'optimisation qui consiste à réduire des doses calculées n'aboutit pas nécessairement à l'optimisation du système de barrières mais uniquement à l'optimisation du modèle de calcul. En revanche, l'optimisation du système de barrières peut conduire à une limitation du relâchement des substances radioactives ou à une probabilité plus faible de

relâchement d'une certaine fraction de ces substances ainsi qu'à une réduction d'autres risques.

- b. La CIPR constate par ailleurs que la dose efficace, qui est utilisée par les autorités de contrôle dans les situations ordinaires, est une quantité qui n'est pas fondée sur les données relatives à des personnes réelles et ne traduit pas le risque spécifique auquel est exposé un individu particulier mais plutôt le risque auquel est exposé un individu hypothétique de référence (un « adulte sans distinction de sexe ») dans une situation donnée d'exposition radiologique. La dose efficace est employée pour *gérer les effets stochastiques pour les travailleurs et le public* (CIPR-103, Section 4.4.6). La relation dose-risque ne devrait pas être utilisée pour estimer des détriments collectifs, et *la dose efficace collective*, qui est la somme de toutes les doses efficaces individuelles, « *n'est pas destinée à être un outil pour les études épidémiologiques, et il ne convient pas de l'utiliser dans les projections de risque* » (CIPR-103, Section 4.4.7). Ainsi, la dose efficace est un outil utilisé à titre de précaution pour limiter les effets susceptibles de se produire si l'hypothèse linéaire sans seuil (LNT) s'appliquait. Le lien avec un détriment sanitaire réel semble faible.
- Selon les pays, on donne des sens différents à l'optimisation dans le cadre du développement par étapes d'une installation de stockage. Ces interprétations n'empêchent pas d'accorder une importance plus au moins grande à l'optimisation en tant que protection contre les expositions radiologiques à long terme et à ses applications plus générales à d'autres aspects, tels que la protection de l'environnement, la sûreté en général, la protection contre les expositions pendant l'exploitation ainsi que la prise en compte d'autres exigences d'exploitation.
 - L'optimisation d'une installation de stockage géologique fera intervenir un jugement, renseigné par des données quantitatives telles que l'évaluation des doses et des coûts. Il sera peut être aussi nécessaire de mettre en balance d'autres indicateurs de performance et prescriptions avec la radioprotection à long terme.
 - L'objectif de l'optimisation sous contrainte dans la CIPR-81 est de s'assurer que des « *dispositions raisonnables ont été adoptées pour réduire les doses dans le futur* ». Le terme « raisonnable » indique qu'une décision a fait l'objet d'un jugement, et l'on peut se demander s'il est justifié de considérer qu'une décision est raisonnable du fait que

toutes les parties concernées ont accepté le processus retenu pour prendre cette décision.

- L'optimisation de la radioprotection, au sens ALARA, est un concept bien défini durant la phase de gestion active et de contrôle d'une installation. Par conséquent, elle devrait certainement jouer un rôle pendant la phase d'exploitation de l'installation de stockage. Durant cette phase, les doses sont des doses réelles à des personnes réelles. Une difficulté peut surgir si, pour réduire des expositions réelles aux travailleurs et au public pendant la phase d'exploitation, il faut augmenter la dose potentielle que pourraient recevoir des individus dans le futur, ou vice-versa. Les décisions sur le transfert du risque seront vraisemblablement d'actualité alors que l'on s'apprête à construire des installations de stockage⁴, et il ne sera pas facile de juger du poids respectif à donner aux risques réels actuels par rapport aux risques futurs potentiels. La question des transferts de risques pourrait faire partie du processus de prise de décisions qui devrait aboutir à terme à un concept de stockage « optimal ». La CIPR présente quelques recommandations sur le poids respectif à donner aux différentes exigences dans le cadre de transferts de risques : dans le paragraphe 222 de sa publication 103, il est indiqué que, pour prendre des décisions, un poids plus faible peut être donné aux très faibles doses et aux doses relevant d'expositions potentielles dans un futur lointain. Il convient de noter, cependant, que la CIPR-101 (paragraphe 56) évoque aussi la possibilité de donner un poids plus élevé aux doses relevant d'expositions potentielles dans un futur lointain. Le même paragraphe se termine en réitérant un point de vue important émis par la CIPR dans la CIPR-81 et la CIPR-103, à savoir que la « *Commission estime que, si les expositions pouvant se produire concernent une période de temps de quelques générations, notre niveau actuel de connaissance et notre capacité de prévoir les populations futures et les voies de transfert d'exposition peuvent efficacement contribuer à prendre des décisions. Au-delà de ces échelles de temps, la Commission recommande que les doses estimées n'influent pas trop sur la décision* ». ».
- Des conditions permettant de satisfaire au processus d'optimisation sont données dans les prescriptions de sûreté de l'AIEA. En particulier, ces textes insistent sur les conséquences à long terme lorsqu'il s'agit de

4. Un des domaines pertinent, à ce sujet, peut être celui des dispositions mises en place pour la reprise des colis de déchets (récupérabilité). Les dispositions de récupérabilité contribueront-elles à optimiser la radioprotection ? À quelles échéances et pour quelles périodes ?

choisir la meilleure option. Cependant quelques prescriptions auraient besoin d'être plus détaillées. Lorsque différentes options de conception sont analysées il est important d'identifier, en ce qui concerne les conséquences à long terme, les critères pertinents à retenir (doses estimées ou risques, impact sur l'environnement, performance des barrières, réduction des incertitudes...). Les conséquences à long terme ne sont pas les seuls critères. Elles devraient être mises en regard des conséquences à court ou moyen terme (protection pendant la phase d'exploitation, récupérabilité, coûts, facteurs sociaux). Il s'agit là de l'optimisation globale du système de stockage. Les critères de progrès tout au long des étapes successives du programme devraient être mis en évidence et les objectifs finaux de l'optimisation définis. Sachant que la sûreté d'une installation de stockage dépend finalement du choix du site et des modalités de sa construction, la sûreté est au fond le reflet des meilleurs efforts consentis avant la fermeture de l'installation de stockage. Si ce point de vue est valide, l'optimisation de la radioprotection ne devrait-elle pas être considérée comme s'inscrivant parmi les meilleurs efforts consentis pour réaliser une installation de stockage sûre ? En d'autres termes, un concept tel que les BAT – défini de manière adéquate, en prenant en compte le processus de prise de décisions par étapes et le retour d'expérience d'évaluations périodiques des expositions radio-logiques et d'autres indicateurs, sans se limiter aux indicateurs de performance – pourrait être utilisé comme le concept de référence pour « l'optimisation du système » compte tenu de toutes les périodes, pré-fermeture et long terme compris.

- On identifie le besoin de réflexions plus approfondies pour savoir si le terme ou concept d'« optimisation de la radioprotection » a lieu d'être conservé en tant que concept distinct, jouant un rôle essentiel pour la phase de post-fermeture du stockage géologique. La présente étude porte à croire que l'intégration de ce concept dans le concept plus général, par exemple, de BAT ou d'application de « bonnes pratiques » doit être préconisé et ceci pour les raisons suivantes :
 - a. L'accent mis sur les expositions radiologiques peut masquer les risques provenant de causes non radiologiques. Par exemple, la toxicité chimique des déchets radioactifs peut sur certaines périodes de temps être aussi importante que la toxicité radiologique, et les risques provenant de ces deux sources de danger peuvent être comparables.
 - b. La dose et le risque sont considérés comme des mesures du niveau d'optimisation de la protection contre les expositions radiologiques. Mettre l'accent sur l'optimisation de la radioprotection aux longues

échelles de temps donne de l'importance aux évaluations de doses ou de risques, ce qui pourrait donner la fausse impression que des détriments sanitaires réels aux personnes sont évalués. Ici se pose le problème plus général de savoir si la dose ou le risque doivent être considérés comme les seuls indicateurs ou des indicateurs de référence dans la réglementation relative à la sûreté à long terme des stockages géologiques. On considère actuellement de manière générale que les critères radiologiques sont plutôt des indicateurs de la performance globale à long terme d'une installation de stockage. Le risque subsiste toutefois que l'utilisation de la dose et du risque peut amener à penser à tort que les évaluations de sûreté calculent des détriments sanitaires réels.

- c. L'accent mis sur les analyses d'optimisation de la radioprotection peut reléguer au second rang des analyses qui utilisent des indicateurs autres que la dose ou le risque et qui sont censées évaluer la robustesse du système. Ces analyses sont typiquement celles qui mettraient en avant l'application des « meilleures techniques disponibles (BAT) » ou des « bonnes pratiques ». D'après les documents publiés, il semblerait, toutefois, que ces derniers types d'analyses sont souvent privilégiés pour démontrer la sûreté à long-terme.
- d. En radioprotection, le terme « optimisation » n'est pas utilisé tout à fait de la même manière que dans la littérature scientifique courante, ce qui peut engendrer une certaine confusion. Dans l'acception retenue de manière générale par la CIPR, la contrainte est considérée comme un seuil « acceptable/non-acceptable » au-dessus duquel une situation n'est pas acceptable et en dessous duquel on doit encore optimiser. Dans la littérature scientifique, l'optimisation concerne le respect d'une ou de plusieurs contraintes.

Il convient en outre de se poser les questions suivantes quand on réfléchit à l'optimisation d'une installation de stockage géologique :

- Peut-on clairement distinguer le concept d'optimisation radiologique sous contrainte du concept de BAT ou des « bonnes pratiques » ? Ou l'un des concepts englobe-t-il l'autre ? L'analyse utilisant le concept de BAT est-elle la même que l'analyse de la robustesse du système de stockage ?
- Les dispositions pratiques pour permettre la reprise des colis de déchets doivent-elles être considérées dans l'optimisation globale du concept de stockage ? Peuvent-elles être prises en compte dans le cadre des analyses utilisant le concept de BAT ?

- Dans quelle mesure doit-on établir un lien entre l'optimisation et l'horizon temporel considéré ? Les dispositions techniques pour optimiser un système pourraient être différentes si l'optimisation devait porter sur des périodes de temps de 10 000 ans ou un million d'années.

4. CONCLUSIONS

Le stockage géologique correspond à une situation radiologique très spéciale car, à long terme, nous manquons à la fois des éléments de contrôle et de ce qui pourraient être des indicateurs des détriments sanitaires réels associés aux expositions radiologiques potentielles. La position de la CIPR, en particulier sur l'utilisation et la signification de la dose et du risque, peut être résumée comme suit : (a) quelques centaines d'années après la fermeture définitive du stockage, quand la dose et le risque peuvent être évalués avec une bonne fiabilité, ils devraient être considérés comme une mesure du détriment sanitaire ; (b) quand les évaluations deviennent moins fiables, la dose et le risque peuvent encore être estimés, mais ils ne devraient pas être interprétés nécessairement comme une mesure du détriment sanitaire mais plutôt, progressivement, comme des indicateurs de performance ; (c) sur des périodes de temps où les estimations sont très peu fiables, on peut avoir recours au concept de BAT. Le stockage géologique a aussi d'autres particularités quand il s'agit d'appliquer le concept d'optimisation. La CIPR recommande habituellement pour l'optimisation de la radioprotection qu'une contrainte de dose ou de risque soit considérée comme un seuil pour accepter ou non une option à l'étude. Si l'impact associé à l'option en question est inférieur au seuil, une optimisation est encore requise, aboutissant généralement à des solutions dont l'impact est bien en dessous du seuil. Cependant, théoriquement la solution pourrait être très proche du seuil. Pour le stockage géologique, la CIPR-81 propose, au contraire, de ne pas pousser plus loin l'optimisation si l'on se situe sous le seuil et que l'on a démontré que de « bonnes pratiques » ont bien été appliquées.

Du fait peut être de la particularité du stockage géologique, la façon d'aborder les problèmes du long terme et de l'optimisation diffère considérablement suivant les programmes nationaux. Il y a suffisamment de latitude et de flexibilité dans les recommandations internationales pour permettre de telles variations. On est cependant en droit de se demander si une plus grande homogénéité des différents programmes nationaux ne serait pas souhaitable.

Cette hétérogénéité des approches de l'optimisation, les différences d'interprétation des termes utilisés et la diversité des objectifs à atteindre contribuent à donner l'impression d'un contexte flou, peu favorable à la formulation de réglementations claires et directement applicables, notamment

en ce qui concerne les performances du stockage à long terme. Dans ce contexte, l'étude montre que :

- La protection radiologique n'a pas la même signification avant et après la fermeture d'une installation de stockage. Dans ce dernier cas, les éléments de retour d'expérience, de contrôle sont absents et les incertitudes sur les évaluations des expositions radiologiques et leurs effets sur la santé s'accroissent avec le temps. La question fondamentale est de savoir si la même notion de « protection » peut être utilisée pour désigner la protection avant et après la fermeture de l'installation. Une distinction claire devrait être apportée entre l'optimisation de la protection radiologique pendant la phase d'exploitation de l'installation et dans le long terme. Or, on observe une tendance à ne pas distinguer les deux périodes en traitant de l'optimisation. Il faudrait peut-être adopter, en sélectionnant les options de conception, une démarche d'optimisation qui renvoie aux deux périodes et seulement dans un second temps chercher à optimiser la protection en général.
- Il convient de distinguer l'optimisation de la protection radiologique, l'optimisation de la protection en général prise au sens de protection de l'homme et de l'environnement contre tous les types de risques, et l'optimisation du système au sens de protection de l'homme et de l'environnement contre tous les types de risques en tenant compte, en outre, des contraintes économiques et sociales. Les recommandations nationales et internationales semblent s'orienter vers la recherche d'une optimisation générale du système de stockage, bien que ce ne soit pas toujours exprimé clairement. La CIPR fait un pas important dans cette direction dans ses recommandations les plus récentes (CIPR-103), quand elle reconnaît que, quel que soit le processus d'optimisation concerné, l'option à privilégier en fin de compte n'est pas nécessairement celle associée à la dose la plus faible.
- La difficulté d'appliquer le concept d'optimisation de la protection radiologique à la phase de post-fermeture d'un stockage, pour laquelle on se réfère à des expositions potentielles, est mieux illustrée par la remarque de la CIPR-81 qui dit qu'il « *n'y a pas de techniques formelles pour traiter des expositions potentielles découlant de situations de stockage* ». Ce constat est toujours valable aujourd'hui. Il est mis en exergue par la déclaration suivante de la CIPR-101 : « *... notre niveau actuel de connaissance et notre capacité à prédire les niveaux de populations et les voies de transfert d'expositions peut contribuer de manière appropriée à la prise de décision pour des*

expositions qui interviendraient sur une période de temps couvrant quelques générations. Au-delà de ces échelles de temps, la Commission recommande que les doses estimées ne prennent pas une place importante lors de la prise de décision ».

- On perçoit dans les publications récentes l'émergence de l'idée que, du point de vue réglementaire, l'accent doit être mis de plus en plus, et ceci quelle que soit la pratique, sur le fait que l'optimisation doit plutôt s'appuyer sur le processus mis en œuvre que sur les résultats. Ce point de vue est exprimé clairement dans la CIPR-103, qui précise que : *« Tous les aspects de l'optimisation ne peuvent pas être codifiés ; toutes les parties prenantes doivent plutôt se positionner par rapport au processus d'optimisation. Lorsque l'optimisation est considérée du point de vue de l'autorité réglementaire, l'attention ne doit pas être portée sur les résultats propres à une situation particulière, mais plutôt sur les processus, les procédures et les jugements. Un dialogue ouvert doit être établi entre l'autorité et l'opérateur, et la réussite du processus d'optimisation dépendra essentiellement de la qualité de ce dialogue ».*
- Pour les installations de stockage géologique, on pourrait estimer que le processus normal de développement par étapes du projet de stockage, depuis sa conception jusqu'à sa réalisation – par lequel les conceptions sont soumises à une analyse, sont discutées chez l'exploitant puis entre l'exploitant et les autres organismes en charge de son évaluation, l'autorité de sûreté notamment et évoluent avec le temps – est par lui-même un processus suffisant d'optimisation. D'autres facteurs que la protection radiologique seront pris en compte pendant un processus décisionnel par étapes. Citons, par exemple, les facteurs traitant de la qualité du concept et de son développement, comme la prévisibilité, la démontrabilité, la faisabilité de la construction, la flexibilité d'exploitation, de la maintenance et de la récupérabilité des colis de déchets. Parmi les facteurs de nature plus sociétale, mentionnons la disponibilité des moyens de transport, l'acceptation du public et le coût.

De manière générale, la présente étude montre que la définition du concept d'optimisation appliqué aux installations de stockage géologiques a considérablement progressé mais que des réflexions sont encore à mener pour clarifier les concepts, acquérir un retour d'expérience, identifier les possibilités d'application et s'assurer que les recommandations réglementaires correspondantes sont suffisamment précises et applicables. L'objectif de ce document est de stimuler le débat sur l'optimisation et de promouvoir une compréhension partagée sur l'interprétation des différents concepts d'optimisation et des spécifications qui

s'y rapportent ainsi que sur la manière de formuler ces dernières pour rendre la réglementation transparente, compréhensible et applicable pendant les dizaines d'années que peut durer le processus de prises de décisions par étapes qui accompagne le développement d'un projet de stockage profond.

5. RÉFÉRENCES

1. Commission internationale de protection radiologique (2007), Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, Publication 103 de la CIPR, Lavoisier, France.
2. International Commission on Radioprotection (2006), The Optimisation of Radioprotection : Broadening the Process, ICRP Publication 101, Pergamon Press, Royaume-Uni.
3. Commission internationale de protection radiologique (1991), Recommendations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique, Publication 60 de la CIPR, Pergamon Press, Royaume-Uni.
4. International Commission on Radioprotection (2000), Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 81, Pergamon Press, Royaume-Uni.
5. International Commission on Radioprotection (1998), Radioprotection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, ICRP Publication 77, Pergamon Press, Royaume-Uni.
6. International Atomic Energy Agency (2006), Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements No. WS-R-4, Vienna (www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1231_web.pdf) [Note: WS-R-4 doit être remplacé par le DS 354, dont la dernière version date de juillet 2009].
7. Agence internationale de l'énergie atomique (2007), Principes fondamentaux de sûreté, Fondements de sûreté No. SF-1 (www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_F_web.pdf).
8. Directive 1996-61 du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (IPPC) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0061:FR:HTML>).

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE