

QUELQUES COMMENTAIRES CRITIQUES SUR L'OPTION D'ENFOUISSEMENT GÉOLOGIQUE EN BELGIQUE

**RAPPORT COMMANDÉ
PAR GREENPEACE**

BIOGRAPHIE DE L'AUTEUR

BERTRAND THUILLIER est agronome et professeur associé à Polytech Lille, à l'Université de Lille I. Il est diplômé de l'Institut national agronomique Paris-Grignon (INA-PG), ancien élève de l'Institut asiatique de gestion à Manille, aux Philippines, et titulaire d'un doctorat en sciences (Biologie) de l'Université de Reims.

Il a été l'un des premiers experts indépendants à mettre en évidence de manière très détaillée et fouillée en 2012 les failles du projet Cigéo en France en pointant en particulier les risques d'incendies, et les faiblesses dans la conception du projet d'enfouissement français à Bure. Tous ces éléments mentionnés ont d'ailleurs été rappelés en 2017 par l'IRSN dans son dossier d'Options de Sûreté.

INTRODUCTION

La question de l'enfouissement des déchets nucléaires est un sujet éminemment complexe de par ses différentes composantes scientifiques, techniques, éthiques, politiques et sociologiques, et ses implications temporelles d'une centaine d'années pour la période d'exploitation, à des centaines de milliers d'années, a minima, en situation de fermeture correspondant aux durées de dangerosité de ces déchets.

Cet article a pour objectif dans un premier temps de faciliter la compréhension du projet d'enfouissement de Mol (Nord-Est de la Belgique) dans une couche d'argile, dite de Boom, avec la description de ses trois principaux éléments constitutifs : Les déchets à enfouir - La roche hôte - Les infrastructures souterraines envisagées.

Cette description permettra ensuite d'approcher par leurs liens et par leurs interactions respectives, les conséquences et les risques que leurs effets entraînent sur la sécurité et sur la migration des radioéléments vers les couches aquifères supérieures. Ensuite, une synthèse de ces risques et des incertitudes permettra alors d'énoncer quelques enseignements constructifs face à cette complexité.

Note : Le Prof. Thuillier a, dans un passé récent, identifié d'importants manquements et faiblesses dans le concept de l'enfouissement géologique dans les formations souterraines d'argile à Bure, en France. A la demande de Greenpeace, il a également étudié l'option de l'enfouissement géologique dans les formations d'argile de Boom, une option présentée il y a encore peu comme étant la stratégie de référence pour la Belgique. Entre-temps, le gouvernement a également donné pour mission d'étudier d'autres formations hôte potentielles, même s'il n'exclut pas le concept de l'enfouissement géologique. Etant donné que le projet dans l'argile de Boom est à l'heure actuelle le seul projet à avoir été complètement élaboré, et du fait que des manquements importants sont inhérents à toutes les options d'enfouissement géologique, cette analyse succincte se limite au projet existant Euridice de Mol.

DESCRIPTION DU PROJET D'ENFOUISSEMENT DE MOL

LES DÉCHETS CONCERNÉS

— VOLUMES

Deux catégories de déchets sont concernées par ce projet, les déchets de type B (équivalent Moyenne Activité), et des déchets de type C (équivalent Haute Activité).

En raison des dispositions de la loi du 31 janvier 2003 interdisant la construction et la mise en exploitation de nouveaux réacteurs commerciaux, et la fermeture des sept existants après une période d'exploitation de 40 ans¹, il est ainsi possible de dresser un début d'inventaire assez délimité des volumes qui seront à gérer (contrairement à la France, par exemple) :

. 10 430 à 11 100 m³ de déchets de catégorie B (environ 2% de la radioactivité totale des déchets)² – Il est à ajouter cependant qu'une partie des 85 000 m³ de déchets non conditionnés et stockés à Olen (Umicore 2011) pourrait largement augmenter ce volume³.

. 4 500 m³ de catégorie C (environ 97,5% de la radioactivité totale des déchets) – Il est à noter que nous considérons dans ces volumes également les combustibles usés qui doivent être considérés comme des déchets, de par l'arrêt du programme nucléaire belge (cf. ci-dessus), de par la suspension par la Belgique du retraitement de ses déchets en 1993⁴ et confirmé en 1998⁵, et enfin par l'interprétation de la directive Européenne du 19 juillet 2011 sur les déchets nucléaires du terme 'Déchets' « considérant le combustible usé comme un déchet »⁶.

— PROPRIÉTÉS

Selon le type de déchets (B ou C), et la classe de ces derniers, quatre de leurs propriétés vont jouer des rôles importants dans l'évolution de l'installation, et particulièrement dans un environnement souterrain :

Présence de bitume

Cette propriété concerne seulement les déchets de type B⁷, et plus particulièrement 47% de ceux-ci en nombre (16 600 sur 35 000 environ) en fût acier constitués d'une matrice bitume. Ce mode d'enrobage (60% de bitume pur)⁸ n'est désormais plus utilisé car, outre le fait que le bitume soit un élément très combustible avec au total de l'ordre de 3 200 tonnes de bitume pur (risque d'incendie), cette matrice en présence de sels et sous irradiation (400 à 5000 Gy/h en débit de dose) peut gonfler jusqu'à 70 % de son volume initial⁹. Cette expansion est liée à la génération de bulles d'hydrogène issue de la radiolyse des matières organiques de la matrice.

Génération d'hydrogène

Ces mêmes déchets de type B peuvent également générer des volumes conséquents d'hydrogène et relâcher également des gaz radioactifs (Tritium, Krypton-85, Carbone-14, Chlore-36) comme mentionné dans les dossiers de l'Andra¹⁰; en effet, dans les inventaires Andra pour ces fûts normalisés (Eurobitumen), il est à noter que ceux-ci peuvent rejeter par colis et par an en moyenne 10L H₂, soit un **total de 150 à 200 m³ d'hydrogène par an** - Mais certains colis par la présence d'eau et des matières organiques présentes, sous l'action de la radiolyse, peuvent atteindre jusqu'à 500 L H₂/fût/an¹¹.

Puissance calorifique

Cette caractéristique concerne maintenant les déchets de type C, qui sont essentiellement constitués de combustibles usés classe ZAGALS UOX (10 250 sur 11 000 environ)¹²; ces colis sont en effet fortement exothermiques et constituent de véritables petits radiateurs, leur puissance thermique (en Watts par colis) décroît en fonction du temps, de l'ordre de 1000 à 1400 W au bout de 20 ans, **400 à 600 W au bout de 60 ans**; il est néanmoins nécessaire de considérer leur composition en plutonium et en américium dont la décroissance thermique s'avère plus lente¹³. On peut en effet ajouter que les colis à base de MOX (144) décrits par l'Andra (CU2/MOX) conservent une puissance thermique de **1 100 W après un entreposage de 90 ans** après la sortie du réacteur¹⁴.

Matières fissiles

La masse de matières fissiles résiduelles en sortie de réacteur, et toujours selon la description des dossiers de l'Andra est de l'ordre de 10 kg dont 4 à 5 kg d'Uranium-235 et moins de **4 kg de Plutonium-239** par colis de combustibles usés de type UOX, mais celle-ci peut atteindre environ 20 kg avec **près 12 kg de Plutonium-239**, toujours par colis de combustibles usés¹⁵. Il est en effet nécessaire à rappeler que la masse critique du Plutonium-239 s'établit à 510g¹⁵. Il sera par conséquent indispensable de s'assurer en fonction des taux de combustion et que la disposition des assemblages reste bien des conditionnements en situation de sous-criticité (pour éviter une réaction en chaîne nucléaire).

LA ROCHE HÔTE (L'ARGILE DE BOOM)

— SITUATION

L'argile de Boom est une formation sédimentaire déposée, il y a environ 30 millions d'années avec un pendage de 1 à 2 % vers le nord-est et une épaisseur de 100 m environ, située entre 190 à 290 m en-dessous de la surface de Mol-Dessel, avec une épaisseur et une profondeur d'autant plus importante que l'on se rapproche de la frontière des Pays-Bas¹⁶.

Cette couche imperméable se situe, de par cette propriété, juste en-dessous d'une couche de sables du Néogène, second aquifère en importance pour le captage d'eau potable en Belgique, et le principal pour cette partie Nord-Est du pays (figure notée 1)¹⁷.

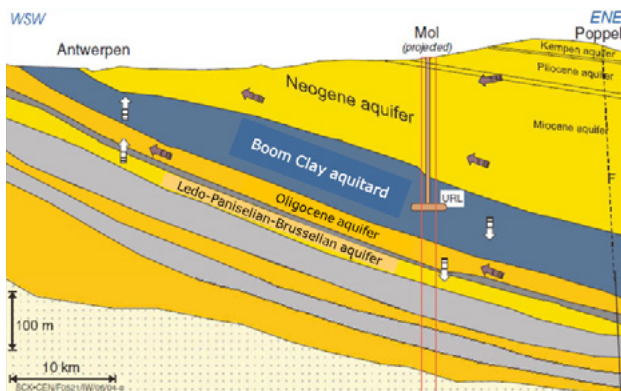


Figure 1

— CARACTÉRISTIQUES

Plasticité

Cette argile reste une roche très plastique, non autopor-teuse (à l'inverse du granit, par exemple), c'est-à-dire qui nécessite des soutènements très importants lors de son creusement afin d'éviter des rétractions et des éboulements, et par conséquent, oblige à des quantités très importantes de béton et à une nécessité de structures métalliques très conséquentes (par exemple, des centaines de milliers de tonnes dans le projet Cigéo en France, de l'ordre de 5 fois plus important en termes de volume de déchets prévus à enfouir) pour son maintien.

Présence d'eau

Cette roche est saturée en eau avec une proportion d'eau de l'ordre de 19 % à 24 % en poids¹⁸. Ce point est très important à deux titres; en effet cette composition est à l'origine des phénomènes de retraits et de crevasses en fonction des degrés de désaturation, liés en particulier à la ventilation. D'autre part, il est à rappeler qu'en présence de forts rayonnements, les molécules d'eau sont cassées (radiolyse) en deux radicaux: H⁺ et OH⁻ qui vont pouvoir ensuite se recombiner au hasard en différentes molécules comme en hydrogène gazeux (H₂), en eau oxygénée (H₂O₂) ... pour former ainsi des composés très oxydants et très réducteurs; tous ces composés vont ensuite être amenés à attaquer très fortement les métaux, qui par réaction, vont également produire de l'hydrogène gazeux (H₂) lors de cette intense corrosion des structures métalliques.

Température

Deux contraintes de températures sont à respecter, d'une part, la roche ne doit en aucun cas dépasser des températures de 90°C/100°C pour des raisons évidentes de changement de structure et de perméabilité (vapeur d'eau et cuisson). D'autre part, la température en limite des sables et de l'argile se situe actuellement entre 14 et 15°C; une augmentation de température 10°C serait alors très dommageable à la qualité et à la potabilité des eaux, 25°C étant en effet une limite réglementaire pour éviter le développement des bactéries du genre legionella¹⁹.

LES INFRASTRUCTURES DE STOCKAGE

— CONCEPTION

Les installations sont prévues pour être placées à une profondeur d'environ 240 m avec 3 puits d'accès et de ventilation de 6 m de diamètre, dont un puits central dédié spécifiquement à la descente des colis. Ces puits devront être impérativement étanches durant toute la durée de l'exploitation et de la fermeture, ayant à traverser les sables aquifères, comme mentionnés précédemment. Ces puits sont ensuite reliés dans leur partie souterraine par une galerie centrale d'accès aux galeries de stockage (cf. figure notée 2)²⁰.

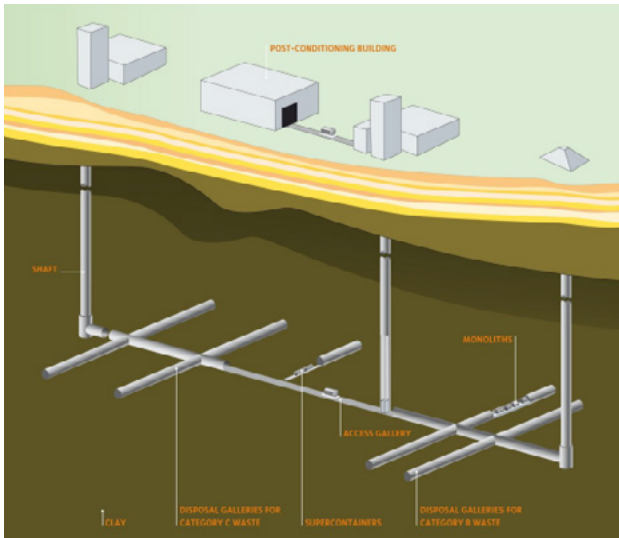


Figure 2 — Indicative diagram of the geological repository envisaged for B&C waste and of the surface facilities for the production of supercontainers and monoliths B. The waste shaft has a central position.

Cette galerie centrale est rectiligne monotube d'environ 6 m de diamètre, et d'un kilomètre de long.

Les galeries de stockage de 3 m de diamètre, d'un kilomètre au maximum sont reliées perpendiculairement à la galerie centrale, et séparées entre elles de 50 à 120 m, un sol en béton et des rails sont envisagés pour l'acheminement des colis sous forme de super-containers (Cf. ci-dessous).

Ces galeries sont borgnes dans leur extrémité opposée à la galerie centrale²¹. La longueur totale cumulée de ces galeries sera d'une trentaine de kilomètres sur une surface totale d'environ 3,1 km² ; ces dernières recevront alors ces super-containers, construits en surface. On pourra se reporter à la figure notée 2 ci-dessus pour le schéma de cette architecture²².

Les super-containers sont des assemblages contenant les colis de déchets de 4 m à 6,2 m de long, de 2,1 m de diamètre, et d'une masse de 70 tonnes pour les plus importants.

- Les super-containers de type C sont constitués de 1 à 4 colis primaires (1 ensemble MOX, ou 2 colis vitrifiés ou 4 ensembles UOX) insérés dans une enveloppe de 30 millimètres d'acier inoxydable, puis entourés de bentonite, d'une couche de béton, et en final d'une nouvelle enveloppe d'acier (figure notée 3)²³.

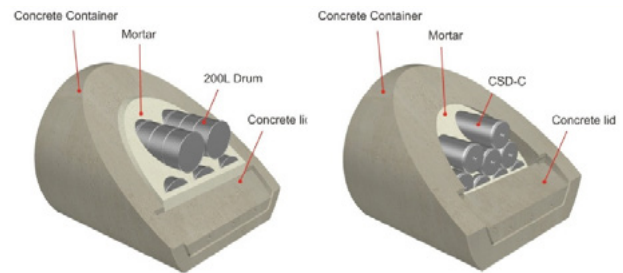


Figure 3 — Monolith B for category B waste (200 L drums) (left) and CSD-C (right)

- Les super-containers de type B sont constitués de colis primaires (de 1 à 12 colis ou fûts) immobilisés dans du béton (figure notée 4)²⁴.

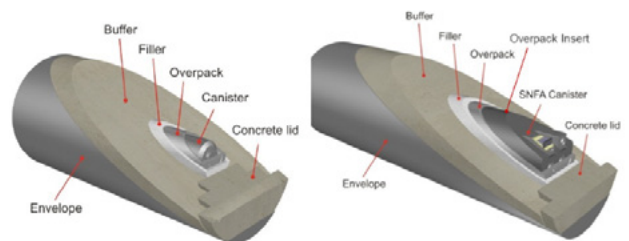


Figure 4 — Supercontainer for vitrified high-level-waste (left) and UOX irradiated fuel (right)

Le retrait des super-containers n'a pas été envisagé dans cette conception (pas de récupérabilité), les galeries étant scellées au fur et à mesure de leur remplissage.

CONSTATS

Quatre éléments étrangers sont insérés dans ce milieu souterrain : le béton, l'acier, l'air de ventilation, et en cas de perte d'étanchéité des puits, de l'eau qui sera à relever au moins durant la partie d'exploitation.

Etanchéité

C'est un problème complexe lié à la traversée des sables aquifères ; cela a demandé la mise en place d'une double structure en béton insérant une couche de polyéthylène imperméable complétée d'asphalte et d'acier lors de la construction industrielle du second puits du laboratoire HADES (laboratoire situé à -225 m mis en place en 1980 pour étudier l'enfouissement dans cette couche d'argile). Il faut savoir que ce second puits nécessite déjà, suite à des fuites d'asphalte, de réinjecter continuellement ce matériau imperméable pour conserver cette étanchéité²⁵. La perte de cette étanchéité, et sans un système de pompes de relevage, pourrait alors entraîner un ennoyage complet de l'installation (envahissement par l'eau) en absence d'évacuation en partie souterraine du fait de l'imperméabilité de l'argile.

Manutention

Sous réserve d'ajustement de conception, Il apparaît que le diamètre prévu du puits de descente des colis semble peu compatible avec le diamètre et la longueur des super-containers pour permettre un chargement directement en position horizontale sur les convoyeurs en fond de puits ; il apparaît par conséquent indispensable de prévoir une chambre de réception conséquente en fond de puits pour permettre ces chargements d'orientation, rendus délicats par la masse manipulée (70 tonnes). Il semble également difficile de comprendre comment sont effectués des tournants en angle droit de ces convoyeurs sur rails pour accéder aux galeries de stockage, sans mettre en place des plateformes, et par conséquent de nouvelles chambres conséquentes, à préciser, pour chaque intersection²⁶.

Sécurité

Sous réserve également de ne pas disposer des derniers schémas de projet, Il semble étonnant de constater que ces galeries ne soient prévues qu'en monotube, et non doublées ; en effet, en cas d'incendie ou d'éboulement, il s'avère toujours précieux (vital) de pouvoir utiliser une voie de secours, on peut prendre comme exemple les tunnels souterrains autoroutiers, le tunnel sous la Manche, et les évolutions de conception du projet Cigéo, par exemple.

Criticité

Il est étonnant également de constater que la descente des colis de type C (HA et combustibles usés) se fasse par un puits car il est compréhensible qu'en cas de chute de colis en puits, un réaménagement des assemblages pourrait aboutir à une situation de criticité. On peut d'ailleurs noter que cette conception d'acheminement des colis par puits a en effet été abandonnée dans Cigéo, pour cette même raison, au profit d'une descenderie.

Co-activité

Il n'est pas précisé, et il est assez difficile de comprendre comment pourra se gérer la co-activité de construction et de stockage dans des zones non séparées physiquement. En effet, il faudra gérer la coexistence de la ventilation des poussières, des gaz d'échappement des engins de creusement et de convoyage des verses (1 à 2 millions de m³ sont sans doute à prévoir), des zones de stockage des huiles de moteurs, des zones de chargement de batteries, de l'hydrogène et d'une teneur limitée, mais cependant présente de gaz radioactifs...

Ventilation

Il est certain, et en particulier durant la phase de co-activité (cf. point précédent) qu'une forte ventilation soit nécessaire – Il est à rappeler que la ventilation prévue pour Cigéo se situe entre 500 à 650 m³/s dans le puits d'extraction d'air de 11 m de diamètre²⁷. Il est également difficile de comprendre comment une ventilation appropriée puisse se répartir sans spécialisation (aspiration versus extraction) entre les 3 puits envisagés, et sans conduits séparés en hauteur de galerie. Il ne semble pas qu'il soit mentionné la présence de clapets anti-retour d'air ou de gestion des fumées en cas d'incendie. Il reste également difficile de comprendre comment s'effectue le nécessaire renouvellement d'air (pour ne pas atteindre la Limite Inférieure d'Explosivité de 4 % de l'H₂) dans des galeries borgnes, et comment des filtres THE (Très Haute Efficacité) pourraient être efficaces et possibles dans un tel environnement, en cas d'accident nucléaire.

LES INTERACTIONS ENTRE ÉLÉMENTS ET RISQUES ASSOCIÉS

—LA TEMPÉRATURE ET L'AUGMENTATION DE LA PERMÉABILITÉ

En considérant un début de stockage des déchets C à l'issue d'une période de 60 ans, il apparaît que les puissances thermiques des super-containers pourront atteindre des valeurs bien supérieures à 1000 W (4 fois 500 W ou 1100 W) alors que l'on sait, de par l'expérimentation Praclay²⁸ que pour atteindre des températures de 80°C dans cette roche il suffit de 350 à 450 W/m de puissance thermique. Au-delà de cette limite, les transformations minéralogiques amènent assurément à des changements structurels de perméabilité. Dans cette même expérimentation, il a été noté également que ces impacts de températures augmentaient constamment sur la période de l'expérimentation (42 mois) pour affecter thermiquement des zones jusqu'à 15 m des sources de chaleur²⁹.

—LA VENTILATION (DÉSATURATION) ET LES RISQUES D'EFFONDEMENTS

Il a été confirmé également depuis des travaux récents sur l'impact des transferts de gaz sur le comportement pro-mécanique des matériaux argileux en 2011³⁰ que non seulement la perméabilité aux gaz de l'argile dépend également beaucoup de son degré de saturation³¹, mais qu'en présence d'une forte ventilation, couplée à une grande quantité de chaleur, l'évaporation importante en paroi va même développer des phénomènes de fracturation et d'endommagement conséquents de la roche; on peut d'ailleurs faire le lien avec l'observation sur un sol argileux des crevasses générées par l'évaporation de l'eau. Cette évaporation va créer des chemins préférentiels d'écoulement³², et de migration potentielle des radioéléments, mais va aller jusqu'à pouvoir créer de véritables fissurations et fractures dans le massif³³ (figure notée 5) avec des déformations volumiques pouvant atteindre 8 à 11%³⁴, et par conséquent risquer une instabilité des installations.



Figure 5: Macroscopic observations of cracks on boom clay samples under desaturation

—LES DÉGAGEMENTS GAZEUX (HYDROGÈNE) ET LA FRACTURATION DE LA ROCHE

Concernant les déchets B matrice bitume, l'insertion de ces colis dans du béton dans lequel uniquement 20% d'espace libre est prévu pour faire face à un gonflement jusqu'à 70% (mentionné précédemment) entraînera très probablement à terme un éclatement de ces super-containers (car des pressions peuvent atteindre jusqu'à 43 MPa sous contraintes³⁵) avec libération de ce bitume, et alors pouvant générer par voie de conséquence une déformation par pression sur la roche. Il est en effet à noter que le seuil de pression correspondant à un début de fracturation de l'argile de Mol commence à des pressions très faibles de 0,9 à 2,9 Mpa³⁶, favorisant bien entendu ensuite des chemins préférentiels de passage comme vu précédemment également.

—LA CONCEPTION (PUITS ET GALERIES BORGNES) ET LES RISQUES D'EXPLOSIONS

Le premier risque d'explosion de type nucléaire reste lié à la descente des colis (pour les Combustibles Usés) par un puits; en effet, dans les dossiers de l'Andra, il est bien mentionné en 2005 avant le projet de descenderie: « Les événements susceptibles d'induire un risque de criticité correspondent à la conjonction d'un fort endommagement accidentel des colis de CU suite à leur chute et à une arrivée d'eau »³⁷.

Le deuxième risque réside dans le fait que tout espace dans lequel, il puisse exister une certaine teneur en hydrogène doit être impérativement ventilé pour exclure une explosion - Il est à rappeler en effet qu'au-delà d'une teneur de 4%, une explosion peut survenir et qu'un m³ d'hydrogène équivaut à la puissance explosive d'environ 2 kg de TNT - Il reste par conséquent assez difficile de comprendre comment des galeries aussi longues, de près d'un kilomètre pourront être ventilées, en étant bouchées d'un côté, sans une quelconque circulation d'air en période d'exploitation.

SYNTHÈSE

— LES ZONES DE CREUSEMENT (FRACTURATION), ET LA MIGRATION DES RADIOÉLÉMENTS

Lors du creusement dans une roche plastique comme l'argile, il se crée par ces contraintes mécaniques une zone perturbée appelée EDZ (Excavation Damaged Zone) qui s'étend selon les modes de creusement jusqu'à environ 2,1 fois le rayon de la cavité³⁸; cette zone est particulièrement délicate car si on considère un diamètre de 6 m utile pour les galeries, soit un creusement d'au moins 8 m minimum pour insérer les soutènements, cela entraîne des perméabilités augmentées jusqu'à 4 à 5 ordres de grandeur³⁹ dans un espace d'environ 16 m, soit en final une épaisseur vierge résultante de seulement une quarantaine de m des aquifères.

— PÉRIODE D'EXPLOITATION, ET LES RISQUES D'INCENDIE

Comme mentionné précédemment, l'argile reste une roche très sensible à une augmentation de température, et par conséquent, il reste qu'un incendie en milieu souterrain avec l'effet 'four' associé contenant la dissipation de chaleur, induit très rapidement une augmentation de la température. Il suffit de penser à l'inflammation d'un convoyeur lié à un défaut de maintenance (huile, diesel ou batterie) comme cela a été le cas dans le site de stockage américain WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), ou encore à une réaction chimique entre composés (cf. explosion dans ce même site du WIPP ou l'incendie de Stocamine) pour comprendre que la faible épaisseur de la couche ne permettrait aucune dérive ni éboulement associé à ce type d'incident.

STRUCTURE DU PROJET

Il apparaît très nettement que des risques très importants et multiples restent inhérents à la structure même du projet, essentiellement par :

- Le choix d'une matrice argileuse pour l'enfouissement, une roche saturée en eau et non auto-porteuse,
- La profondeur du projet, trop proche de la surface, de quelques dizaines de mètres des sources d'eau potable importantes et déjà exploitées,
- L'épaisseur de la couche, trop faible et de surcroît avec un pendage (quelques %, soit une dérive de 40 m pour 2% sur 2 kms); une telle installation industrielle peut nécessiter, a priori, une disposition strictement horizontale pour des questions de circulation et d'embranchements. On pourra également noter beaucoup de risques d'exploitation associés à la co-activité et les importantes nuisances liées à la très importante ventilation à proximité de zones habitées.

On ne peut pas également ne pas mentionner la question du temps long pour ce type d'installation; en effet, quel sera l'état des structures après une centaine d'années en termes d'étanchéité des puits, comment pourra s'effectuer la maintenance de galeries qui auraient pu s'effondrer, enfin quelles seront les évolutions des déchets. Il suffit de revenir sur la formation de gels sur certains fûts en 2014 et sur les questionnements de stabilité impérative au cours du temps de ces fûts⁴⁰.

COÛT DU PROJET

Par les incertitudes d'inventaires (liées au retraitement ou non), par les déchets pas encore conditionnés (à Olen), mais surtout par ces questions de conception et de structure de l'installation, on ne peut que constater la fluctuation du coût du projet qui s'établissait encore en 2011 à 3 milliards d'euros (coût total y compris marges pour aléas!)⁴¹ maintenant, à 8 milliards, voire 10 milliards d'euros⁴².

ENSEIGNEMENTS

Face à ces risques bien identifiés et aux incertitudes subsistant inhérentes à la complexité des phénomènes et en raison de leurs déroulements sur des temps longs, il semble que le choix immédiat et imposé de devoir choisir, pour la gestion de ces déchets, entre une solution de moyen terme (entreposage longue durée) et de long terme définitive (enfouissement) ne semble pas appropriée.

En effet, si l'on considère, à juste titre, de ne pas laisser aux générations suivantes ce fardeau, et si l'on se réfère aux largages par-dessus bord des déchets dans la mer faute de connaissances suffisantes par la génération qui nous a précédés, ne serait-il pas mieux de choisir en réalité les deux solutions, à savoir :

1.

Mettre en sécurité ces déchets dans des entreposages de longue durée pour, à minima une centaine d'années, afin de permettre des décroissances de la puissance thermique des colis et une part de dégazages, mais également, pouvoir donner aux générations futures les deux capitalisations qui leur permettront de régler en toute connaissance de cause la question de ces déchets :

2.

Provisionner suffisamment de fonds durant cette durée (après un chiffrage plus assuré) et

3.

Acquérir par des tests de longue durée et représentatifs du comportement d'un stockage souterrain selon différentes matrices, toutes les données nécessaires pour pouvoir décider sereinement du nécessaire choix d'une solution définitive de long terme.

-
- 1 ONDRAF/NIRAS Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan 2012 (NIROND TR 2013-12E), page 59
 - 2 NIROND TR 2013-12E, page 60
 - 3 NIROND TR 2013-12E, page 66
 - 4 Chambre des représentants, Résolution 541/9-91/92 relative à l'utilisation de combustibles contenant du plutonium et de l'uranium dans les centrales nucléaires belges, ainsi qu'à l'opportunité du retraitement des barres de combustible, adoptée le 22 décembre 1993
 - 5 Conseil des ministres, Compte rendu de la séance du 4 décembre 1998
 - 6 ONDRAF Plan déchets, septembre 2011 (NIROND 2011-02 F), page 24
 - 7 NIROND-TR 2013-12 E, page 350
 - 8 NIROND-TR 2013-12 E, page 190
 - 9 Thèse de M. Mouazen, 2011 – Evolution des propriétés rhéologiques des enrobés bitume, page 179
 - 10 ANDRA – Dossier Argile 2009, concepts d'entreposage, page 282
 - 11 ANDRA – Dossier Argile 2005, Architecture du stockage, page 456
 - 12 NIROND-TR 2013-12 E, page 350
 - 13 ANDRA – Dossier Argile 2005, Evaluation faisabilité, page 47
 - 14 ANDRA – Dossier Argile 2005, Architecture du stockage, page 146
 - 15 ANDRA – Dossier Argile 2005, Architecture du stockage, page 144
 - 16 NIROND 2011-02 F, page 140
 - 17 NIROND 2011-02 F, page 140 - NIROND TR 2013-12 E, page 135
 - 18 NIROND TR 2013-12 E, page 89
 - 19 NIROND TR 2013-12 E, page 253
 - 20 NIROND TR 2013-12 E, pages 69 et 76
 - 21 NIROND TR 2013-12 E, page 69
 - 22 NIROND TR 2013-12 E, page 71
 - 23 Id.
 - 24 NIROND TR 2013-12 E, page 74
 - 25 NIROND TR 2013-12 E, page 212
 - 26 NIROND TR 2013-12 E, page 221
 - 27 ANDRA – Dossier Argile 2005, Architecture, page 281
 - 28 The Praclay heater test, EURIDICE Report, 2017, page 24
 - 29 The Praclay heater test, EURIDICE Report, 2017, page 33
 - 30 Thèse de Pierre Gérard, Impact des transferts de gaz sur le comportement poro-mécanique des matériaux argileux, mai 2011 (TPG)
 - 31 TPG, page 26
 - 32 TPG, page 56

33 TPG, page 137

34 TPG, page 141

35 NIROND TR 2013-12 E, page 169

36 TPG, page 58

37 ANDRA – Dossier Argile 2005, Evaluation de la faisabilité, page 30

38 TPG, page 170

39 ANDRA – Dossier Argile 2005, Evolutions phénoménologiques du stockage, page 352

40 Ondraf – Communiqué de presse du 26/09/2014

41 NIROND TR 2013-12 E, page 13342 Les échos.be – des milliards supplémentaires pour stocker les déchets nucléaires – 22 août 2018

CE BRIEFING A ÉTÉ PUBLIÉ EN NOVEMBRE 2018 PAR GREENPEACE FRANCE

AUTEUR: BERTRAND THUILLIER

COORDINATION: SHAUN BURNIE, GREENPEACE ALLEMAGNE

CONCEPTION: ALEXANDRA BAUSCH, BÜREAU-ABCD.COM

**GREENPEACE EST UNE ORGANISATION INTERNATIONALE ET INDÉPENDANTE QUI DÉNONCE
DES ATTEINTES À L'ENVIRONNEMENT ET PROMEUT DES SOLUTIONS DURABLES.**
