# Rapport du groupe de travail relatif au “Coût d’un stockage souterrain de déchets radioactifs de haute activité et à vie longue”

Juillet 2005

*1. Cadre général des travaux du groupe* ..... *3*
1.1. Le concept de stockage souterrain ..... 3
1.2. Les fonctions et contraintes associées au stockage souterrain ..... 3
1.3. Les options de réalisation et de conception retenues pour les études réalisées par l'Andra ..... 4
1.4. Hypothèses structurantes pour le coût d'un stockage souterrain ..... 5
1.5. Historique des travaux de chiffrage réalisés par l'Andra ..... 6
1.6. La mise en place du groupe de travail ..... 7
*2. Structuration des travaux* ..... *8*
2.1. Méthodologie retenue ..... 8
2.2. Choix des hypothèses communes aux deux étapes ..... 8
2.3. Remarques relatives à la structure du rapport ..... 10
*3. Chiffrage du "scénario S1a – mode de réalisation simple"* ..... *10*
3.1. Hypothèses structurantes et inventaire pris en compte ..... 10
3.2. Chiffrages Andra & producteurs ..... 11
3.3. Etude de sensibilité à une mise en service en 2050 ..... 12
*4. Chiffrage du "scénario industriel"* ..... *14*
4.1. Hypothèses structurantes et inventaire pris en compte ..... 14
4.2. Chiffrages Andra & producteurs ..... 16
4.3. Etudes de sensibilité ..... 18
*5. La prise en compte des aléas de réalisation* ..... *20*
*6. Incertitudes de projet* ..... *20*
6.1. Analyse des risques et opportunités du projet ..... 21
6.2. Prise en compte des risques et opportunités dans le chiffrage ..... 22
*7. Récapitulatif sur la base du scénario industriel* ..... *23*
7.1. Chiffrage brut hors aléas et sans prise en compte des risques et opportunités ..... 23
7.2. Prise en compte des aléas et des risques et opportunités ..... 23
*8. Méthode d'agrégation* ..... *24*
8.1. Prise en compte des aléas de réalisation ..... 24
8.2. Chiffrage brut avec prise en compte des aléas et des risques et opportunités ..... 24
*9. Chiffrages actualisés* ..... *25*
9.1. Actualisation du chiffrage de base hors aléas ..... 26
9.2. Prise en compte des aléas de réalisation ..... 26
9.3. Prise en compte des incertitudes et opportunités ..... 26
*Conclusions* ..... *27*

## 1. Cadre général des travaux du groupe

L'évaluation du coût d'un stockage nécessite de définir les objectifs assignés à celui-ci. Ceux-ci conduisent en effet à opérer des choix en matière d'architecture et de réalisation qui s'avèrent structurants en terme de coût de réalisation et d'exploitation.

### 1.1. Le concept de stockage souterrain

Le stockage souterrain est l'une des solutions de gestion des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MAVL) étudiées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991. Il s'agit d'un stockage dont l'objectif fondamental est de protéger l'homme et l'environnement en empêchant la dissémination des radioéléments sur de très longues durées.

Ces recherches ont été confiées à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) et portent sur la faisabilité d'un stockage profond pour les déchets HA et MAVL dans deux milieux géologiques distincts, l'argile et le granite. Les études sur l'argile tirent parti des données de site issues du laboratoire de Meuse / Haute-Marne, tandis que les études sur le granite se déroulent dans un contexte générique en s'appuyant sur une typologie des granites français et sur des expérimentations menées sur des installations de recherche situées à l'étranger. Les concepts et les chiffrages présentés dans ce rapport sont fondés sur un stockage en milieu argileux.

Dans ce cadre, les études de concept menées par l'Agence ont pour objectif de proposer des solutions simples et éprouvées, autant que possible déjà mises en œuvre dans d'autres contextes industriels, pour asseoir l'évaluation de la faisabilité. Selon les concepts actuellement étudiés, une installation de stockage en milieu argileux se composerait d'installations de surface, d'ouvrages de liaison entre la surface et le fond ainsi que d'installations souterraines. Les installations de surface comprendraient les bâtiments d'accueil des colis primaires ainsi que les ateliers de conditionnement des colis primaires en colis de stockage. L'architecture des installations souterraines serait horizontale et les ouvrages seraient positionnés au milieu de la formation géologique hôte. Les installations souterraines seraient en outre fractionnées en différentes parties : les zones d'accueil des différents déchets seraient séparées. Chaque zone serait elle-même compartimentée.

Par ailleurs, l'Andra a fondé ses études sur un concept de stockage réversible : il s'agit d'un stockage qui donne, par sa conception, des possibilités de choix en matière de gestion des déchets avant la fermeture définitive de l'installation. La réversibilité est garantie par des dispositions de conception, des modes d'exploitation et des moyens d'observation permettant de fonder les décisions de franchissement d'étapes intermédiaires vers la fermeture complète du stockage, d'attente ou de retour en arrière quelle qu'en soit la raison. La réversibilité ne se décrit donc pas selon un calendrier préétabli, mais dans le cadre d'un processus par étape laissant une souplesse de gestion et une flexibilité dans le cadre de l'exploitation du stockage.

### 1.2. Les fonctions et contraintes associées au stockage souterrain

L'objectif fondamental de protection de l'homme et de l'environnement assigné au stockage souterrain conduit à conférer plusieurs fonctions au concept de stockage.

- ***Les fonctions de sûreté***

Il s'agit tout d'abord de s'opposer à la circulation de l'eau : il convient pour cela de limiter les débits d'eau provenant des formations sus-jacentes traversées par les ouvrages d'accès et ceux provenant de la formation hôte, mais également de limiter très fortement les vitesses de circulation de l'eau entre le stockage et les formations encaissantes. Globalement, le concept repose sur un mode de transport par diffusion qui contribue à des déplacements très lents et limités dans la roche argileuse. Par ailleurs, une autre fonction de sûreté du stockage consiste à limiter le relâchement des radioéléments, notamment en les immobilisant au plus près des déchets et en "protégeant" ceux-ci : dans ce but, il est nécessaire de disposer de colis évitant la dispersion

des radioéléments et de protéger les colis et les déchets d'un environnement physique et chimique qui pourrait dégrader leurs propriétés. Enfin, une dernière fonction de sûreté réside dans la capacité du stockage à retarder et à atténuer la migration des éléments qui auraient été relâchés par les déchets. L'architecture du stockage est définie pour satisfaire à ces trois fonctions.

- ***Les fonctions contraintes induites pour le stockage***

Pour tenir compte de la nécessaire préservation des propriétés favorables du milieu et de limitation des perturbations induites par le stockage, il convient de dissiper la chaleur engendrée par les déchets exothermiques en évitant les transformations minéralogiques et en contrôlant les phénomènes couplés à la thermique, de limiter les dommages de la roche liés au creusement et de maîtriser les déformations mécaniques, de maîtriser les perturbations hydriques et chimiques dans la roche liées à la création du stockage et enfin de maîtriser la criticité liée au contenu en matières fissiles de certains colis, y compris en tenant compte des possibles déplacements de matières à long terme. En matière thermique, on a retenu pour critère de dimensionnement une température inférieure à 90°C en tout point de l'argile (ce qui correspond à 100°C en paroi des colis de déchets). La conception vise à satisfaire les contraintes énoncées ci-dessus.

- ***La réversibilité***

La prise en compte de la réversibilité conduit à organiser le processus de stockage en étapes et à rechercher la flexibilité dans l'exploitation du stockage, ceci amène à prévoir une réalisation et une fermeture progressives et à ne pas fixer a priori de borne temporelle pour la phase d'exploitation et d'observation sur une échelle de temps de l'ordre du siècle.

- ***Les fonctions pour la mise en stockage***

La mise en stockage des déchets nécessite tout d'abord d'assurer la réception des colis primaires de déchets, de préparer les colis pour leur stockage, et de les transférer dans les capacités de stockage réalisées. Il convient également de gérer les installations du stockage. Le fonctionnement du stockage doit bien entendu tenir compte des exigences en matière de radioprotection pour le personnel.

### 1.3. Les options de réalisation et de conception retenues pour les études réalisées par l'Andra

Les différentes fonctions dévolues au stockage ont conduit l'Andra à retenir un certain nombre d'options de réalisation et de conception permettant de répondre au mieux à la double exigence de sûreté et de réversibilité :

- Positionnement des ouvrages souterrains au milieu de la formation ;
- Ouvrages limitant les perturbations mécaniques (compacité des ouvrages, techniques de réalisation, remblayage et minimisation des taux de vide résiduels, orientation selon les contraintes géomécaniques principales) ;
- Dimensionnement limitant les perturbations thermiques ;
- Fractionnement du stockage (séparation des zones de stockage des différents déchets, organisation en modules indépendants) et modularité des installations souterraines ;
- Structure des modules et nature des scellements des installations souterraines (architecture en "cul de sac", orientation des scellements selon les contraintes géomécaniques) ;
- Environnement physico-chimique favorable autour des déchets (limitation des interactions entre les déchets stockés, contrainte sur les matériaux employés au contact des déchets) ;
- Ouvrages et colis durables ;
- Standardisation des colis de stockage et transfert sous protection radiologique ;

- Mise en place des colis compatible avec leur retrait ;
- Gestion de la co-activité (séparation stricte des activités de construction et d'exploitation nucléaire).

### 1.4. Hypothèses structurantes pour le coût d'un stockage souterrain

La caractérisation du stockage, et par la même, son évaluation font appel à de nombreux paramètres. Aussi est-il nécessaire de dégager ceux d'entre eux qui sont structurants en terme de chiffrage. Par ailleurs, cette étude implique de détailler la composition du coût d'un stockage selon plusieurs postes :

- Investissement : il s'agit des dépenses relatives à l'acquisition du terrain, à la construction des installations de surface (notamment pour le colisage des déchets à stocker) et des installations de fond mais également à la fermeture du stockage ainsi qu'à la maîtrise d'œuvre (MOE). Des aléas de réalisation sont également chiffrés pour l'investissement.
- Exploitation : ce poste consolide l'ensemble des frais de fonctionnement, c'est-à-dire les frais de personnel, les coûts de fonctionnement, de maintenance et de jouvence.
- Divers : ce poste recouvre les impôts et taxes, les assurances, le coût de l'avant projet détaillé (APD), le coût de la R&D et celui de la maîtrise d'ouvrage (MO). Ces coûts sont déterminés dans les différents chiffrages réalisés par l'application de formules liées à ce poste d'investissement.

- ***Concernant le coût d'investissement***

La majeure partie de l'investissement est liée aux installations souterraines. On peut envisager le coût de ces installations souterraines comme étant le produit du volume des installations par le coût unitaire de réalisation de celles-ci.

- Options importantes vis-à-vis du volume des installations souterraines : le volume de celles-ci est bien entendu tout d'abord lié à l'inventaire des déchets à stocker. Par ailleurs, les aspects thermiques conditionnent grandement le volume des installations à prévoir : les caractéristiques des colis à stocker (qui dépendent surtout de leurs caractéristiques propres et de leur durée d'entreposage préalable au stockage) doivent en effet permettre le respect du critère de dimensionnement (90°C dans la roche, 100°C en paroi de colis). Enfin, la mise en place éventuelle d'une barrière ouvragée[1] pourrait engendrer un sur-volume excavé significatif. L'Andra a retenu comme concept de référence une version sans barrière ouvragée et le considère comme techniquement convaincant. Pour autant, une variante avec barrière ouvragée ne saurait être définitivement écartée à ce stade.

- Influence des modes de creusement et de remblayage sur les coûts unitaires de réalisation : le mode de creusement adopté dépend des propriétés mécaniques de la roche ; celui-ci se traduira entre autres par un rythme de construction qui détermine le coût unitaire du volume excavé. Par ailleurs, dans le domaine du remblaiement, le coût unitaire du volume remblayé est fixé par la nécessité de disposer d'un matériau de remblai aux propriétés adéquates.

- ***Concernant le coût d'exploitation***

Le coût d'exploitation du stockage peut s'exprimer au premier ordre sous la forme du produit d'un coût annuel par la durée d'exploitation. Le coût annuel dépend en grande partie des frais de fonctionnement, de jouvence et de maintenance mais également des services de soutien à l'exploitation (dont les frais de personnel). Les rythmes de production des déchets et les durées d'entreposage préalables au stockage fixent la date de prise en charge des déchets au plus tôt. Dans cette étude, les scenarii sont étudiés dans le cadre d'une fermeture intervenant à l'issue de la mise en place au sein du stockage du dernier colis de déchets prévu.

---

[1] Il s'agit de mettre en place un matériau entre les colis de déchets C et le milieu géologique.

## 1.5. Historique des travaux de chiffrage réalisés par l'Andra

Dès 1996, l'Andra a procédé à un travail d'évaluation du coût d'un centre de stockage en couches géologiques profondes sur la base des premiers concepts de stockage définis par l'Agence en géologie argileuse. Les hypothèses alors retenues étaient un scénario de traitement de tous les combustibles usés, une durée d'exploitation de 50 ans et un inventaire de déchets à stocker de 134 000 $m^3$ de déchets B et de 8 700 $m^3$ de déchets C. Par ailleurs, le dimensionnement thermique était basé sur des déchets de type C modérément exothermiques (660 W à 30 ans) et un critère de dimensionnement à 150°C (température à la surface du colis). Ce premier chiffrage conduisait aux données suivantes :

**Chiffrage ANDRA 1996 (Tout retraitement) en M€ 2003 (avec aléas)**

| | Commun | Spécifique Déchets B | Spécifique Déchets C | Spécifique Combustibles usés | **TOTAL** |
|---|---|---|---|---|---|
| Investissement | 783 | 3 325 | 3 570 | | **7 678** |
| Exploitation | 1 459 | 169 | 2 714 | | **4 342** |
| Divers | 2 685 | | | | **2 685** |
| **TOTAL** | 4 927 | 3 494 | 6 284 | 0 | **14 705** |

En 1998, sur la base des mêmes données techniques mais en tenant compte de l'actualisation des inventaires, l'Andra a procédé à une nouvelle évaluation du coût d'un stockage souterrain dans le cadre d'un scénario avec arrêt du traitement des combustibles usés en 2020. Ce scénario conduit à la nécessité de prévoir dans l'inventaire à stocker des combustibles usés de type UOX et MOX. L'inventaire pris en compte était alors de 89 200 $m^3$ de déchets B, 4 900 $m^3$ de déchets C et 24 000 tmli de combustibles usés. Les données relatives à ce chiffrage sont données dans le tableau ci-après :

**Chiffrage ANDRA 1998 (Arrêt du retraitement en 2020) en M€ 2003 (avec aléas)**

| | Commun | Spécifique Déchets B | Spécifique Déchets C | Spécifique Combustibles usés | **TOTAL** |
|---|---|---|---|---|---|
| Investissement | 838 | 3 563 | 2 380 | 6 078 | **12 859** |
| Exploitation | 1 964 | 178 | 599 | 2 999 | **5 740** |
| Divers | 2 685 | | | | **2 685** |
| **TOTAL** | 5 487 | 3 741 | 2 979 | 9 077 | **21 284** |

Au cours de l'année 2003, l'Andra a mené de nouveaux travaux de chiffrages. Ceux-ci se fondaient sur une évolution notable de l'architecture du stockage, une augmentation significative de la puissance thermique des déchets C (932 ou 1 260 W à 30 ans selon le type de colis) liée à une augmentation du taux de combustion des combustibles (de 33 à 45/55 GWj/t) et sur un critère de dimensionnement à 100°C en paroi des colis (contre 150°C auparavant). Par ailleurs, ce chiffrage bénéficiait d'une méthodologie de chiffrage plus détaillée, incluant une estimation de l'aléa de conception et s'appuyant sur une approche plus précise des coûts d'exploitation. Plusieurs options techniques de réalisation (colis B empilables ou non, alvéole avec barrière ouvragée ou sans pour les déchets C) et plusieurs modes de réalisation correspondant au creusement et au remblayage (simple ou complexe) étaient envisagés. Enfin, plusieurs scenarii de gestion des combustibles usés du parc électronucléaire actuel (REP) ont été définis, ceux-ci sont repris dans le tableau suivant :

| Scénario | Description |
|---|---|
| **S1a** | Scénario supposant le retraitement de tous les combustibles usés, admettant une augmentation de la charge thermique des verres et supposant un flux de plutonium résiduel, en partie conditionné dans des colis de verre |
| **S1b** | Scénario supposant le retraitement de tous les combustibles usés en dehors des combustibles MOX qui sont stockés directement, admettant une augmentation de la puissance thermique des verres |
| **S1c** | Idem S1b mais avec une production de colis de verre de puissance thermique équivalente à celle des verres produits actuellement |
| **S2** | Scénario d'arrêt du retraitement des combustibles UOX en 2010. Stockage direct des combustibles usés déchargés au delà, augmentation de la charge thermique pour environ 50% des colis haute activité C vitrifiés |

La combinaison des différents scenarii, des différentes options et des différents modes de réalisation conduit à un nombre important de chiffrages. Le tableau suivant illustre l'étendue des chiffrages correspondant à ces différents éléments sur la base du scénario S1a, colis B empilables – C sans barrière ouvragée :

**Chiffrage du scénario S1a - mode de réalisation complexe /** B empilables - C sans barrière ouvragée
**Montants non actualisés en M€ (avec aléas)**

| | Commun | Spécifique Déchets B | Spécifique Déchets C | Spécifique Combustibles usés | **TOTAL** |
|---|---|---|---|---|---|
| Investissement | 2 090 | 1 865 | 6 873 | | **10 828** |
| Exploitation | 3 759 | 496 | 4 439 | | **8 694** |
| Divers | 4 742 | 34 | 32 | | **4 808** |
| **TOTAL** | 10 591 | 2 395 | 11 344 | 0 | **24 330** |

**Chiffrage du scénario S1a - mode de réalisation simple /** B empilables - C sans barrière ouvragée
**Montants non actualisés en M€ (avec aléas)**

| | Commun | Spécifique Déchets B | Spécifique Déchets C | Spécifique Combustibles usés | **TOTAL** |
|---|---|---|---|---|---|
| Investissement | 1 250 | 1 040 | 3 280 | | **5 570** |
| Exploitation | 4 006 | 463 | 2 427 | | **6 896** |
| Divers | 3 443 | 24 | 12 | | **3 479** |
| **TOTAL** | 8 699 | 1 527 | 5 719 | 0 | **15 945** |

## 1.6. La mise en place du groupe de travail

Les producteurs de déchets radioactifs (dont les principaux sont EDF, CEA et AREVA) sont responsables de leurs déchets en vertu du principe "pollueur - payeur" posé par l'article L541-2 du Code de l'environnement. Si la recherche de solutions de gestion de ces déchets est confiée à l'Andra, les producteurs doivent en assurer le financement. La constatation de cette charge future se traduit par la constitution de provisions en application des règles comptables en vigueur. Ces provisions prennent en compte, d'une part la pratique industrielle existante de traitement du combustible usé et d'autre part une hypothèse concernant la gestion à long terme des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Pour cette dernière, en l'absence de choix national, les producteurs ont choisi de retenir comme hypothèse de calcul le stockage souterrain en couches géologiques profondes, s'agissant de la solution privilégiée à l'international et la plus aboutie au plan technique. L'évaluation de ces provisions nécessite donc de disposer d'un chiffrage pertinent d'une telle solution de gestion.

Dans ce contexte, il est apparu que les chiffrages de 1996 de l'Andra constituaient généralement la référence retenue par les différents acteurs du nucléaire alors que des chiffrages plus récents avaient été établis par l'Andra sur la base d'hypothèses actualisées et de calculs plus détaillés. En effet, les producteurs ne souhaitaient pas prendre en compte pour leurs provisions, sans examen plus approfondi à ce stade, les chiffrages établis en 2003 par l'Andra sur la base d'un certain nombre d'hypothèses et d'éléments techniques en cours de consolidation. Comme noté par la Cour des Comptes dans ses rapports publics particuliers sur l'Andra et EDF, il semblait dès lors nécessaire d'établir une vision partagée entre les Pouvoirs Publics –

Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP), Direction du Budget et Direction du Trésor – l'Andra, EDF, AREVA et le CEA quant aux hypothèses structurantes, à la méthodologie de calcul, à la prise en compte des incertitudes et à l'établissement de coûts de référence. Dans cette optique, un groupe de travail a été mis en place sur l'initiative de la DGEMP afin d'établir un "*référentiel commun*".

## 2. Structuration des travaux

### 2.1. Méthodologie retenue

La méthodologie des études menées au sein du groupe de travail a été fixée en commun selon le principe d'une démarche en deux étapes :

- Etape 1 : réalisation d'un cas de calcul sur la base d'un des chiffrages 2003 établis par l'Andra pour préciser la méthodologie de chiffrage d'un stockage sous des hypothèses données : chiffrage de ce cas de calcul par les producteurs, comparaison des méthodes, analyse des écarts de chiffrage.
- Etape 2 : adaptation du cas précédent à un autre scénario, dit scénario "industriel" (SI), correspondant au scénario de référence des producteurs de déchets, et analyse des risques et opportunités du projet de stockage souterrain.

Par ailleurs, le principe d'une étude de sensibilité sur la date de mise en service industrielle réalisée pour chacun des scenarii était également retenu, étant entendu que le chiffrage de base correspond à une mise en service industrielle au plus tôt, soit à l'horizon 2020. A l'occasion des premières réunions de travail, une grille d'évaluation a été élaborée afin d'homogénéiser la présentation des chiffrages et d'en faciliter la comparaison.

Enfin, les discussions menées au cours des réunions du groupe de travail ont conduit à traiter le cas des aléas de réalisation à part. Ainsi, bien que les chiffrages du scénario S1a aient été traités en incorporant les aléas, dans un souci de cohérence avec les chiffrages présentés à l'étape 2, les chiffrages des étapes 1 et 2 sont tout d'abord présentés hors aléas dans le cadre de ce rapport.

En conclusion, les éléments constitutifs devant être agrégés afin d'obtenir le chiffrage d'un stockage souterrain sont les suivants :

- Chiffrages de base hors aléas du scénario S1a ou industriel (SI) ;
- Estimation des aléas de réalisation (incertitude de réalisation) : il s'agit de prévoir dans le chiffrage le fait que la réalisation de tout ouvrage industriel puisse connaître des évolutions plus ou moins prévisibles ou que les chiffrages donnés par les entreprises sur un même objet peuvent varier ;
- Estimation des risques et opportunités (incertitude de projet) : les modes de réalisation de certains éléments du stockage souterrain ne sont pas encore définis à ce stade. Selon le mode retenu, le chiffrage peut donc osciller entre deux valeurs. Cet état de fait ne se résoudra qu'à une certaine échéance, avec la progression des études d'ingénierie et de démonstrations technologiques.

### 2.2. Choix des hypothèses communes aux deux étapes

- ***Scénario***

Au sein de la diversité des chiffrages réalisés par l'Andra en 2003 liée à la prise en compte de différents scenarii (S1a, S1b, S1c, S2), variantes de conception (colis B empilables ou non, barrière ouvragée pour les alvéoles de colis C ou non) et modes de réalisation correspondant aux techniques de creusement et de remblayage ("simple" ou "complexe"), plusieurs considérations ont permis de retenir le chiffrage étudié au cours de l'étape 1.

Les réflexions menées entre producteurs de déchets leur ont permis de conforter l'option "traitement – stockage" comme leur stratégie industrielle de référence pour la gestion des combustibles usés du parc électronucléaire en exploitation. Plus précisément, le traitement de l'ensemble des combustibles usés (UOX et MOX) a été retenu comme configuration de référence.

A ce titre, le scénario S1a de l'Andra, dont les hypothèses et les caractéristiques sont les plus proches du scénario industriellement et techniquement envisageables, a été retenu pour la première étape.

Ce scénario a ensuite été adapté par les producteurs afin de traduire au mieux :

- les chroniques prévisionnelles de production de déchets résultant des choix relatifs à la stratégie industrielle de gestion des combustibles (évolution des gestions en réacteurs et chronique de traitement des combustibles usés) ;
- les durées d'entreposage des déchets exothermiques prises en compte par l'Andra dans le dossier que l'Agence doit remettre en 2005 au Gouvernement (dossier "2005") ;
- la date de mise en service au plus tôt du stockage, compte tenu des seules contraintes techniques.

Cette adaptation a permis de définir le scénario industriel (SI). Ce scénario SI a été utilisé dans le cadre des travaux de la deuxième étape.

- ***Architecture***

A la demande des producteurs, une seule architecture de stockage a été retenue. Il a été décidé de retenir la variante "colis empilables" pour les déchets B et la variante "sans barrière ouvragée" pour les déchets C, l'Andra considérant ces deux concepts comme les options de référence à retenir, sans qu'elle soit pour autant aujourd'hui en mesure de quantifier le degré de vraisemblance de ces options par une probabilité.

- ***Critère de dimensionnement thermique***

Par ailleurs, il convient de compléter le choix des architectures retenues par les éléments dimensionnants à retenir que sont le critère de dimensionnement thermique et le mode de réalisation des installations souterraines du stockage. Pour le critère de dimensionnement thermique, l'Andra, en l'état des connaissances et au vu du consensus international, a retenu dans ses études un critère prévoyant que la température en paroi des colis placés en alvéoles de stockage ne peut excéder 100°C (90°C dans la roche). Ce dimensionnement est retenu pour la suite de l'étude.

- ***Mode de réalisation***

Enfin, pour ce qui concerne le "mode de réalisation" qui correspond au mode de creusement et de remblayage, un "mode de réalisation simple" a été retenu pour la première étape, étant entendu que le mode de réalisation complexe serait étudié au cours de la seconde étape dans le cadre de l'analyse des risques et opportunités. Ce mode de réalisation simple correspond à des propriétés géomécaniques du milieu géologique et du matériau de remblayage "favorables" qui nécessitent des expériences de creusement in situ pour être validées.

En conclusion, pour les travaux de l'étape 1, le scénario S1a – "mode de réalisation simple", avec colis B empilables et sans barrière ouvragée pour les alvéoles de colis C a été retenu. Les producteurs de déchets ont évalué le coût du stockage souterrain, sur la base des concepts et du dimensionnement réalisés par l'Andra mais avec leur propre méthode. Ceci a permis de comparer les méthodologies de chiffrages, d'en déterminer les différences et de les analyser.

### 2.3. Remarques relatives à la structure du rapport

Pour ce qui concerne ce rapport de travail, il a été jugé utile de retenir une présentation parallèle entre le chiffrage du scénario S1a, pris comme cas de calcul pour la première étape, et du scénario industriel, objet de la seconde étape, hors aléas de réalisation et avant prise en compte des risques et opportunités liés au projet, ces deux derniers éléments faisant l'objet d'une partie spécifique. Enfin, la méthode d'actualisation des chiffrages est présentée dans la dernière partie.

## 3. Chiffrage du "scénario S1a – mode de réalisation simple"

### 3.1. Hypothèses structurantes et inventaire pris en compte

Pour ses études et recherches sur la faisabilité d'un stockage en formation géologique profonde, l'Andra a réalisé un modèle d'inventaire qui repose sur des hypothèses englobantes. Ce modèle d'inventaire a été actualisé en 2002, il s'agit du modèle d'inventaire de dimensionnement ou MID.

Les hypothèses générales utilisées sont cohérentes avec l'état du parc électronucléaire actuel :

- Le parc électronucléaire considéré est constitué de 58 tranches REP chargées de combustibles UOX, de MOX (20 tranches) ou d'Uranium de retraitement (URE, 2 tranches). La production annuelle d'énergie est constante et supposée égale à 400 TWh.
- La durée de vie prévisionnelle des tranches est de 40 ans pour toutes les tranches selon les perspectives actuelles.
- Le taux de combustion moyen des combustibles URE déchargés est de 45 GWj/t, celui des combustibles UOX déchargés est de 33 GWj/t pour l'UOX1, 45 GWj/t pour l'UOX2 et 55 GWj/t pour l'UOX3. Celui des combustibles MOX est de 48 GWj/t.
- Les hypothèses précédentes conduisent, pour le parc REP existant, à une quantité totale de combustibles déchargés de 45 000 t de métal lourd (ML) environ.

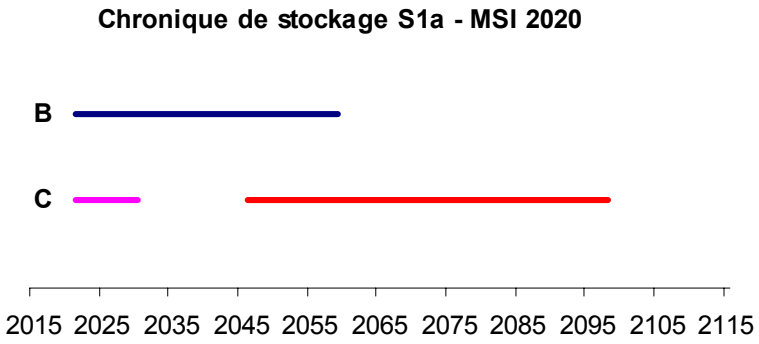
La prise en compte du scénario S1a conduit aux données d'inventaire suivantes :

| Scénario | Description | Déchets B (m3) | Déchets C (m3) |
|---|---|---|---|
| **S1a** | Scénario supposant le retraitement de tous les combustibles usés, admettant une augmentation de la charge thermique des verres et supposant un flux de plutonium résiduel, en partie conditionné dans des colis de verre | 78 890 | 6 330 |

La détermination de la chronique de stockage découle en particulier des données structurantes qui suivent :

- La date de mise en service de l'installation (MSI) prévue en 2020 dans le S1a ;
- Les délais de refroidissement des déchets avant stockage. En effet, les déchets de type C, correspondant aux déchets de haute activité, possèdent une puissance thermique relativement importante. Le respect des critères de dimensionnement thermique impose pour ces déchets un délai de refroidissement d'entreposage préalable au stockage. Ainsi, pour certains déchets C dits C "chauds" le refroidissement avant stockage pris en compte par l'Andra pour établir la chronique de stockage des déchets est de 60 ans pour les verres de traitement des UOX et de 70 ans pour les verres qui incorporeraient du Pu ou des résidus de traitement des MOX. Certains déchets C, dits également déchets C0 ou C "froids" ont été produits anciennement et auront donc pu refroidir suffisamment pour être stockés dès 2020.

Sur la base de ces données, le S1a retient de manière conventionnelle la chronique de stockage des déchets suivante :




Afin de comparer les bases de chiffrage toutes choses égales par ailleurs, il a été convenu que le chiffrage du S1a par les producteurs s'effectuerait à partir des métrés de l'Andra, sans analyse critique. Les dimensionnements des installations souterraines, pris en compte par l'Andra dans son chiffrage de 2003, ont ainsi été conservés. Dans ce dimensionnement, l'effet de la présence d'intercalaires entre les colis dans les alvéoles de déchets C n'avait pas été évalué par un calcul de thermique, mais avait été forfaitairement estimé à dire d'expert à partir d'une configuration calculée sans intercalaires, par la prise en compte d'un coefficient d'abattement de 20%.

### 3.2. Chiffrages Andra & producteurs

- ***Comparaison des chiffrages***

La comparaison des chiffrages réalisés par l'Andra et les producteurs est donnée ci-après :

**Chiffrage du scénario S1a - mode de réalisation simple /** B empilables - sans barrière ouvragée **- MSI 2020**
**Montants non actualisés en Md€ et hors aléas**

| | ANDRA | Producteurs | Ecart ANDRA - Producteurs | Ecart en pourcentage |
|---|---|---|---|---|
| **Investissement** | **5,4** | **5,2** | *0,2* | *3,0%* |
| dont construction fond | 3,1 | 3,0 | *0,1* | |
| dont fermeture | 0,5 | 0,6 | *-0,1* | |
| dont MOE | 0,6 | 0,4 | *0,2* | |
| dont autres postes (foncier, transport, colisage, installations de surface) | 1,2 | 1,2 | *0,0* | |
| **Exploitation** | **6,0** | **4,5** | *1,5* | *25,7%* |
| dont personnel | 2,3 | 1,5 | *0,8* | |
| dont fonctionnement / maintenance | 1,1 | 1,5 | *-0,4* | |
| dont jouvence | 2,4 | 1,2 | *1,2* | |
| dont pré et post exploitation | 0,3 | 0,3 | *0,0* | |
| **Divers** (Impôts&taxes, assurance, APD, R&D, MO) | **3,5** | **3,2** | *0,3* | *7,2%* |
| **TOTAL (hors aléas)** | **14,8** | **12,9** | 2,0 | 13,1% |

La différence d'évaluation entre les producteurs et l'Andra de ce scénario S1a s'établit à environ 2 Md€ sur le grand total, soit une différence de 13%. De manière plus détaillée, l'écart est faible pour les postes "investissement" (0,2 Md€ soit 3%) et "divers" (0,2 Md€ soit 7%). L'essentiel de l'écart constaté sur le montant total de l'évaluation provient du poste exploitation, celui-ci s'établit en effet à environ 1,5 Md€, soit un écart de 26% entre l'évaluation de l'Andra et celle des producteurs.

L'exercice de chiffrage d'un concept de stockage sous des hypothèses communes bien définies (inventaire, chronique de stockage, architecture, mode de réalisation, options techniques) montre donc un écart proportionnellement faible entre le chiffrage des producteurs et celui de l'Andra surtout si l'on considère

qu'il s'agit là d'un projet industriel novateur et d'une grande complexité, dont la mise en œuvre est prévue au plus tôt aux environs de 2020 et dont l'exploitation doit s'étaler sur environ 80 ans.

- ***Analyse des écarts de chiffrage Andra - Producteurs***

Pour ce qui concerne le poste "investissement", l'écart de chiffrage (0,2 Md€) est lié pour une faible part à des différences sur les bases de coûts unitaires utilisées par l'Andra et les producteurs (0,05 Md€). Celui-ci est principalement dû à l'appréciation différente des montants de maîtrise d'œuvre (MOE) pour la réalisation des travaux. Si la détermination de ces montants est réalisée pour l'Andra comme pour les producteurs par l'application de la loi MOP (maîtrise d'ouvrage publique) qui sert de référence pour définir le taux à appliquer au montant des travaux projetés, les éléments retenus pour leurs calculs divergent entre l'Andra et les producteurs.

L'écart sur le poste "exploitation" (1,54 Md€) est par ailleurs lié aux dépenses de jouvence & maintenance (0,78 Md€) et aux dépenses de personnel (0,76 Md€). Pour les frais de jouvence & maintenance, l'écart provient essentiellement de la méthode utilisée pour évaluer le coût des opérations de jouvence. D'un côté, l'Andra a choisi une méthode déduite d'une étude Westinghouse pour le stockage de combustibles usés et de déchets M-HAVL. Le retour d'expérience de Westinghouse est assis sur son rôle d'opérateur de la seule installation de stockage souterrain actuellement en exploitation (le WIPP aux Etats-Unis). Cette méthode conduit à appliquer un taux de 4% à une assiette d'investissement et à répartir annuellement l'effort de jouvence sur la durée d'utilisation de l'équipement. Les producteurs ont retenu quant à eux une méthode analytique s'appuyant sur leur propre retour d'expérience, en particulier sur l'usine de La Hague. Le chiffrage des producteurs a été effectué en prenant en compte directement l'inventaire et la chronique des déchets M-HAVL du S1a. La méthode des producteurs conduit à s'intéresser au chronogramme d'exploitation du stockage, à la façon dont les équipements seront progressivement utilisés et à faire des hypothèses sur la durée de vie de ces équipements. Enfin, il est à noter que l'écart initialement constaté sur ce poste entre l'Andra et les producteurs a été réduit (de 900 M€) suite aux analyses menées dans le cadre du groupe de travail. Pour ce qui concerne les frais de personnel, l'écart est lié à une différence dans l'estimation du nombre de personnels nécessaires au fonctionnement de l'installation. L'instruction de cette différence a été jugée complexe par les participants du groupe de travail en raison des classifications différentes du personnel utilisées par l'Andra ou les producteurs. Lors de la réunion de bilan de l'étape 1, l'Andra et les producteurs ont noté qu'un rapprochement complémentaire éventuel nécessiterait une analyse plus approfondie qui ne semblait pas nécessaire à ce stade.

Le montant du poste "divers" est calculé sur la base de formules appliquées sur le poste "investissement", les producteurs ayant repris les mêmes formules que l'Andra, l'écart est directement lié à la différence sur les postes "investissement" et "exploitation".

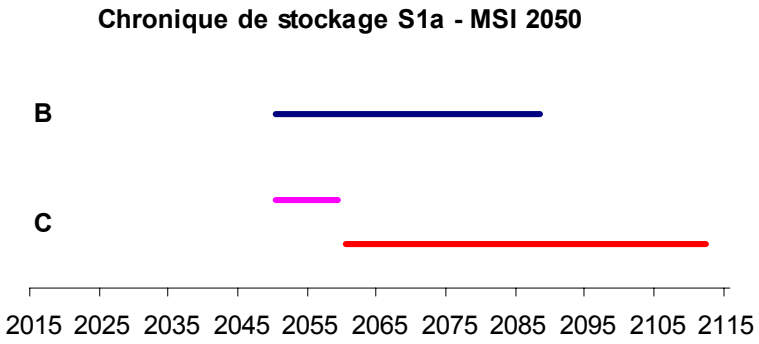
### 3.3. Etude de sensibilité à une mise en service en 2050

Le chiffrage réalisé pour le scénario S1a prévoit une mise en service industriel dès 2020. Il est apparu intéressant de disposer également d'une analyse de sensibilité du chiffrage sur la date de mise en service. Dans cet objectif, la date conventionnelle de 2050 a été retenue. L'étude de sensibilité a été conduite par l'Andra.

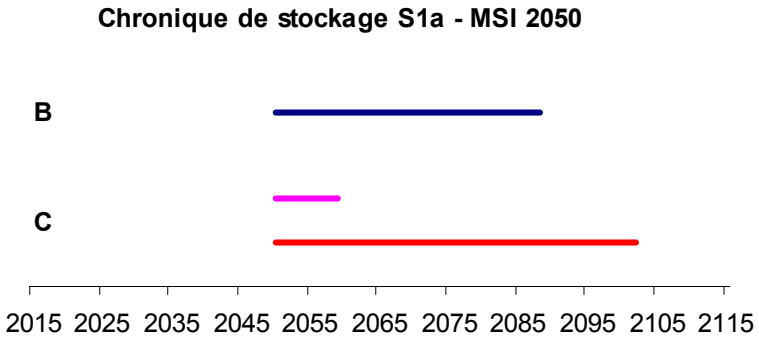
Dans le cas d'une mise en service industriel en 2020, la prise en compte des déchets C nécessite de distinguer les déchets C dont les caractéristiques thermiques permettent un stockage immédiat et ceux dont le stockage ne peut être envisagé sans un entreposage préalable dans un but de refroidissement. Une mise en service décalée (2050 ici) permet une prise en compte de l'ensemble des déchets C de manière continue.

Dès lors, deux stratégies peuvent être poursuivies :

- soit l'établissement d'un chronogramme avec un flux de prise en charge des déchets C identique à celui pris en compte dans le scénario avec mise en service industriel en 2020 :




- soit la mise au point d'un chronogramme avec une période commune pour le stockage des déchets C froids et les C chauds, ce qui conduit à augmenter le flux de déchets C à stocker par rapport au scénario avec mise en service industriel en 2020 :




La durée totale d'exploitation (hors période de construction et de fermeture définitive) est alors de 63 ans dans le premier cas et de 53 ans dans le second, celui-ci nécessitant néanmoins des investissements supplémentaires pour faire face à l'accroissement des flux durant la première décennie d'exploitation. Pour la suite de l'analyse de sensibilité, c'est le second scénario qui a été retenu car il permet la fermeture du stockage au plus tôt.

Une mise en service décalée en 2050 selon la chronique d'exploitation envisagée influe sur les coûts du stockage :

- L'Andra a estimé que l'augmentation du flux des colis C à stocker nécessite des investissements supplémentaires par rapport à une mise en service en 2020 (creusement d'un second puits, aménagement de la recette[2] puits, construction d'une seconde ligne de conditionnement des déchets C et aménagement du bâtiment nucléaire de surface, augmentation du nombre des hottes pour le transfert des déchets C).
- La réduction de la durée d'exploitation conduit à une réduction des coûts d'exploitation.
- Des modifications sur le poste divers sont liées au changement de l'assiette servant au calcul de ces coûts et de durée d'exploitation.

L'étude de sensibilité menée par l'Andra sur la base du scénario S1a conduit à l'évaluation suivante :

[2] Recette : large palier dans un puits de mine où sont reçus les produits.

**Chiffrage ANDRA du scénario S1a - mode de réalisation simple /** B empilables - C sans barrière ouvragée
**Montants non actualisés en Md€ et hors aléas**

| | S1a MSI 2020 | S1a MSI 2050 | Ecart |
|---|---|---|---|
| Investissement | 5,4 | 5,9 | 0,5 |
| Exploitation | 6,0 | 4,9 | -1,1 |
| Divers | 3,5 | 3,1 | -0,4 |
| **TOTAL** | **14,8** | **13,8** | **-1,0** |

Il convient de garder à l'esprit que cette étude ne vaut que pour un décalage de la mise en service industrielle compris entre 2020 et 2050, un décalage plus important conduirait in fine à la nécessité de revoir en profondeur le concept de stockage et à recommencer un travail d'évaluation. Sous ces limitations, l'analyse de sensibilité menée par l'Andra fait donc ressortir les enseignements suivants :

- Une date de mise en service industrielle en 2050 est techniquement compatible avec une durée d'exploitation inférieure à celle pour une mise en service industrielle en 2020.
- L'ordre de grandeur du coût du stockage avec mise en service industrielle en 2050 est le même que pour un stockage avec mise en service industrielle en 2020.
- L'étude de sensibilité montre que les coûts totaux non actualisés d'un stockage pourraient être réduits de l'ordre de 10% dans le cas d'une mise en service industrielle décalée de 2020 à 2050.

## 4. Chiffrage du "scénario industriel"

### 4.1. Hypothèses structurantes et inventaire pris en compte

Le SI a pour objectif de définir un scénario de stockage réaliste fondé sur la vision industrielle des producteurs de déchets, en précisant les hypothèses conventionnelles que peut parfois comporter le S1a. De façon pratique, le SI élaboré par les producteurs de déchets :

- S'appuie sur la meilleure vision actuelle de la gestion industrielle des combustibles ;
- Propose une chronique de stockage révisée basée sur :
    - la chronique de production des déchets issue de la chronique de traitement des combustibles usés correspondant à la meilleure vision actuelle ;
    - les délais d'entreposage pris en compte par l'Andra dans son dossier "2005" ;
    - une utilisation optimisée des installations de stockage (afin de déterminer des flux de stockage industriellement réalistes) ;
    - des délais techniques pour une MSI au plus tôt cohérents avec les chroniques considérées.

- ***Inventaire et chronique de stockage***

Dans cette seconde étape, l'Andra et les producteurs ont chiffré un nouveau scénario, dit "scénario industriel", élaboré par les producteurs de déchets. Ce scénario se base sur des considérations comparables au scénario S1a quant aux hypothèses de constitution et d'exploitation du parc électronucléaire (58 tranches REP fonctionnant sur 40 ans, 20 tranches fonctionnant avec du MOX, 2 tranches avec de l'uranium de retraitement enrichi, l'ensemble du parc produisant en moyenne 400 TWhe par an et traitement de l'ensemble des combustibles déchargés).

Dans ce scénario, le MOX est traité à partir de 2025 et les produits de fission sont incorporés en dilution dans les déchets de type C3 (colis intégrant les déchets issus du traitement d'UOX et de MOX). Dans l'optique d'un démarrage de réacteurs de génération IV fonctionnant selon un cycle U/Pu à l'horizon 2040, les déchets C du scénario industriel n'intègrent pas de plutonium.

Les hypothèses du scénario industriel et l'utilisation d'une application de l'outil de simulation d'EDF ont permis de dégager les données suivantes en terme d'assemblages déchargés des REPs :

**Combustibles REP déchargés en tML**

| | UOX1 | UOX2 | UOX3 | URE | MOX |
|---|---|---|---|---|---|
| Modèle d'inventaire de dimensionnement | 8 000 | 20 500 | 13 000 | 800 | 2 700 |
| Simulation pour le scénario industriel | 8 475 | 25 455 | 7 845 | 830 | 2 580 |

Dans ce tableau, UOX1, 2 et 3 correspondent à des taux de combustion croissants des combustibles UOX liés aux progrès techniques faits sur les assemblages (soit, en moyenne, 33 GWj/t pour les combustibles UOX1, 45 GWj/t pour les combustibles UOX2 et 55 GWj/t pour les combustibles UOX3). Les différences de tonnage entre le S1a et le SI enregistrées sur les UOX2 et UOX3 se compensent presque exactement : elles résultent de la prise en compte, dans la simulation, des gestions transitoires nécessaires pour passer progressivement des combustibles UOX2 vers les combustibles UOX3, la transition n'étant pas instantanée.

Par ailleurs, les hypothèses de composition des colis de déchets conduisent à prendre en compte dans le SI, pour les déchets C, des colis de type C0 et C1 rigoureusement identiques à ceux du scénario S1a. Les colis C2 (correspondant à des déchets de traitement de combustibles UOX) et C3 (déchets de traitement d'UOX et de MOX) sont "thermiquement" équivalents à ceux du S1a mais les simulations de déchargement et de traitement des combustibles ont conduit à affiner la typologie des verres à considérer. Le nombre de total de verres produits est supérieur au S1a, en raison du report en 2025, entre les deux scénarios, du début de traitement des MOX.

Pour ce qui concerne les déchets B, le scénario industriel retient un inventaire moins important lié à la prise en compte de filières alternatives pour certains des déchets comptabilisés dans le S1a.

Au final, l'inventaire considéré dans le cadre du scénario industriel s'établit comme suit :

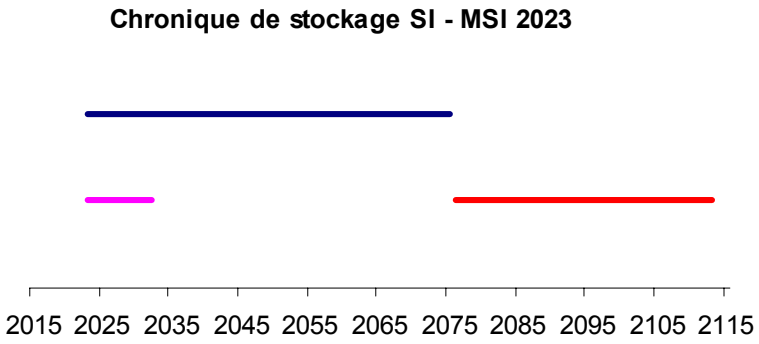
| Scénario | Déchets B (m3) | Déchets C (m3) |
|---|---|---|
| **SI** | 59 300 | 6 690 |

Les chroniques de production des déchets issues des simulations menées par les producteurs de déchets permettent d'obtenir les chroniques de disponibilité au plus tôt des déchets au stockage, en prenant en compte des délais de refroidissement préalables définis par l'Andra (15 ans maximum pour les déchets B, 60 ans pour les verres issus de combustibles UOX et 70 ans pour les verres issus des combustibles MOX). Ce faisant, on obtient la disponibilité au plus tôt du dernier des colis de déchets au stockage en 2113.

La chronique de stockage des déchets définie dans le cadre du scénario industriel se fonde sur une fin d'exploitation au plus tôt, soit en 2113 et sur une utilisation rationnelle au point de vue industriel des installations. Par ailleurs, les analyses menées par les producteurs de déchets, sur la base de leur retour d'expérience, ont conclu à une mise en service industrielle du centre de stockage au plus tôt en 2023 pour un début des travaux programmés en 2014 en raison des contraintes de réalisation liées en particulier à la cadence de creusement (500 à 600 m3/ jour)[3].

Ceci conduit à retenir la chronique de stockage suivante :

[3] L'hypothèse 2020 du calcul liée au S1a était pour sa part conventionnelle et n'avait pas fait l'objet d'une étude détaillée.




- ***Evolution du dimensionnement du stockage entre S1a et SI***

L'évolution de l'inventaire à stocker et de la chronique de prise en charge des colis de déchets, entre le scénario S1a et le scénario SI conduit à adapter le dimensionnement du stockage, à concepts inchangés par rapport au S1a. Pour mémoire, la comparaison des inventaires respectifs pris en compte dans les scénarii S1a et SI est la suivante :

| Scénario | Déchets B (m3) | Déchets C (m3) |
|---|---|---|
| **S1a** | 78 890 | 6 330 |
| **SI** | 59 300 | 6 690 |

L'architecture souterraine du stockage évolue pour les déchets B et pour les déchets C vers une compacité plus grande, le nombre de modules étant toutefois inchangé. Ces adaptations ont été menées en conservant les critères et les concepts définis par l'Andra pour le S1a. En ce qui concerne les déchets B, le volume moindre de déchets à stocker dans le SI conduit à des alvéoles de stockage de plus petite dimension. Pour les déchets C, les producteurs ont conduit un calcul de thermique pour déterminer le nombre de colis pouvant être accueillis dans une alvéole, compte tenu des intercalaires, et l'espacement nécessaire entre alvéoles afin de respecter les critères thermiques définis par l'Andra. Pour le SI, ce calcul prend également en compte l'augmentation du délai de refroidissement liée à la chronique de stockage des déchets. Si l'inventaire des déchets C à stocker est plus important dans le scénario industriel que dans le scénario S1a, les adaptations thermiques conduisent tout de même in fine à une augmentation de la compacité du stockage. Ces adaptations dimensionnelles ont donné lieu à un examen partiel de l'Andra.

Par ailleurs, la prise en compte d'une chronique différente de stockage des déchets dans le cadre du scénario industriel conduit à des flux de colis différents, ce qui permet d'ajuster les installations de surface. En particulier, cette diminution du flux de colis B à prendre en charge permet notamment de supprimer une ligne de conditionnement de déchets B.

### 4.2. Chiffrages Andra & producteurs

- ***Comparaison des chiffrages***

Sur la base de la chronique de stockage et des adaptations de concept exposés précédemment, l'Andra et les producteurs ont procédé à un chiffrage du scénario industriel – mode de réalisation simple. La comparaison des chiffrages est donnée dans le tableau suivant :

**Chiffrage du scénario SI - mode de réalisation simple /** B empilables - sans barrière ouvragée **- MSI 2023**
**Montants non actualisés en Md€ et hors aléas**

| | ANDRA | Producteurs | Ecart ANDRA - Producteurs | Ecart en pourcentage |
|---|---|---|---|---|
| **Investissement** | **4,2** | **3,9** | *0,3* | *7,9%* |
| dont construction fond | 2,3 | 2,0 | *0,3* | |
| dont fermeture | 0,3 | 0,5 | *-0,2* | |
| dont MOE | 0,4 | 0,3 | *0,2* | |
| dont autres postes (foncier, transport, colisage, installations de surface) | 1,1 | 1,1 | *0,0* | |
| **Exploitation** | **5,4** | **4,4** | *1,0* | *19,0%* |
| dont personnel | 2,6 | 1,5 | *1,1* | |
| dont fonctionnement / maintenance | 2,6 | 1,5 | *1,1* | |
| dont jouvence | | 1,1 | *-1,1* | |
| dont pré et post exploitation | 0,3 | 0,3 | *0,0* | |
| **Divers** (Impôts&taxes, assurance, APD, R&D, MO) | **3,6** | **3,2** | *0,4* | *10,0%* |
| **TOTAL (hors aléas)** | **13,2** | **11,5** | 1,7 | 13,0% |

- ***Comparaison des chiffrages S1a – SI***

Avant d'analyser les écarts de chiffrage entre l'Andra et les producteurs, il semble intéressant de comparer le chiffrage du scénario S1a et du scénario SI. Cette comparaison est donnée dans le tableau suivant :

**Comparaison des chiffrages S1a et SI - MSI 2020/2023 - Mode de réalisation simple - Hors aléas**

| | ANDRA | | Producteurs | |
|---|---|---|---|---|
| | **S1a** | **SI** | **S1a** | **SI** |
| Investissement | 5,4 | 4,2 | 5,2 | 3,9 |
| Exploitation | 6,0 | 5,4 | 4,5 | 4,4 |
| Divers | 3,5 | 3,6 | 3,2 | 3,2 |
| **TOTAL hors aléas** | **14,8** | **13,2** | **12,9** | **11,5** |

Le coût du scénario industriel s'établit pour le chiffrage Andra comme pour le chiffrage producteurs à environ 1,5 Md€ plus bas que pour le scénario S1a. L'écart entre ces deux chiffrages est principalement lié (i) à l'adaptation des dimensions de stockage aux caractéristiques thermiques des déchets "chauds", entrainant une augmentation de la compacité du stockage et une réduction de l'investissement consenti et (ii) à la diminution de l'inventaire des déchets B à stocker. Cette dernière est à l'origine de la suppression d'une ligne de colisage B qui permet une réduction supplémentaire de l'investissement. Enfin, les frais de maintenance et de jouvence étant calculés sur la base d'une assiette d'investissement, cette diminution se retrouve dans le coût d'exploitation du scénario industriel.

- ***Analyse des écarts de chiffrage Andra - Producteurs***

L'écart de chiffrage sur le scénario industriel – mode de réalisation simple s'établit à 1,7 Md€ sur le grand total, soit une différence de l'ordre de 13%. On retrouve le même niveau d'écart que dans le chiffrage du S1a. On peut constater à nouveau la faiblesse de l'écart de chiffrage sur ce projet industriel, eu égard à l'échéance de mise en œuvre éventuelle et à la durée d'exploitation attendue.

Cet écart est principalement porté par le poste "exploitation", à hauteur de 1 Md€, puisque les écarts sur les postes "investissement" et "divers" s'établissent respectivement à 0,3 Md€ et 0,4 Md€.

L'écart sur le poste "investissement" est dû majoritairement à l'écart sur la MOE (environ 0,2 Md€) lié, comme dans le cas du scénario S1a, aux différences d'appréciation sur les paramètres retenus en référence à la loi MOP. Dans une moindre mesure, il est lié à une différence sur les investissements "fond".

En ce qui concerne le poste “exploitation”, l’écart est lié en grande partie au personnel (environ 1 Md€). Celui-ci est issu de la différence d’appréciation sur le nombre de personnel devant être employé durant les différentes phases d’exploitation du stockage. La jouvence et le fonctionnement / maintenance présentent un écart réduit par rapport au S1a, de l’ordre de 0,1 Md€. Cette réduction est principalement liée à la convergence réalisée sur un nombre réduit d’équipements pris en considération (ce sous des hypothèses d’exploitation plus contraignante en terme de coexistence d’activités).

Enfin, la différence sur le poste “divers” est liée comme pour le cas du chiffrage du scénario S1a à la différence d’assiette donnant lieu à l’application des différentes formules de calcul.

### 4.3. Etudes de sensibilité

A la demande des administrations, les producteurs de déchets ont réalisé trois études de sensibilité sur la base du scénario industriel. Ces dernières n’ont pas donné lieu à une contre expertise de la part de l’Andra et sont donc mentionnées ici uniquement à titre d’information. Seule la dernière étude (sensibilité à la date de mise en service industrielle), a donné lieu à un échange technique avec l’Agence ; toutefois, l’Andra a étudié cette sensibilité dans le cadre du scénario S1a et non du scénario SI.

- ***Sensibilité à l’inventaire de déchets B***

La réduction de l’inventaire de déchets B dans le SI par rapport au S1a repose en grande partie sur une hypothèse de prise en charge des certains de ces déchets dans d’autres filières de gestion. Il a donc paru important d’évaluer la sensibilité du chiffrage obtenu à cette hypothèse. Pour ce faire, le surcoût correspondant à la prise en compte de l’inventaire de déchets B du S1a dans le SI a été évalué (supplément d’environ 20 000 $m^3$). Le stockage des déchets B a ainsi été estimé en considérant :

- une utilisation de la ligne de colisage au flux nominal, supérieur au flux d’utilisation de cette ligne tel que prévu par la chronique du SI de base ;

- un allongement de la période de stockage des déchets MAVL d’environ 5 ans.

Il en résulte un impact négatif (surcoût) de 0,4 Md€, comme détaillé ci-dessous :

**Chiffrage producteurs du scénario SI - mode de réalisation simple** / B empilables – C sans barrière ouvragée
**Montant non actualisé en Md€ et hors aléas**

| | **SI avec 60 000 m3 de déchets MAVL** | **SI avec 80 000 m3 de déchets MAVL** | **Ecart** |
|---|---|---|---|
| Investissement | 3,8 | 4,0 | 0,2 |
| Exploitation | 4,4 | 4,5 | 0,1 |
| Divers | 3,2 | 3,3 | 0,0 |
| **TOTAL** | **11,5** | **11,8** | **0,4** |

- ***Sensibilité à la chronique de stockage des déchets C***

Alors que la disponibilité des premiers déchets C “chauds” au stockage se situe aux alentours de 2050, la chronique retenue pour le SI ne considère leur mise en stockage effective que 20 ans après environ.

Cet écart résulte principalement du décalage de 10 ans entre la durée de refroidissement des verres issus du traitement de combustibles UOX et de ceux issus du traitement de combustibles MOX, dans le cadre d’une recherche d’une rationalité industrielle visant un fonctionnement des installations de stockage à leur flux nominal pendant leur durée d’exploitation, sans sous-utilisation prolongée.

Comme la Commission nationale d'évaluation l'a plusieurs fois suggéré, le temps de refroidissement supplémentaire dont bénéficient ainsi les premiers verres "chauds" a ainsi un effet positif en termes de réduction de l'emprise du stockage. Ce gain en compacité génère également un bénéfice économique.

Il a néanmoins paru intéressant d'évaluer la sensibilité du chiffrage du SI à la date de début du stockage des premiers déchets C "chauds" (la date de stockage du dernier déchet C restant quant à elle inchangée, car il s'agit d'une date au plus tôt). Pour ce faire, une sous-utilisation des installations de stockage à moins de la moitié de leur flux nominal pendant une quarantaine d'années a été envisagée, afin de permettre le stockage des premiers déchets C « chauds » dès que disponibles, à l'horizon 2050.

Il en résulte un surcoût de 0,3 Md€ par rapport chiffrage du SI avec sa chronique de référence, comme détaillé ci-dessous.

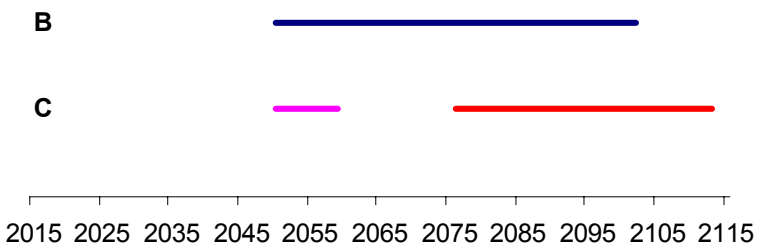
**Chiffrage producteurs du scénario SI - mode de réalisation simple** / B empilables – C sans barrière ouvragée
**Montant non actualisé en Md€ et hors aléas**

| | SI - chiffrage de base | SI - anticipation du stockage des déchets C chauds | Ecart |
|---|---|---|---|
| Investissement | 3,8 | 4,0 | 0,1 |
| Exploitation | 4,4 | 4,6 | 0,2 |
| Divers | 3,2 | 3,2 | 0,0 |
| **TOTAL** | **11,5** | **11,8** | **0,3** |

- ***Sensibilité à la date de mise en service du stockage***

Afin d'étudier, comme pour le scénario S1a, la sensibilité du chiffrage à un décalage de la mise en service industrielle en 2050, les producteurs ont défini une chronique de stockage incluant un décalage du début de stockage des déchets B et C0 en 2050, avec le même flux que pour la mise en service industrielle en 2023. La prise en compte des déchets C chauds n'a par contre pas donné lieu à changement.

**Chronique de stockage SI - MSI 2050**




Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

**Chiffrage Producteurs du scénario SI - mode de réalisation simple /** B empilables - sans barrière ouvragée
**Montants non actualisés en Md€ et hors aléas**

| | SI MSI 2023 | SI MSI 2050 | Ecart |
|---|---|---|---|
| Investissement | 3,9 | 3,9 | 0,0 |
| Exploitation | 4,4 | 3,6 | -0,8 |
| Divers | 3,2 | 2,7 | -0,5 |
| **TOTAL** | **11,5** | **10,2** | **-1,3** |

Le décalage de la date de mise en service industrielle conduit à une diminution du coût du stockage de 1,2 Md€, soit environ 10%. Celle-ci est principalement liée à la réduction de la durée d'exploitation qui entraîne une baisse des coûts d'exploitation mais aussi des coûts divers. L'écart sur l'investissement

correspond à l'addition d'une installation de déchargement supplémentaire nécessaire à la prise en compte d'un flux supplémentaire de déchets lié au stockage de déchets B et C en même temps. Enfin, l'effet constaté sur le chiffrage de cette mise en service industrielle décalée est cohérent avec les conclusions formulées par l'Andra dans le cadre de l'étude mise en service industrielle en 2050 pour le scénario S1a (diminution de 10% du coût du stockage).

## 5. La prise en compte des aléas de réalisation

La prise en compte des aléas de réalisation correspond au fait que la réalisation d'un ouvrage industriel donné peut être affectée par des événements plus ou moins prévisibles ou que les chiffrages donnés par des entreprises sur un même objet peuvent varier. Pour se prémunir contre les aléas de réalisation, il convient donc d'inclure dans le chiffrage une marge pour aléas sous la forme d'un pourcentage forfaitaire.

Dans le cas du chiffrage du stockage souterrain, cette marge pour aléas s'applique sur les postes "Installations de surface", "Installations de fond" et "Fermeture" du segment "Investissement".

L'Andra considère qu'une marge forfaire correspondant à un taux de 20% d'aléas sur ces postes doit être pris en compte en raison du caractère complexe de ce projet industriel. Pour leur part, les producteurs ont mené une réflexion sur la marge à appliquer pour prendre en compte les aléas de réalisation. L'analyse de leur base de coûts ex post a permis aux producteurs de tenir compte de la dispersion de leurs données de retour d'expérience par rapport aux coûts unitaires utilisés dans leur chiffrage de la configuration de base. Cette dispersion a été modélisée comme une incertitude de réalisation (aléas), en complément des risques et opportunités et caractérisée par une moyenne de 0,02 Md€ et un écart type de 0,37 Md€. Cette incertitude est à mettre en regard de la marge forfaitaire de l'Andra au titre des aléas. Elle conduit in fine à retenir une marge pour aléas qui peut représenter l'équivalent d'une marge forfaitaire sur les postes investissement identifiés de 5 à 20% selon les incertitudes et opportunités retenues.

On trouvera donc résumé dans le tableau suivant les principaux éléments à ajouter aux chiffrages de base hors aléas pour obtenir le chiffrage avec aléas en fonction du taux retenu :

**Marge pour aléas en M€**

| | Taux d'aléas | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Scénario** | **5%** | **10%** | **15%** | **20%** |
| S1a - Chiffrage ANDRA | 210 | 420 | 630 | 840 |
| S1a - Chiffrage Producteurs | 210 | 420 | 630 | 840 |
| SI - Chiffrage ANDRA | 160 | 320 | 480 | 640 |
| SI - Chiffrage Producteurs | 150 | 300 | 450 | 600 |

Il convient cependant de noter que cette marge correspond à une part relativement faible de l'évaluation du coût total d'un stockage souterrain, de l'ordre de 2 à 8%.

**Comparaison des chiffrages S1a et SI - MSI 2020/2023 - Mode de réalisation simple - Avec aléas**

| (en Md€) | Taux d'aléas | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Scénario** | **5%** | **10%** | **15%** | **20%** |
| S1a - Chiffrage ANDRA | 15,0 | 15,2 | 15,4 | 15,6 |
| S1a - Chiffrage Producteurs | 13,0 | 13,2 | 13,4 | 13,6 |
| SI - Chiffrage ANDRA | 13,4 | 13,5 | 13,7 | 13,8 |
| SI - Chiffrage Producteurs | 11,7 | 11,8 | 12,0 | 12,1 |

## 6. Incertitudes de projet

L'état d'avancement du projet de centre de stockage souterrain au point de vue industriel impose de prendre en compte une analyse des incertitudes de projet (risques et opportunités) relatives à cet objet. Il est en effet

nécessaire d'envisager qu'un certain nombre de risques pourraient conduire à des investissements supplémentaires tandis qu'un certain nombre d'opportunités pourraient découler d'une prise en compte d'optimisations et réduire in fine le coût d'investissement. Il convient de noter à ce stade que la prise en compte des risques dans les chiffrages 2003 de l'Andra donnait lieu aux chiffrages dits "hauts" pour le mode de réalisation complexe.

### 6.1. Analyse des risques et opportunités du projet

L'Andra et les producteurs ont mené conjointement une étude des risques et opportunités sur la base du scénario industriel. Le volet risques s'est appuyé sur le travail de l'Andra dans le cadre du S1a et a été adapté en lien avec les producteurs. Les opportunités ont été proposées par les producteurs, l'Andra précisant qu'elle n'avait pas d'objection a priori sans avoir toutefois procédé à une étude technique. Ce travail a permis de lister les incertitudes de projet, de les caractériser, d'évaluer les coûts en cas d'occurrence et de donner une estimation à dire d'experts de la probabilité d'occurrence. Pour ce qui concerne l'impact en terme de coûts du stockage souterrain, au coût direct a été ajouté l'impact sur le poste divers (lié au changement du montant de l'assiette appliquée aux formules utilisées pour calculer le montant du poste divers), sur la MOE et sur le poste jouvence / maintenance, ce qui permet d'évaluer le coût complet en cas d'occurrence.

Les risques et opportunités sont synthétisés dans le tableau ci-après :

| | Impact "coût" SI (en Md€) | Probabilité d'occurrence à dire d'expert |
|---|---|---|
| **RISQUES** | | |
| ***Architecture "fond"*** | | |
| Ouvrage de grande section : prise en compte de caractéristiques géotechniques de l'argile requérant des modalités de creusement plus contraignantes. | 0,49 | 50% |
| Creusement de la zone centrale : idem précédent. | 0,33 | 50% |
| Dimensions de la zone centrale : prise en compte d'une majoration du volume excavé nécessaire pour cette zone centrale afin de traduire une incertitude de conception | 0,33 | 50% |
| Section des galeries C chauds : prise en compte d'un comportement géotechnique sous contrainte thermique requérant un épaississement des parois. | 0,23 | 70% |
| ***Fermeture*** | | |
| Composition et fabrication du remblai : apport d'un additif à l'argile de site pour améliorer la raideur du remblai. | 0,28 | 40% |
| Transport et mise en place du remblai : prise en compte d'un besoin de compactage plus important qu'en option de réalisation simple pour augmenter les propriétés mécaniques. | 0,45 | 80% |
| ***Equipements*** | | |
| Equipements de puits et de zone centrale : prise en compte d'une conception plus complexe des équipements. | 0,22 | 50% |
| Equipements fixes des alvéoles C : idem précédemment. | 0,07 | 50% |
| Equipements récupérables B&C : idem précédemment. | 0,05 | 50% |
| Equipements fixes des alvéoles B et des galeries : idem précédemment. | 0,07 | 50% |
| ***R&D*** | | |
| R&D : prise en compte d'un effort de R&D supérieur. | 0,2 | 50% |
| **TOTAL RISQUES** | **2,73** | |

| | | |
|---|---|---|
| **OPPORTUNITES** | | |
| ***Colisage*** | | |
| Suppression du colisage C : les colis de déchets vitrifiés sont mis en place directement dans l'alvéole sans surconteneur en acier. | -0,38 | 30% |
| ***Architecture "fond"*** | | |
| Optimisation du nombre de liaisons surface fond : suppression d'un puits ou de la descenderie, en conformité avec le dossier technique actuel. | -0,1 | 80% |
| Première optimisation du réseau de galeries : gain en linéaire de galeries et en volume excavé. | -0,59 | 60% |
| Eloignement des puits d'accès : optimisation complémentaire nécessitant de revoir le positionnement relatif des puits ; gain complémentaire en linéaire de galeries et en volume excavé. | -0,27 | 30% |
| Galeries de manutention C : tracé permettant une progression continue de la machine de forage ; gain complémentaire en linéaire de galeries et en volume excavé. | -0,18 | 50% |
| Critère thermique à 120°C : augmentation de 90°C à 120°C de la température maximale admissible en entrée de barrière géologique, permettant une augmentation de la compacité de stockage des déchets C | -0,3 | 10% |
| ***Equipements*** | | |
| Optimisation du nombre d'operculaires C dont le nombre est réduit de 200 à 100 unités. | -0,15 | 30% |
| **TOTAL OPPORTUNITES** | **-1,96** | |

La levée de chacune de ces incertitudes – risque ou opportunité – mentionnée dans le tableau précédent pourra être effectuée lors de l'achèvement des études d'avant-projet détaillé, à l'horizon de la décennie 2010-2020.

Le groupe de travail n'a par ailleurs pas considéré que le risque associé à la prise en compte d'une barrière ouvragée (BO) dans cette analyse. Celui-ci apparaît en effet peu probable au stade actuel des études. Pour mémoire, une estimation de l'impact d'une barrière ouvragée sur le coût d'un stockage souterrain dans le cadre du SI a néanmoins été réalisée par l'Andra et conduit à un surcoût potentiel de 2,4 Md€.

### 6.2. Prise en compte des risques et opportunités dans le chiffrage

La prise en compte des risques et opportunités de réalisation affectant le stockage souterrain pour évaluer le coût du stockage peut s'apprécier de deux manières différentes :

- en sélectionnant de manière spécifique les incertitudes et opportunités que l'on retient dans le cadre du chiffrage, il s'agit d'une approche déterministe liée à un choix réalisé par l'évaluateur ;

- en se basant sur une approche statistique fondée sur les probabilités d'occurrence à dire d'expert afin de définir une marge pour se couvrir contre les risques et opportunités tels qu'identifiés au sein du tableau précédent.

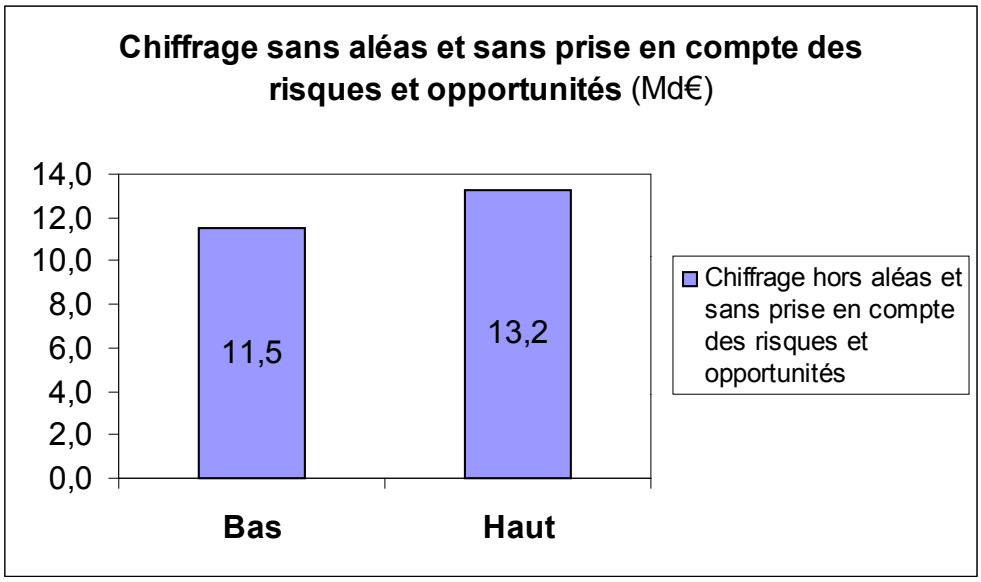
## 7. Récapitulatif sur la base du scénario industriel

Cette partie vise, avant d'aborder la question de l'actualisation, à dégager un certain nombre de références pour le scénario industriel sur la base des éléments présentés dans les parties précédentes.

### 7.1. Chiffrage brut hors aléas et sans prise en compte des risques et opportunités

Les travaux réalisés au sein du groupe ont montré que, sous des hypothèses bien définies (inventaire, options de réalisation, chronogramme de stockage …), les évaluations des chiffrages "bruts" (hors aléas, sans prise des risques et opportunités) réalisées par l'Andra et par les producteurs de déchets sont très proches (13% d'écarts pour le cas du scénario industriel – mode de réalisation simple et hors aléas). En outre, les différences d'appréciations à l'origine des écarts entre l'évaluation des producteurs et celle de l'Andra semblent tout à fait acceptables au vu des échéances de temps lointaines de mise en œuvre et de la faible maturité du projet industriel. Il ne semble donc pas possible ou pertinent d'arbitrer à ce stade entre les deux évaluations. Elles peuvent donc être envisagées comme un intervalle encadrant une évaluation "raisonnable" du coût "brut" d'un stockage.

Le graphique suivant donne un tel intervalle pour le scénario industriel – colis B empilables, C sans barrière ouvragée, mode de réalisation simple, mise en service industrielle en 2023 – et, à ce stade, hors aléas et sans prise en compte des risques et opportunités.




### 7.2. Prise en compte des aléas et des risques et opportunités

La prise en compte des aléas et des risques et opportunités dans le chiffrage nécessite de disposer d'une méthode permettant de définir des marges prudentes pour tenir compte de ces éléments et de définir une méthode d'agrégation pour reconstituer le coût "complet" du stockage. L'Andra et les producteurs ont présenté chacun des méthodes pour ce faire.

Suite à la présentation de ces différentes méthodes, les membres du groupe de travail ont estimé que la prise en compte des aléas, des risques et éventuellement des opportunités dans le cadre de l'exercice d'évaluation définitive des provisions (c'est à dire l'élaboration d'une méthode permettant de reconstituer un coût

complet) revenait, à partir des éléments contenus dans le présent rapport, aux producteurs de déchets, sous leur responsabilité et sous le contrôle de leurs commissaires aux comptes et de leurs organes de gouvernance.

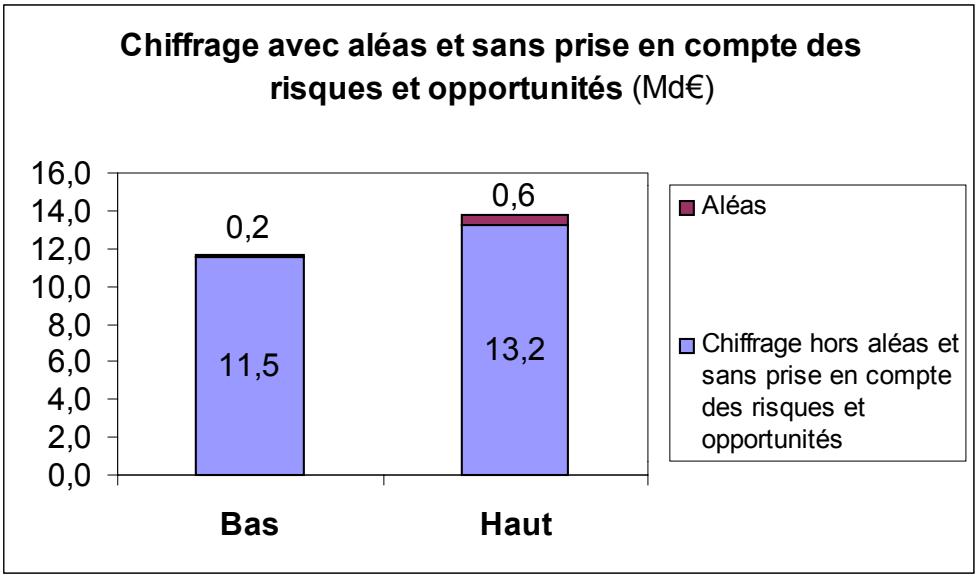
## 8. Méthode d'agrégation

Sur la base des éléments issus des travaux du groupe et de façon à illustrer une façon de reconstituer un tel coût complet, les administrations ont défini une méthode permettant, à partir des coûts bruts hors aléas et sans prise en compte des risques et opportunités, d'obtenir les coûts avec prise en compte des aléas, des risques et des opportunités. Cette méthode qui permet d'aboutir à un intervalle de chiffrage du coût d'un stockage est décrite ci-après.

### 8.1. Prise en compte des aléas de réalisation

Pour prendre en compte dans l'évaluation du chiffrage la notion d'aléas de réalisation, il est nécessaire de fixer a priori un taux. Le groupe de travail n'a pas disposé d'éléments de comparaison avec d'autres grands projets industriels menés dans le secteur nucléaire ou dans le secteur minier et il s'avère donc difficile pour le groupe de travail de se prononcer sur le taux à retenir. Les administrations proposent donc de "déformer" l'intervalle précédent en ajoutant à la borne inférieure représentée par l'évaluation des producteurs un montant correspondant à un taux de 5% d'aléas, tandis que le chiffrage haut, correspondant à celui de l'Andra, est majoré pour prendre en compte un taux de 20% d'aléas.

Le graphique suivant donne donc cet intervalle pour le scénario industriel – colis B empilables, C sans barrière ouvragée, mode de réalisation simple, mise en service industrielle en 2023 – avec aléas et, à ce stade, sans prise en compte des risques et opportunités.



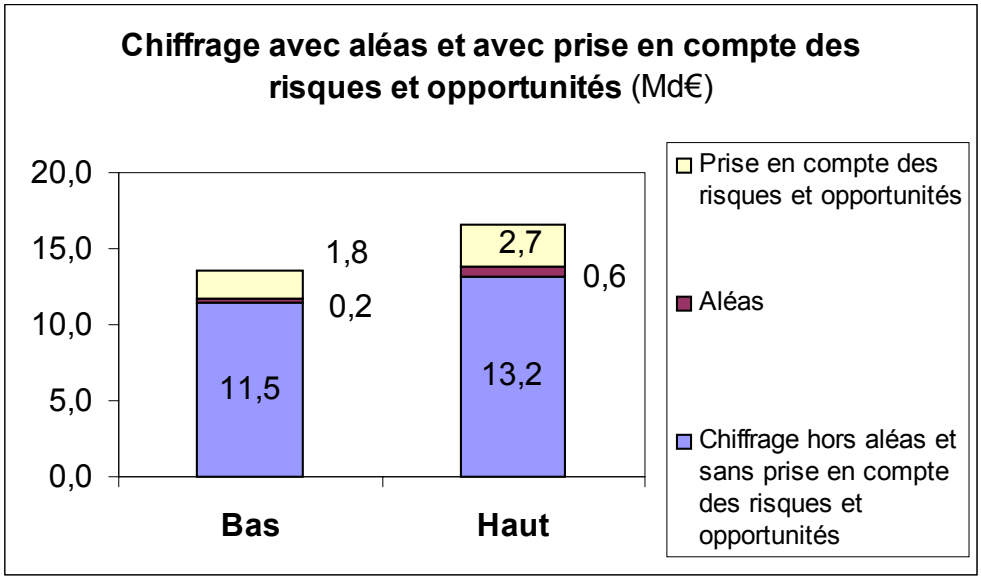

### 8.2. Chiffrage brut avec prise en compte des aléas et des risques et opportunités

Une liste de risques et d'opportunités potentiels a été déterminée. Des coûts et des probabilités ont été évaluées sur la base de propositions de l'Andra pour les risques, des producteurs pour les opportunités. Il apparaît essentiel, afin d'obtenir une évaluation du coût d'un stockage souterrain, de prévoir une marge pour prise en compte de ces risques et opportunités. Les producteurs de déchets ont proposé, sur la base des risques et opportunités identifiés et de leur probabilité d'occurrence, une méthode statistique qui conduit à retenir une marge de 1,8 Md€.

Pour leur part, les administrations parties au groupe de travail considèrent qu'il est nécessaire, dans le travail de constitution d'un intervalle de référence pour le chiffrage d'un coût de stockage, de garder mémoire de la

situation la plus défavorable possible, à savoir la réalisation de toutes les incertitudes (impact de 2,7 Md€). Le montant de cette marge sera d'ailleurs appelé à évoluer dans le futur avec la levée successive des incertitudes de ce projet.

Au final, le graphique suivant donne un intervalle pour le chiffrage du scénario industriel, colis empilable, sans barrière ouvragée et mise en service industrielle en 2023.




**Si la fourchette d'évaluation du coût du scénario SI peut être considérée comme raisonnablement prudente sur la base des connaissances actuelles, cette "fourchette" de chiffrage n'est naturellement valable que dans le cadre très précis retenu au sein de cette étude**, dont les hypothèses sont rappelées ici : (i) scénario industriel supposant en particulier le traitement de tous les combustibles usés et reposant sur un inventaire et un chronogramme donné ; (ii) concepts sans barrière ouvragée pour les déchets C et avec des colis de déchets B empilables ; (iii) stockage réversible avec une fermeture intervenant à l'issue de la mise en place au sein du stockage du dernier colis de déchet prévu. Il convient par ailleurs de souligner l'impact sur le chiffrage du chronogramme lié au scénario industriel, en particulier l'entrée tardive dans l'installation de stockage des déchets C autres que C0 (vers 2070 environ) qui permet un gain sur la thermique des déchets et ainsi une compacité plus importante du stockage (voir § 2.4.). Enfin, il semble nécessaire de suivre attentivement l'évolution des différentes hypothèse structurantes retenues dans le cadre de cette étude dans la mesure où certaines interrogations devraient trouver des réponses au cours des dix prochaines années, en particulier, la réalisation ou non des risques et opportunités : à ce titre, une revue régulière du référentiel de chiffrage obtenu en 2005 s'impose.

## 9. Chiffrages actualisés

La prise en compte du travail d'évaluation du coût d'un stockage souterrain pour calculer un montant à provisionner nécessite, en vertu des normes comptables en vigueur, de disposer d'un chiffrage actualisé. Outre la définition d'une année de référence (n) et d'un taux d'actualisation, le calcul de ce montant actualisé fait appel à la chronique annuelle des dépenses liées au stockage selon la formule :

$$coût_total_actualisé = \sum_j (coût_année(j))/(1+taux_actualisation)^{j-n}$$

Par ailleurs, comme pour les coûts bruts, le chiffrage actualisé d'un stockage souterrain s'obtient en sommant le chiffrage de base hors aléas, les aléas de réalisation et la prise en compte des risques et opportunités.

### 9.1. Actualisation du chiffrage de base hors aléas

- ***Grille d'évaluation et chronique des dépenses***

La grille d'évaluation définie et utilisée par l'Andra et les producteurs pour les chiffrages du S1a et du SI possède un volet "temporalisé" qui donne pour chaque poste de coût une année de début (obtenue en ajoutant "le décalage" à la "date repère") ainsi qu'une "durée". Si l'on suppose que les dépenses annuelles de chaque poste sont constantes sur la "durée" du poste, on peut alors déterminer un coût brut annuel pour chacun des postes entre une date de début et une date de fin que l'on peut actualiser. En sommant les coûts sur les différents postes, on obtient alors le coût total actualisé.

### 9.2. Prise en compte des aléas de réalisation

Les aléas de réalisation concernent les postes "Installations de surface", "Installations de fond" et "Fermeture" du poste "Investissement". Il suffit donc, pour prendre en compte les aléas dans le coût actualisé, d'appliquer à ces 3 postes une majoration forfaitaire correspondant au taux d'aléas retenu.

### 9.3. Prise en compte des incertitudes et opportunités

L'actualisation de l'impact lié à la prise en compte d'incertitudes et d'opportunités pour le stockage souterrain nécessite de distinguer le coût direct d'une part et le coût induit d'autre part (impacts sur le poste divers, sur la MOE et sur le poste jouvence / maintenance du coût direct). Le coût actualisé est alors obtenu par somme du coût direct actualisé et du coût indirect actualisé.

- ***Actualisation du coût direct***

Pour chacun des risques ou opportunités identifiés, la valeur actualisée du coût direct est estimée par proportionnalité avec l'impact de l'actualisation sur le poste sur lequel le risque ou l'opportunité porte.

- ***Actualisation du coût induit***

L'actualisation des différentes composantes (impôts, MOE, assurance, APD, MO, jouvence et maintenance) du coût induit se fait par proportionnalité avec l'impact de l'actualisation sur le poste divers correspondant. Les dépenses indirectes sont en effet engagées selon un échéancier propre, a priori différent de l'échéancier du poste du coût direct générateur.

## Conclusions

**Les études menées par le groupe de travail qui a réuni les pouvoirs publics, l'Andra et les producteurs de déchets (EDF, AREVA, CEA) de juin 2004 à mars 2005 ont permis de disposer d'un référentiel commun et partagé. L'objectif du groupe de travail est donc rempli**.

Deux scenarii, dit S1a et SI (ou scénario industriel), ont successivement été chiffrés par l'Andra et les producteurs. Pour chacun de ces scenarii, les écarts d'évaluation sont réduits, de l'ordre de 10 à 15 %, surtout si l'on considère l'état d'avancement du projet et les constantes de temps mises en jeu. Ces écarts ont par ailleurs été identifiés et expliqués, ils correspondent à des divergences d'appréciation entre lesquelles il ne semble pas envisageable d'arbitrer de manière pertinente à ce stade.

L'écart entre le chiffrage du scénario S1a et celui du scénario SI (ce dernier étant minoré de 1,5 Md€ environ) est notamment lié à la différence sur le chronogramme d'exploitation du stockage, sur l'inventaire pris en charge ainsi qu'à l'augmentation de la compacité du stockage.

**Dans le cas du scénario industriel qui constitue le scénario de référence des producteurs, l'application numérique de la méthode de chiffrage a permis de déterminer une fourchette raisonnable d'évaluation du coût d'un stockage**: la borne inférieure estimée à 13,5 Md€ correspond au chiffrage bas, avec prise en compte d'un aléa de réalisation à hauteur de 5% et d'une marge pour risques et opportunités ; la borne supérieure de 16,5 Md€ correspond au chiffrage haut, majoré d'un taux d'aléa de 20% et se situe dans une hypothèse pénalisante de prise en compte de l'intégralité des risques identifiés sans réalisation parallèle d'opportunités. Au cours des dix prochaines années, certains questionnements relatifs aux risques et opportunités devraient être résolus, permettant de réduire progressivement l'amplitude de cet intervalle.

Enfin, une grille de chiffrage a été établie afin de disposer d'une méthode précise et des différents jalons temporels nécessaires à l'actualisation des coûts.

**Cette conclusion n'est naturellement valable que dans le cadre des hypothèses précises retenues au sein du groupe de travail** : (i) détermination d'un inventaire et d'un chronogramme donnés liés au scénario industriel, en particulier le traitement de tous les combustibles usés est envisagé ; (ii) concepts sans barrière ouvragée pour les déchets C et avec des déchets B empilables.

De façon à prendre progressivement en compte les résultats des travaux de recherche qui seront menés par l'Andra au cours des dix prochaines années, il semble nécessaire de pouvoir actualiser régulièrement ce référentiel de chiffrage, en particulier en fonction de la réalisation ou non des risques ou opportunités identifiés. Dans ces conditions, il apparaît aujourd'hui que l'intervalle défini plus haut pourrait être largement stabilisé et réduit d'ici à l'horizon 2015. La nature de travaux de recherche menés ainsi que leur calendrier conduisent à proposer d'ici là une actualisation du référentiel tous les trois ans, ou moins si certaines échéances techniques rendaient une mise à jour nécessaire.