

**COMMISSION NATIONALE D’EVALUATION**  
**DES RECHERCHES ET ETUDES RELATIVES**  
**A LA GESTION DES MATIERES ET DES DECHETS RADIOACTIFS**  
*Instituée par la loi n°2006-739 du 28 juin 2006*

**ANALYSE DES DOCUMENTS CIGEO 2016 ET RECOMMANDATIONS**

**NOVEMBRE 2016**



## ANALYSE DES DOCUMENTS CIGEO 2016 ET RECOMMANDATIONS

### Résumé et Conclusions

La loi de 2006 prévoit que la Commission donne un avis sur la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo. En conséquence, la Commission a analysé les documents Cigéo 2016 dans l'optique de préparer cet avis. Elle a pris en compte la R&D conduite depuis plus de 20 ans et les règles fixées par la loi du 28 juin 2006 ainsi que la loi du 25 juillet 2016 qui définit la réversibilité d'un stockage de déchets nucléaires de haute activité. Pour la Commission, Cigéo doit être conçu comme un stockage réversible, robuste, destiné à être fermé *in fine* pour assurer une sûreté passive à long terme ; sa fermeture est progressive, tout en garantissant la récupérabilité. Les déchets étant ultimes, la récupération d'un ou plusieurs colis n'est envisagée aujourd'hui qu'en cas de dysfonctionnement de Cigéo.

La réversibilité étant une capacité de décision évolutive, la Commission n'estime pas souhaitable de laisser ouverts les alvéoles remplis. Elle recommande la mise en place, au cours de la phase d'exploitation de Cigéo, d'une structure d'isolement étanche permettant à chaque alvéole, ainsi isolé, d'évoluer en mode passif vis-à-vis du milieu géologique ; ces alvéoles feront l'objet d'un programme de suivi continu. Les revues de réversibilité seront notamment l'occasion de prendre la décision d'isoler ou non des alvéoles. Le Plan directeur d'exploitation (PDE) devra donc analyser de façon approfondie les modalités de cette stratégie d'isolement. L'Andra devra démontrer que les ouvrages d'isolement étanche des alvéoles remplissent toutes les fonctions de protection en situations incidentelles ou accidentelles, notamment en cas d'incendie. Certes, chaque étape de la fermeture progressive de Cigéo complexifie la récupération d'un colis de déchets mais elle accroît la sûreté passive.

La Commission souhaite que la version suivante du PDE, destinée à devenir un document public, soit plus didactique, définisse clairement les objectifs et les lignes directrices du projet et prenne en compte les aléas susceptibles d'impacter son déroulement.

Cigéo est une installation complexe du fait de son étendue, de sa double localisation en surface et au fond, de la durée plus que séculaire de son exploitation et de la coactivité entre travaux de construction et exploitation. La Commission recommande la réalisation d'un simulateur numérique de Cigéo tridimensionnel et interactif permettant de former les opérateurs et de finaliser les procédures à mettre en œuvre. En exploitation, la traçabilité des colis devra être assurée sur le long terme et la documentation

immédiatement accessible aux opérateurs. La phase industrielle pilote est destinée à démontrer l'entière maîtrise de la gestion industrielle du stockage. Elle doit durer le temps nécessaire pour valider les options techniques et permettre d'atteindre un fonctionnement en régime nominal.

La maîtrise de l'interface entre la zone travaux et la zone exploitation sera essentielle. Le dossier de sûreté devra expliciter les mesures prises pour garantir simultanément la sécurité des personnels dans ces deux zones et analyser les situations accidentelles. Il devra aussi aborder l'intégration du processus de maintenance de Cigéo, son impact sur le planning d'exploitation et surtout sur la sûreté en cas de défaillance ou d'arrêt pour maintenance programmée.

La Commission souhaite que l'Andra présente un schéma de fonctionnement phénoménologique des alvéoles HA et MAVL ainsi que du champ proche au cours du temps. Ce schéma décrira l'ensemble des mécanismes physiques jouant un rôle dans l'évaluation de sûreté. La démonstration de sûreté repose essentiellement sur la modélisation du relâchement et de la migration des espèces chimiques radioactives à travers les composants du stockage et le milieu géologique. La Commission recommande d'explicitier l'imbrication des divers modèles utilisés pour représenter les phénomènes à différentes échelles ; elle demande qu'une étude de sensibilité soit présentée pour évaluer l'effet de la variabilité des paramètres des matériaux sur les résultats des simulations. Elle considère que le choix des paramètres associés aux milieux altérés doit être mieux étayé. Elle souligne qu'il reste à mieux comprendre certains phénomènes (surpression dans le Cox, effets THM, cicatrization de la zone endommagée, transitoire gaz, etc.) et à quantifier de manière enveloppe le comportement mécanique à long terme de la roche. Elle recommande de porter attention aux phases transitoires qui impliquent l'eau et les gaz dans des mécanismes thermo-hydro-mécaniques et chimiques complexes, susceptibles de jouer un rôle sur les propriétés des composants du stockage après fermeture. Elle demande que les modalités de fermeture du stockage soient clarifiées.

Dans la perspective du dépôt de la DAC en 2018, la Commission estime que l'Andra doit concentrer toutes ses forces sur les études préparatoires au stockage des déchets ultimes tels qu'ils sont actuellement définis. L'Andra devra apporter la preuve de la robustesse de la solution qu'elle proposera dans la DAC.

## ANALYSE DES DOCUMENTS CIGEO 2016 ET RECOMMANDATIONS

### Sommaire

<b>1</b>	<b>CONTEXTE .....</b>	<b>3</b>
1.1	DEFINITION DE LA REVERSIBILITE .....	3
1.2	REVUES DE REVERSIBILITE .....	4
1.3	DISPOSITIONS DIVERSES ET GOUVERNANCE .....	4
<b>2</b>	<b>CONSEQUENCES DE LA LOI DU 25 JUILLET 2016 .....</b>	<b>4</b>
2.1	REVERSIBILITE .....	4
2.2	PHASE INDUSTRIELLE PILOTE.....	5
2.3	ROLE DES REVUES DE REVERSIBILITE .....	5
<b>3</b>	<b>LES GRANDES OPTIONS DE CIGEO .....</b>	<b>6</b>
3.1	HYPOTHESES SUR LES DONNEES D'ENTREE DE CIGEO .....	7
3.2	CONDUITE DE CIGEO .....	7
3.3	FLEXIBILITE ET ADAPTABILITE .....	7
<b>4</b>	<b>RECUPERABILITE.....</b>	<b>8</b>
4.1	RECUPERABILITE EN EXPLOITATION NORMALE .....	8
4.2	REVERSIBILITE ET SITUATIONS INCIDENTELLES.....	8
<b>5</b>	<b>SYSTEMES D'INFORMATION ET D'IDENTIFICATION.....</b>	<b>8</b>
5.1	TRAÇABILITE DES COLIS .....	9
5.2	TRAÇABILITE DES CHOIX TECHNOLOGIQUES.....	9
5.3	MANAGEMENT ET SECURITE DE L'INFORMATION.....	9
<b>6</b>	<b>FORMATION DU PERSONNEL ET PILOTAGE DE CIGEO.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>RISQUES EN EXPLOITATION .....</b>	<b>10</b>
7.1	INTERFERENCES ZONE TRAVAUX – ZONE EXPLOITATION .....	10
7.2	INCENDIE .....	10
7.3	INTERFERENCES MAINTENANCE – EXPLOITATION .....	11
7.4	DISPONIBILITE DES MATERIAUX ET MATERIELS TOUT AU LONG DE L'EXPLOITATION (ET DE LA FERMETURE).....	11
<b>8</b>	<b>LES OPTIONS DE CONCEPTION DE CIGEO .....</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>SURETE A LONG TERME DE CIGEO .....</b>	<b>12</b>
9.1	LES CALCULS HYDRAULIQUES ET DE TRANSFERT DE SOLUTE .....	12
9.2	L'EVOLUTION DE CIGEO VERS SON ETAT STABILISE APRES FERMETURE .....	12
9.3	LES OUVRAGES DE FERMETURE .....	13
9.4	CHOIX DES PARAMETRES POUR LES SCENARIOS.....	14
<b>10</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>15</b>



## 1 CONTEXTE

La loi de 2006 prévoit que la Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs donne un avis sur la demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage géologique profond réversible Cigéo et le transmette à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Pour préparer le dépôt de la DAC l'Andra a élaboré les documents référencés qui comportent un dossier d'options de sureté (DOS) séparé en deux volets, l'un pour Cigéo en exploitation et l'autre pour Cigéo après fermeture. Ces documents sont accompagnés d'un dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec) et d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation (PDE).

Pour préparer l'avis qu'elle devra remettre sur la DAC, la Commission a évalué les propositions de l'Andra au regard de la R&D conduite depuis plus de 20 ans. Elle s'est également assurée que l'installation concilie, conformément à la loi de 2006, le caractère particulier d'un stockage réversible profond dans lequel les colis de déchets sont introduits sans intention de les retirer avec la possibilité pour les générations futures de mettre en œuvre la récupérabilité. À cet égard, la loi du 25 juillet 2016 définit ce qu'est la réversibilité d'un stockage géologique profond.

La Commission note que les documents de l'Andra ont été établis avant le vote de la loi du 25 juillet 2016. Les versions ultérieures de ces documents devront être ajustés pour s'y conformer.

### 1.1 DEFINITION DE LA REVERSIBILITE

La loi du 25 juillet 2016 définit la réversibilité du stockage géologique profond comme suit :

*La réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion.*

3

Cette loi précise les conséquences de la réversibilité sur la récupérabilité des colis :

*La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.*

## 1.2 REVUES DE REVERSIBILITE

La loi prévoit un mécanisme de revues périodiques de la réversibilité :

*Le caractère réversible d'un stockage en couche géologique profonde doit être assuré dans le respect de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1. Des revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité dans un stockage en couche géologique profonde sont organisées au moins tous les cinq ans, en cohérence avec les réexamens périodiques prévus à l'article L. 593-18.*

## 1.3 DISPOSITIONS DIVERSES ET GOUVERNANCE

La loi garantit la participation des citoyens tout au long de la vie de l'installation. Elle prévoit une phase industrielle pilote dont elle définit les principaux objectifs :

*L'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais in situ. Tous les colis de déchets doivent rester aisément récupérables durant cette phase. La phase industrielle pilote comprend des essais de récupération de colis de déchets.*

4

Le retour d'expérience de la phase industrielle pilote donne lieu à un rapport de l'Andra. Il est transmis à l'OPECST accompagné des avis de la Commission et de l'ASN.

*Le Gouvernement présente un projet de loi adaptant les conditions d'exercice de la réversibilité du stockage et prenant en compte, le cas échéant, les recommandations de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques*

## 2 CONSEQUENCES DE LA LOI DU 25 JUILLET 2016

La définition de la réversibilité adoptée par le Parlement diffère substantiellement de la définition adoptée lors de la délibération du Conseil d'administration de l'Andra du 5 mai 2014 suite au débat public Cigéo. L'Andra devra donc pour la DAC adapter sa stratégie de récupérabilité et d'exploitation pour se conformer à la loi du 25 juillet 2016.

### 2.1 REVERSIBILITE

La définition de la réversibilité inscrite dans la loi permet de bien comprendre le caractère multidimensionnel du principe de réversibilité.

Ce principe est, d'abord, une capacité de décision qui peut être évolutive. Il s'agit, à chaque étape du processus, de maîtriser les différents aspects du stockage, afin de prendre les meilleures décisions garantissant la sûreté du stockage et la sécurité du public et des travailleurs. De ce point de vue, les particularités de l'ouvrage et de son exploitation séculaire, et la récupérabilité des colis sont des éléments décisifs pour garantir la progressivité, l'adaptabilité

dans des conditions économiquement viables et la flexibilité. Ils garantissent que le processus de décision peut éventuellement conduire à une pause ou à un retour en arrière du processus programmé de stockage des déchets, si cela est jugé nécessaire : les installations doivent pouvoir être modifiées en capitalisant le retour d'expérience afin d'assurer les meilleures conditions de stockage. La récupérabilité des colis, quant à elle, est rendue possible par la configuration des installations : sa mise en œuvre devient plus coûteuse à mesure que le processus de fermeture progresse, mais elle ne devient pas impossible, puisque l'ouvrage est conçu pour permettre cette récupérabilité éventuelle, y compris, le cas échéant, après fermeture des alvéoles.

Le principe de réversibilité est un principe de décision qui s'appuie sur des dispositions techniques mais qui ne se réduit pas à elles seules, puisqu'il s'agit de garantir la meilleure décision possible à chaque étape du processus. La vocation du stockage est d'assurer sur le long terme une sécurité passive et celle-ci est réalisée par la fermeture des alvéoles d'abord, puis des galeries, puis du site dans son ensemble. C'est cette finalité de sûreté maximale qui justifie le stockage en profondeur.

Le principe de réversibilité ne remet pas en cause cette finalité. Il requiert une organisation efficace des conditions permettant, à chaque étape de la vie du stockage, de réviser éventuellement le processus engagé de fermeture progressive, si cela est jugé nécessaire.

## 2.2 PHASE INDUSTRIELLE PILOTE

La phase industrielle pilote doit permettre à l'Andra de démontrer qu'elle maîtrise la gestion industrielle d'un stockage géologique profond. À la fin de cette phase, le rythme d'arrivée des colis primaires sera le rythme nominal. Pour la Commission la phase industrielle pilote doit durer le temps nécessaire pour valider les options techniques et atteindre un fonctionnement en régime nominal. L'Andra a estimé que cette phase pourrait durer 10 ans.

La Commission comprend que le législateur, en demandant à l'Andra de procéder à des essais de retrait, lui demande, lors de la période de fonctionnement de l'installation avec des colis inactifs, de démontrer sa capacité à entrer et sortir des colis de Cigéo. Si l'Andra souhaite procéder à des essais de retrait avec des colis actifs (Cf. DORec pp. 65 et 84/108), la Commission attend de l'Andra qu'elle démontre qu'en termes de connaissances acquises, ces essais ont une réelle plus-value en comparaison avec les essais de retrait de colis inactifs.

## 2.3 ROLE DES REVUES DE REVERSIBILITE

À toutes les étapes du processus planifié de stockage, les revues de réversibilité doivent garantir aux générations successives qui géreront Cigéo la possibilité de poursuivre, de marquer une pause ou de revenir éventuellement à l'étape antérieure.

### 2.3.1 Les alvéoles MAVL

La progressivité de la fermeture de Cigéo, implique pour le quartier MAVL au cours de sa phase d'exploitation jusqu'à sa fermeture, la coexistence d'alvéoles :

- A. **en construction** : ils se situent dans la zone travaux ;
- B. **en cours de nucléarisation** : ils se situent dans la zone exploitation et ont subi tous les tests mais ne contiennent aucuns déchets ;
- C. **en cours d'exploitation** : ils se situent dans la zone exploitation et sont en cours de remplissage de déchets ;
- D. **sous cocon en attente d'isolement** : ils se situent dans la zone exploitation, ils sont remplis, ventilés, et tout ou partie des appareillages de manutention des colis a été démonté ; un dispositif de radioprotection est mis en place ; il est appelé par l'Andra mur de radioprotection ; il permet le maintien de la ventilation ;

- E. **isolés sous surveillance active en attente de fermeture du quartier** : ils se situent dans la zone exploitation et les murs d'obturation décrits par l'Andra dans le DORec et le DOS-Expl sont construits ; ce bouchon d'obturation réversible dont l'Andra a décrit la procédure de réouverture (DORec pp. 75-78/108) permet à l'alvéole ainsi isolé d'évoluer en mode passif vis-à-vis du milieu géologique ; ces alvéoles ne sont plus ventilés et les conduits d'instrumentation prévus pour la réouverture éventuelle sont utilisés pour assurer un suivi continu de l'évolution de l'atmosphère des alvéoles (pression, composition, température, contamination éventuelle, ...) suivant un programme que l'Andra devra décrire.

La Commission comprend que l'Andra propose de laisser les alvéoles sous cocon (Etape D) jusqu'à la fermeture du quartier MAVL.

La Commission n'estime pas souhaitable que l'option de laisser des alvéoles sous cocon (Etape D) soit imposée, dès maintenant, aux générations suivantes, car elle peut présenter des inconvénients majeurs, tant pour la sécurité que pour la sûreté. Le principe de responsabilité doit guider la revue de réversibilité. En conséquence, la Commission recommande à l'Andra d'étudier de façon approfondie l'isolement des alvéoles remplis (Etape E) en explicitant le programme de surveillance active et continue de chaque alvéole ainsi isolé. Cette disposition présente en particulier l'avantage de permettre d'acquérir le retour d'expérience du fonctionnement des alvéoles en mode passif.

### 2.3.2 Les alvéoles HAVL

Les options de fermeture des alvéoles HAVL n'étant pas définitivement arrêtées dans les documents de l'Andra, la Commission attend de l'Andra qu'elle décrive la méthode d'isolement progressif conduisant à la fermeture des alvéoles et des quartiers HAVL, ainsi que la R&D associée.

6

### 2.3.3 Les quartiers du stockage

Une fois que tous les alvéoles d'un quartier sont isolés dans leur configuration de fermeture, la revue de réversibilité se prononce sur la fermeture du quartier.

### 2.3.4 Recommandation

Pour la Commission, les revues de réversibilité seront notamment l'occasion de discuter sur la base des connaissances et du retour d'expérience de l'opportunité d'isoler ou non des alvéoles du stockage, de fermer ou non un quartier du stockage et de fermer ou non le stockage dans le cadre du processus planifié de fermeture de Cigéo.

La Commission attend de l'Andra qu'elle définisse plus en détail dans les versions ultérieures du PDE, les missions, la composition et les prérogatives de la revue de réversibilité.

## 3 LES GRANDES OPTIONS DE CIGEO

La Commission souhaite que la version suivante du PDE, dont la vocation est de devenir un document public, soit plus didactique (figures, ...) et mette notamment en exergue les orientations suivantes qui pourraient être les concepts de base de Cigéo :

- Il existe un large consensus scientifique et politique pour estimer que le stockage géologique profond est la meilleure solution pour les déchets ultimes de haute et moyenne activité à vie longue ;
- Cigéo doit assurer une sûreté passive à long terme ;
- Cigéo est un stockage réversible destiné à être fermé *in fine* ;
- la fermeture de Cigéo est progressive ;

- la récupérabilité, capacité technique de récupération, est préservée pour les générations futures par les soins de notre génération ;
- les déchets étant ultimes, la récupération d'un ou plusieurs colis n'est envisagée aujourd'hui qu'en cas de dysfonctionnement de Cigéo.

### 3.1 HYPOTHESES SUR LES DONNEES D'ENTREE DE CIGEO

Les hypothèses (PDE p. 23/100) faites pour construire l'Inventaire National qui alimente la chronique du Plan industriel de gestion des déchets (PIGD) devraient prendre en compte divers aléas, tels que :

- aléas sur la durée de vie des installations du parc nucléaire français supposée de 50 ans,
- aléas sur la durée de vie des installations du cycle du combustible nucléaire,
- aléas sur la date de mise en œuvre du retraitement des combustibles MOx,
- aléas sur la durée des chantiers de démantèlement.

Bien que ces aléas ne remettent pas en cause le projet, ils peuvent affecter son déroulement. La robustesse de la solution proposée vis-à-vis de ces aléas n'est pas encore analysée. Elle est simplement évoquée dans l'avant-dernier paragraphe de la page 59/100.

La Commission recommande que les versions ultérieures du PDE prennent mieux en compte ces aléas.

### 3.2 CONDUITE DE CIGEO

La Commission aurait apprécié une description claire et plus complète du projet, dans son ensemble, durant ses différentes phases (construction, stockage, déstockage, fermeture). Cette description ne doit pas se limiter à la partie relevant de la seule gestion des installations nucléaires de base.

7

### 3.3 FLEXIBILITE ET ADAPTABILITE

La flexibilité de Cigéo n'est envisagée que suivant deux axes :

- le changement de politique énergétique (cas des MOx),
- la fermeture anticipée.

Les dispositions prises pour garantir la récupérabilité (PDE pp. 62-63/100) semblent suffisantes en ce qui concerne les espaces réservés en surface pour les installations qui assureraient cette fonction hypothétique. Les financements de telles opérations sont laissés à la charge des générations qui les décideraient.

L'adaptabilité des installations de Cigéo est analysée (PDE pp. 60-61/100) à la lueur d'un changement de la politique énergétique de la France qui amènerait à stocker les combustibles MOx. L'analyse de cette adaptabilité se fait par une substitution de déchets vitrifiés par des combustibles usés.

La Commission rappelle sa position sur les déchets à prendre en compte pour Cigéo : seuls les déchets ultimes au sens du code de l'environnement sont à considérer pour la DAC. Dans l'hypothèse où Cigéo serait amené à stocker des combustibles usés, ceci ne pourrait se faire qu'après les études scientifiques nécessaires et une révision du décret d'autorisation de création de Cigéo.

Dans la perspective du dépôt de la DAC en 2018, la Commission estime que l'Andra doit concentrer toutes ses forces sur les études préparatoires au stockage des déchets ultimes tels qu'ils sont actuellement définis.

## 4 RECUPERABILITE

La récupérabilité est un des éléments de la réversibilité : c'est une notion dynamique. En effet, lorsqu'un colis vient d'être stocké, sa récupération est aisée alors qu'après fermeture du stockage, sa récupération nécessitera des moyens extrêmement lourds. Chaque étape de la fermeture progressive de l'installation complexifie la récupération d'un colis mais accroît la sûreté passive de Cigéo.

### 4.1 RECUPERABILITE EN EXPLOITATION NORMALE

Dans le dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec), l'Andra décrit les procédures de réouverture des quartiers et des alvéoles de stockage. Ces opérations de chantier au sein de l'INB mettent en œuvre des engins thermiques afin de réhabiliter les installations des quartiers et des alvéoles et de mettre en place les outils de déstockage.

Les documents fournis par l'Andra indiquent que, pour les alvéoles MAVL, le mur d'obturation étanche des alvéoles (DOS-Expl p. 473/519 et DORec p. 77/108) isole les déchets et l'atmosphère de l'alvéole de la zone de travaux nécessaire à la mise en œuvre de la récupérabilité. Ainsi, il protège les travailleurs du risque de contamination et il protège l'alvéole des accidents de chantier pouvant se produire pendant la mise en œuvre de la récupérabilité (DORec p. 75/108).

8 La Commission attend de l'Andra qu'elle démontre que ce mur d'obturation remplit ces fonctions en situation incidentelle et accidentelle.

### 4.2 REVERSIBILITE ET SITUATIONS INCIDENTELLES OU ACCIDENTELLES

La Commission rappelle que des situations incidentelles ou accidentelles se sont produites dans des installations de stockage de déchets nucléaires ou conventionnels. La question de la récupération des colis de déchets en situation post-accidentelle est compliquée (Asse, Stocamine, Wipp). Les règles de sûreté font que des situations de ce type sont envisagées dans le dimensionnement de Cigéo et dans la défense en profondeur de l'installation.

Bien que le traitement des situations post-accidentelles ne soit pas l'objet des documents analysés, la Commission aurait apprécié que l'Andra consacre un chapitre du PDE de Cigéo aux sujets suivants :

- apport de la réversibilité au traitement des situations post-accidentelles,
- apport de la progressivité de la fermeture au traitement des situations post-accidentelles,
- apport de la flexibilité de Cigéo au traitement des situations post-accidentelles.

## 5 SYSTEMES D'INFORMATION ET D'IDENTIFICATION

La Commission part du principe que l'ensemble de la documentation sur n'importe quel colis stocké dans Cigéo doit être immédiatement accessible aux opérateurs de Cigéo sous forme digitale et facilement accessible sous forme analogique.

## 5.1 TRAÇABILITE DES COLIS

Les colis primaires (MAVL et HAVL) contiennent des substances dont l'impact sur la biosphère est reconnu et qui doivent être isolées de celle-ci pour des durées multiséculaires.

La Commission n'a pas perçu comment l'Andra identifie chacun des colis primaires et comment elle s'assure que le colis primaire qu'elle réceptionne est bien le colis primaire que le producteur a expédié. La Commission rappelle que c'est la mise en stockage de colis non-conformes qui a conduit à l'incendie de Stocamine et que la traçabilité et la connaissance de l'historique de chaque colis primaire sont un gage de sécurité et de sûreté de Cigéo. L'Andra doit garantir la pérennité du marquage de chaque colis primaire et de chaque colis de stockage sur toute la durée d'exploitation de Cigéo.

L'Andra envisage pour les colis MAVL un marquage à la peinture qui « *pourrait être durable sur toute la durée d'exploitation* » (DORec p. 44/108) et un marquage des colis HAVL sur un des quatre patins qui servent à faire glisser les colis HA dans l'alvéole (DORec p. 48/108). L'Andra n'apporte pas la preuve que ces marquages sont pérennes (écaillage de la peinture, perte d'un patin lors des manipulations).

La Commission estime que les opérateurs doivent pouvoir rapidement et sans ambiguïté identifier la famille d'appartenance d'un colis MAVL et demande que des barrières technologiques interdisent le co-stockage de colis de familles incompatibles.

## 5.2 TRAÇABILITE DES CHOIX TECHNOLOGIQUES

La traçabilité des choix technologiques est un enjeu majeur pour la sécurité et la sûreté de Cigéo. C'est la perte de la traçabilité des choix technologiques du DOE qui a amené un prestataire à remplacer dans un colis l'absorbeur minéral par un absorbeur organique, ce qui est à l'origine de l'accident du Wipp.

La Commission estime qu'un chapitre du PDE doit être consacré à ce sujet.

## 5.3 MANAGEMENT ET SECURITE DE L'INFORMATION

Les documents de l'Andra ne donnent aucune information sur la façon dont l'Andra entend gérer les informations relatives à chacun des colis primaires qu'elle a stocké dans Cigéo. Pour la Commission cette information doit exister *a minima* sous des formes redondantes aussi bien digitales qu'analogiques et doit être facilement accessible aux opérateurs que ce soit pour les opérations normales ou les situations de crise.

La façon dont l'Andra protégera ses systèmes d'information (digitale et analogique) d'agressions externes malveillantes ne peut faire l'objet de documents publics. La Commission souhaite être néanmoins rassurée sur ce sujet et recommande que l'Andra bénéficie pleinement de l'expérience des services du Haut fonctionnaire de défense et de sécurité dont elle dépend.

## 6 FORMATION DU PERSONNEL ET PILOTAGE DE CIGEO

Cigéo sera une installation complexe du fait de son étendue, du fait de sa double localisation en surface et au fond, du fait de la coactivité (creusement d'alvéoles/dépôts de colis) et du fait de l'étalement dans le temps, sur une durée plus que séculaire, de sa construction et de son exploitation. Comme pour tout objet complexe, l'apprentissage de son pilotage nécessitera une formation et un transfert de connaissance de génération en génération.

La Commission estime que l'Avant projet définitif de Cigéo doit permettre la réalisation d'un simulateur numérique complet de Cigéo, interactif, associé à une salle de visualisation tridimensionnelle. Cette installation permettrait de former les opérateurs, de vérifier les encombrements stériques, de finaliser les procédures, ... La Commission rappelle que c'est le manque de formation des personnels du Wipp aux situations accidentelles et incidentelles qui a fait que ceux-ci ont mal réagi et accéléré la dissémination de la radioactivité en pensant la confiner.

Dans ses documents l'Andra n'envisage de former ses personnels que dans les alvéoles témoins au sein de l'INB (PDE p. 49/100). Pour la Commission ces alvéoles doivent être utilisés prioritairement pour la qualification des matériels qui équiperont les futurs alvéoles. Ces installations permettront aussi de parfaire la formation du personnel qui aura été préalablement entraîné sur le simulateur numérique.

## 7 RISQUES EN EXPLOITATION

### 7.1 INTERFERENCES ZONE TRAVAUX – ZONE EXPLOITATION

Un des grands défis du fonctionnement de Cigéo est la maîtrise de l'interface entre la zone travaux et la zone exploitation. En effet, cette interface change au cours de la vie de Cigéo au fur et à mesure du stockage des déchets et implique une certaine proximité et donc un risque d'interférence entre les activités relevant de la zone travaux et celles relevant de la zone exploitation. La stratégie du *chantier clos* mise en place par l'Andra pour les activités de la zone travaux est fragilisée du fait de certains passages aménagés entre la zone travaux et la zone exploitation (DOS-Expl. figures 2.5-6 et 2.5-7 p. 403/519).

*De facto*, la zone travaux n'est pas partie intégrante de l'INB et les activités qui s'y déroulent ne sont décrites que dans la mesure où elles interfèrent avec les activités de l'INB. Comme l'exploitant de l'INB est aussi le responsable de la zone travaux, il serait souhaitable que celui-ci explicite les mesures qu'il compte mettre en place pour garantir la sécurité des personnels dans la zone travaux ainsi que la sûreté de l'INB.

Ces informations devraient aussi permettre d'évaluer et de traiter au plan de la sûreté et de la sécurité les interactions potentielles en situation incidentelle ou accidentelle aussi bien au sein de l'INB que dans la zone de travaux. Le DOS-Expl. donne des détails sur les interactions entre le fonctionnement de l'INB et les travaux de creusement mais beaucoup moins sur les interactions éventuelles entre les travaux de fermeture partielle qui se déroulent au sein de l'INB et l'exploitation de celle-ci.

### 7.2 INCENDIE

Le niveau de classification des éléments séparant la zone travaux de la zone exploitation en cas d'incendie est fixé *a minima* par la sectorisation EI 120 HCM (DOS-Expl. pp. 345, 403 et 406/519). Cette sectorisation revient à se placer dans le niveau de résistance N2 du guide de comportement au feu des tunnels routiers du CETU. Ce même guide recommande le niveau de résistance N3 en cas de « risque de dommage graves en surface ou pour d'autres constructions proches ». Dans le cas du chantier clos « zone travaux » qui par certains de ses aspects peut ressembler à un tunnel (transfert des gravats, ...), la zone proche qu'il ne faut absolument pas endommager est la zone exploitation. Ceci justifierait un niveau de résistance N3 c'est-à-dire HCM 120 et CN 240.

Pour la zone exploitation, l'Andra a estimé la charge au feu de chacun des automates de l'installation sauf celle du véhicule de la descenderie (DOS-Expl tableau 2.2-11 p. 337/519). Cette estimation est nécessaire pour établir le feu enveloppe auquel pourraient être soumis les colis de déchets. La Commission rappelle que les résultats présentés sur la résistance des

déchets bitumes à un feu réel l'avaient convaincue dans la mesure où l'Andra apportait la preuve que l'intensité du feu réel enveloppe qu'elle avait utilisée était réellement enveloppe.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la récupérabilité des MAVL<sup>1</sup>, l'Andra envisage l'utilisation d'engins à moteurs thermiques (DORec p. 75/108). La seule protection identifiée par la Commission entre les alvéoles et les engins thermiques est le mur d'obturation (DORec p. 77/108). La Commission n'a trouvé aucune information sur la résistance au feu de ce mur et sa capacité à isoler thermiquement l'alvéole en cas d'incendie majeur devant celui-ci.

### 7.3 INTERFERENCES MAINTENANCE – EXPLOITATION

Si le DOS-Expl mentionne les durées de vie des divers appareils –notamment de manutention– mis en place dans Cigéo, l'intégration du processus de maintenance de l'ensemble des moyens déployés, l'impact sur le planning d'exploitation et surtout sur la sûreté en cas de défaillance ou d'arrêt pour maintenance programmée sont peu abordés. Sur la durée de fonctionnement envisagée, les opérateurs de Cigéo auront, selon toute probabilité, à faire face à des situations dégradées. Les moyens permettant de poursuivre l'exploitation et les conditions dans lesquelles celle-ci peut se poursuivre méritent donc une attention particulière.

### 7.4 DISPONIBILITE DES MATERIAUX ET MATERIELS TOUT AU LONG DE L'EXPLOITATION (ET DE LA FERMETURE)

L'analyse de sûreté repose sur le postulat que les matériels et matériaux mis en œuvre dans Cigéo resteront disponibles pendant toute la phase d'exploitation qui est particulièrement longue. Cette hypothèse est susceptible de poser des problèmes :

- au niveau de la mise en œuvre de technologies pouvant être rapidement dépassées (par exemple les systèmes informatiques et la conservation des données) ; ce point mérite attention dans la mesure où des cahiers des charges explicitant les performances et conformités à atteindre au niveau de la sûreté devront être établis et soigneusement gardés pour mémoire ;
- au niveau de la disponibilité des matières premières permettant d'effectuer les travaux prévus tout au long de la phase d'exploitation ; là encore, des cahiers des charges et de performances requises devraient faire partie intégrante de l'analyse de sûreté afin de garantir, si certains matériaux venaient à manquer, qu'ils pourront être remplacés de façon adéquate par d'autres matériaux remplissant toutes les fonctionnalités des premiers l'exemple du remplacement inapproprié des matériaux absorbants dans les colis du Wipp illustre l'importance de cette problématique.

---

11

## 8 LES OPTIONS DE CONCEPTION DE CIGEO

Dans son rapport N°10, la Commission a exprimé des réserves tant sur le modèle thermo-hydro-mécanique (THM) que sur le modèle de comportement de la roche à long terme. Ce dernier permet de dimensionner les ouvrages de soutènement et le modèle THM d'optimiser l'espacement entre deux alvéoles HA.

Ces réserves restent d'actualité et ces questions essentielles devront être traitées de manière robuste pour la DAC.

---

<sup>1</sup> Pour les HAVL, la description des opérations d'ouverture est très succincte car les ouvrages de fermeture seront choisis en fin d'APD.

## 9 SURETE A LONG TERME DE CIGEO

La sûreté à long terme de Cigéo repose sur l'isolement, puis le confinement passif de la radioactivité et des toxiques chimiques le plus longtemps possible.

La démonstration de sûreté, quel que soit le scénario d'évolution de Cigéo ou ses variantes, évolution normale (SEN), évolution altérée (SEA) ou d'intrusion humaine (SIH) doit prouver que la dose à l'homme reste bien en dessous des limites réglementaires. La démonstration de sûreté repose essentiellement sur la modélisation du relâchement et de la migration des espèces chimiques portant la radioactivité à travers les composants du stockage et du Cox, puis dans les aquifères sus- et sous-jacents jusqu'aux exutoires. Le calcul de la dose, en évolution normale, à partir des caractéristiques des exutoires relève des pratiques internationales de radioprotection. Il en est de même pour la dose concernant les scénarios altérés ou d'intrusion humaine.

### 9.1 LES CALCULS HYDRAULIQUES ET DE TRANSFERT DE SOLUTE

Pour modéliser le stockage, afin de calculer les doses, l'Andra conceptualise les composants et leur imbrication. Elle découpe Cigéo en plusieurs parties emboîtées avec des limites physiques de géométrie simplifiée, chacune caractérisée par des valeurs particulières de paramètres concernant les matériaux et les radionucléides. Ces valeurs dépendent de l'état sain ou altéré des composants et éventuellement du scénario. Les calculs sont conduits à trois échelles.

1. L'échelle du compartiment *colis-alvéole* comprend les différents constituants des colis et du champ proche dans l'environnement distant constitué par le Cox sain. Les calculs à cette échelle permettent d'évaluer les termes sources.
2. L'échelle du compartiment *stockage* comprend les différents quartiers avec les alvéoles, les galeries de liaison et les ouvrages de fermeture. A cette échelle les calculs permettent la quantification des deux voies de transfert par le milieu géologique et par les ouvrages.
3. L'échelle du compartiment *milieu géologique* comprend la zone de stockage, le Cox et ses encaissements jusqu'aux exutoires. Le résultat essentiel des calculs à cette échelle est le débit molaire en radionucléides permettant d'alimenter les modèles de la biosphère.

Ces trois échelles nécessitent des outils de modélisation distincts qui doivent communiquer entre eux.

L'information manque pour bien comprendre comment chaque modèle conceptualise le milieu qu'il représente et comment les modèles communiquent entre eux. La présentation de la plateforme Cassandra est trop qualitative pour suivre l'enchaînement des calculs.

### 9.2 L'EVOLUTION DE CIGEO VERS SON ETAT STABILISE APRES FERMETURE

#### 9.2.1 Les alvéoles HA

Les alvéoles HA ne sont pas étanches à l'eau ; le conteneur de stockage doit assurer la protection des colis primaires vis-à-vis de l'eau tant que la température au cœur du verre sera supérieure à 50°C pour les HA0 et 70°C pour les HA1/HA2. Les conteneurs doivent pour ce faire, rester étanches pendant au moins 500 ans. Des connaissances doivent encore être acquises sur le comportement du verre et des radionucléides à 70°C.

Un matériau de remplissage est prévu à l'extrados du chemisage des alvéoles ; outre un rôle éventuel sur la tenue mécanique du chemisage et de l'EDZ, il doit permettre de tamponner l'acidité de l'eau pendant la période oxydante. Il doit de plus être injectable pour sa mise en place sur toute la longueur des alvéoles. Sa composition n'est pas encore établie définitivement. Des essais à l'échelle 1 sont en cours dans le laboratoire souterrain.

L'Andra mentionne explicitement que de l'eau du Cox sera drainée le long des alvéoles. Aucune valeur de débit ni de durée de la resaturation n'est donnée. Un dispositif de drainage (très sommairement décrit dans le DOS-Expl) sera opérationnel jusqu'à la mise en place du bouchon d'obturation des alvéoles.

La Commission demande que l'Andra présente un schéma de fonctionnement phénoménologique de l'alvéole et du champ proche au cours du temps avant et après mise en place du bouchon d'obturation. L'Andra doit préciser les opérations de fermeture et de réouverture éventuelle des alvéoles HAVL pour la DAC.

### 9.2.2 Les alvéoles MAVL

L'Andra limite au maximum les vides résiduels et les volumes compressibles afin de réduire, en cas de rupture des revêtements, les déformations différées susceptibles de provoquer un sur-endommagement de l'argilite. Des incertitudes subsistent sur le comportement à long terme du revêtement des alvéoles comme sur celui des galeries remblayées. La réduction des vides résiduels minimise le risque d'endommagement post-fermeture mais elle rend plus difficile la mise en œuvre de la récupérabilité avec le temps. L'Andra, conformément à ce que la Commission avait préconisé dans son rapport N°8 arbitre en faveur de la sûreté à long terme plutôt que de faciliter la mise en œuvre de la récupérabilité.

La Commission demande que l'Andra présente un schéma de fonctionnement phénoménologique de l'alvéole et du champ proche au cours du temps avant et après mise en place du bouchon d'obturation.

### 9.2.3 Régime stabilisé après fermeture

L'Andra prend pour hypothèse que la situation la plus critique pour appréhender le transfert des radionucléides vers les exutoires est le régime stabilisé hydraulique final qui s'instaurera après resaturation de l'ensemble des composants du stockage. Elle effectue ses calculs dans le cadre de cette hypothèse. L'atteinte de cet état stabilisé se fera à l'issue de phases transitoires impliquant l'eau et les gaz dans des mécanismes thermo-hydro-mécaniques et chimiques complexes mettant en jeu des temporalités différentes.

L'Andra modélise la plupart de ces mécanismes mais les éléments présentés dans le DOS-AF ne permettent pas de juger de la maturité des conclusions et donc de l'impact qu'exercera la phase transitoire sur le régime stabilisé à long terme.

La Commission considère que l'Andra devra pour la DAC préciser les concepts et les paramètres intervenant dans la modélisation des différents phénomènes transitoires dans le but de définir une situation enveloppe du régime THM stabilisé servant de base aux calculs des scénarios. Elle devra en particulier porter attention aux sollicitations transitoires des ouvrages de fermeture et à la chronique de restauration du gradient hydraulique au sein du Cox en prenant en compte les surpressions actuellement constatées dans cette formation.

## 9.3 LES OUVRAGES DE FERMETURE

Les liaisons surface-fond (puits et descenderies) sont scellées par un bouchon d'argile gonflante, calé par deux massifs d'appui en béton, au niveau de l'unité silto-carbonatée (USC), en partie supérieure du Cox, qui est réputée ne pas comporter de zone de fracturation connectée longitudinalement dans l'EDZ, ce qui permet de traiter l'EDZ par simple purgeage (assainissement par grattage de la paroi rocheuse) après retrait du soutènement avant la pose des scellements. Ce caractère favorable paraît fragile à la Commission dans la mesure où il est basé sur les seules observations dans la niche du laboratoire souterrain. Un essai en vraie grandeur est programmé dès la phase industrielle pilote dans la descenderie pour valider les options de scellement.

Les galeries de liaison sont également scellées par bouchon d'argile gonflante dans l'unité argileuse (UA) de manière à isoler chaque quartier borgne. Dans ce cas, le traitement de l'EDZ n'est pas encore complètement défini. La réalisation de saignées en argile pour rompre la continuité d'éventuelles fractures longitudinales est envisagée si un purgeage ne suffit pas. Le choix dépendra des performances du soutènement encore à l'étude, dont le comportement influence les propriétés de l'EDZ.

L'option du scellement argileux des alvéoles MAVL a été abandonné en référence au profit d'un remblayage par de l'argilite compactée. Les modalités d'obturation des alvéoles HAVL ne sont pas encore définitivement fixées.

Les autres galeries et vides de Cigéo seront remblayés avec de l'argilite compactée.

La Commission considère que la stratégie de l'Andra vis-à-vis des ouvrages de fermeture doit être complètement clarifiée pour la DAC.

## 9.4 CHOIX DES PARAMETRES POUR LES SCENARIOS

L'Andra a retenu un ensemble de paramètres pour décrire le mouvement de l'eau dans le stockage, le relâchement des radionucléides par les colis de déchets et leur cheminement par diffusion et convection-dispersion dans les milieux saturés d'eau.

### 9.4.1 Cox sain et matériaux initiaux

Pour les matériaux sains, l'Andra a fait une analyse critique de toutes les valeurs mesurées. Elle retient en référence un ensemble de paramètres de type « best estimate » déterminés au mieux des connaissances acquises.

La Commission considère que ce choix est réaliste et en accord avec les bases de données internationales. Néanmoins, au vu de la variabilité géologique, la Commission estime que, pour la DAC, ce choix devra être validé par des études de sensibilité.

La Commission souligne qu'il reste encore à caractériser certains composants du stockage (matériau de remplissage à l'extrados des alvéoles HA, bouchons, scellements, ...).

Les études en cours devront se poursuivre. La modélisation numérique permettant de décrire le mouvement d'eau dans le stockage et les processus de relâchement des radionucléides devra progressivement intégrer les connaissances accumulées.

### 9.4.2 Évolution du Cox et des matériaux

L'Andra utilise des paramètres pour représenter les propriétés des matériaux ou des zones du Cox altérés mécaniquement, thermiquement ou chimiquement. Le choix de ces paramètres découle du croisement de deux processus de décision : des scénarios d'évolution d'une part, des modèles (empiriques ou phénoménologiques) d'autre part.

La Commission estime que les scénarios sont établis sur une analyse globalement représentative des évolutions possibles de Cigéo.

La Commission recommande cependant que les modèles soient encore mieux explicités ou justifiés. Pour affiner les options de conception de Cigéo, elle souligne l'intérêt qu'il y a à mieux comprendre certains phénomènes (surpression dans le Cox, effets THM, cicatrisation de l'EDZ, transitoire gaz, ...) et à quantifier de manière enveloppe le comportement mécanique à long terme de la roche. Elle considère que le choix des paramètres associés aux milieux altérés doit être mieux étayé pour apporter la preuve de la robustesse de la solution qu'elle proposera dans la DAC.

## 10 REFERENCES

### Références législatives :

- Loi n°2006-739 du 28 juin 2006
- Loi n°2016-1015 du 25 juillet 2016

### Références Andra :

- Dossier d'options de sûreté - Partie après fermeture (DOS-AF)
  - o CG-TE-D-NTE-AMOA-SR2 -0000- 1 5-0062
- Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (DOS-Expl)
  - o CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1 -0000- 1 5-0060
- Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec)
  - o CG-TE-D-NTE-AMOA-RV0-0000- 1 5 -0059
- Cigéo - Proposition de plan directeur pour l'exploitation (PDE)
  - o CG-TE-D-NTE-AMOA-SD R-0000- 1 5 -0063

### Références CNE :

- Rapports annuels de 8 à 10.



# COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

Membres de la Commission Nationale d'Évaluation :

**Jean-Claude DUPLESSY**  
**Anna CRETI**  
**Frank DECONINCK**  
**Pierre DEMEULENAERE**  
**Robert GUILLAUMONT**  
**Vincent LAGNEAU**  
**Maurice LAURENT**  
**Mickaele LE RAVALEC**  
**Emmanuel LEDOUX\***  
**Maurice LEROY**  
**José Luis MARTINEZ**  
**Gilles PIJAUDIER-CABOT**  
**Claes THEGERSTRÖM**

Secrétaire général & Conseiller scientifique :

**Stanislas POMMERET**

Président honoraire :

**Bernard TISSOT**

Secrétariat administratif :

**Véronique ADA-FAUCHEUX**  
**Florence LEDOUX**

\* Expert invité

# COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

Président : **Jean-Claude DUPLESSY**

Vice-présidents : **Maurice LEROY et Gilles PIJAUDIER-CABOT**

Secrétaire général et Conseiller scientifique : **Stanislas POMMERET**

Secrétaires administratives : **Véronique ADA-FAUCHAEX et Florence LEDOUX**

**[www.cne2.fr](http://www.cne2.fr)**