

CHAPITRE IV : CIGÉO

Le stockage en couche géologique profonde est aujourd'hui considéré sur le plan international comme la solution de référence pour gérer les déchets radioactifs de haute activité et à vie longue (HAVL) et de moyenne activité et à vie longue (MAVL). Cette solution s'appuie sur des bases scientifiques éprouvées. Elle est la seule aujourd'hui réalisable et capable de répondre aux enjeux de sûreté à long terme tout en prenant en compte les contraintes de réversibilité. Un élément fondamental en est la « barrière géologique ». Sa fonction est de retarder la migration des radionucléides contenus dans les déchets sur une échelle de temps compatible avec leurs périodes de décroissance radioactive afin que leur éventuel retour à la biosphère soit sans conséquence. L'objectif est de maintenir les déchets, sans nécessité d'intervention humaine, à l'abri des risques d'instabilité de nos sociétés.

La PPE prend comme solution de référence en France le stockage en couche géologique profonde comme décidé par la Loi n°2006-739, transcrite dans le code de l'environnement. Le projet Cigéo est une réponse à cette loi. Il a pour objectif la conception et la construction d'un stockage géologique réversible des déchets radioactifs HAVL et MAVL inscrits au Programme industriel de gestion des déchets (PIGD). Le stockage est conçu pour être réalisé à 500 mètres de profondeur dans la couche d'argilite du Callovo-oxfordien (Cox) du Bassin parisien, épaisse d'environ 130 mètres dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Le projet Cigéo a vu le jour après des études et recherches menées durant plus d'une vingtaine d'années, notamment dans le laboratoire souterrain de Bure, qui ont démontré l'excellente aptitude du Cox à accueillir les installations de stockage, à isoler les déchets, puis à confiner les radionucléides.

La Commission rappelle qu'elle considère que l'Andra a établi le socle de connaissances nécessaire pour conduire le projet Cigéo, que la démonstration de la qualité du site a été faite, et que les options technologiques de stockage ont été consolidées. La maturité scientifique du projet Cigéo permet à présent d'envisager sur des bases solidement étayées son développement technologique en vue de l'autorisation de création.

35

La Loi n°2016-2015 précise les modalités de création de Cigéo. Elle prévoit une phase industrielle pilote et introduit le principe de réversibilité qui doit être garantie durant la phase d'exploitation. La construction et l'exploitation de Cigéo devraient durer environ 150 ans, période pendant laquelle de nombreuses évolutions techniques, environnementales et politiques auront lieu. Ces dernières pourront amener les générations futures à modifier le projet Cigéo conformément au principe de réversibilité et, par exemple, à faire évoluer son calendrier, l'inventaire des déchets stockés ou sa conception.

La Commission attire l'attention sur la nécessité pour l'ANDRA de spécifier, dès la conception, une configuration de référence, fondée sur les connaissances scientifiques et les capacités technologiques du moment, en cohérence avec l'inventaire de référence des déchets.

La Commission souligne l'urgence de définir un cadre opérationnel pour la maîtrise des évolutions de Cigéo, dès maintenant et pour la phase d'exploitation qui s'étalera sur 150 ans. Elle recommande que l'Andra se dote d'une procédure formalisée de gestion de configuration de Cigéo au cours du temps, appuyée sur la définition exhaustive et détaillée de l'installation dans une maquette numérique, afin d'éviter qu'une évolution puisse, en particulier, affecter la sûreté du stockage.

Le présent chapitre rend compte des avancées scientifiques et techniques de l'Andra dans le cadre de la procédure de certification du projet Cigéo.

4.1 LES GRANDS JALONS DU PROJET EN 2020

Une partie significative des auditions de l'Andra par la Commission a été consacrée cette année à la progression des deux principales procédures administratives dont l'aboutissement est nécessaire au démarrage effectif du projet Cigéo : la déclaration d'utilité publique (DUP) et la demande d'autorisation de création (DAC). Ces deux procédures sont très encadrées par la loi ; elles nécessitent l'élaboration d'un dossier très volumineux ainsi que l'obtention d'un grand nombre d'avis. En complément de la DUP et de la DAC, l'Andra prévoit une centaine de procédures administratives à mener à bien pendant la durée totale du projet, avec une durée d'instruction moyenne de l'ordre d'une année.

4.1.1 La déclaration d'utilité publique

La déclaration d'utilité publique vise quatre objectifs principaux :

- affirmer à un haut niveau (décret signé par le Premier ministre) le soutien politique de l'État au projet ;
- permettre l'expropriation, si nécessaire, des terrains indispensables au projet pour obtenir la maîtrise foncière ;
- permettre la réalisation d'aménagements préalables avant la DAC ;
- permettre la mise en conformité des documents d'urbanisme applicables sur la zone de Cigéo.

Le dossier établi par l'Andra est d'environ deux mille pages. Conformément à la réglementation, il porte sur les opérations relevant de la maîtrise d'ouvrage Andra (réalisation des installations du stockage en surface et en profondeur ainsi que des liaisons : liaisons intersites de surface, liaisons surface-fond et installation terminale ferroviaire embranchée). D'autres parties du projet Cigéo, réalisées sous la maîtrise d'ouvrage d'autres opérateurs (alimentation électrique, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 02 7000, déviation de la route départementale 60/960...) feront chacune l'objet d'une procédure de déclaration d'utilité publique spécifique.

L'étude d'impact du projet Cigéo, pièce maîtresse de tous ces dossiers, est commune à toutes les procédures et couvre l'ensemble du projet Cigéo. Elle sera jointe à tous les dossiers d'autorisation successifs élaborés par l'Andra et par les maîtres d'ouvrage associés. L'Andra prévoit de l'actualiser chaque année.

La méthode suivie consiste à identifier les impacts potentiels (environnementaux, économiques, sociaux) de Cigéo sur son environnement. L'étude d'impact doit ensuite détailler la mise en œuvre de la démarche « éviter, réduire, compenser ». Il s'agit, en priorité, d'éviter la plus grande partie des impacts identifiés grâce à des modifications du projet, de prendre ensuite des mesures pour réduire les impacts n'ayant pu être totalement évités et enfin d'instruire des mesures de compensation pour les impacts restants.

Le calendrier annoncé par l'Andra pour le dossier de DUP, avant la crise sanitaire générée par la propagation du SARS-CoV-2, était le suivant :

- remise du dossier à l'autorité compétente (le préfet coordinateur de la Meuse) au printemps 2020, après une phase de pré-instruction du projet par les administrations concernées ;
- enquête publique prévue au deuxième semestre 2020 ;
- décret du Premier ministre, après avis du Conseil d'Etat, espéré mi-2021.

La Commission constate que l'Andra a consenti de grands efforts pour produire un dossier répondant au mieux aux attentes des autorités et des acteurs locaux. Elle a en particulier produit l'étude d'impact grâce à de nombreuses concertations menées avec l'ensemble des parties prenantes.

4.1.2 La demande d'autorisation de création

Le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) est en cours de finalisation par l'Andra. Les différents éléments qui le composent seront examinés par l'Autorité de sûreté. La durée d'instruction de la demande varie de trois à cinq ans, tel qu'il ressort des présentations faites à la Commission.

Sur le plan industriel et technique, le dossier est fondé sur l'avant-projet définitif (APD) de Cigéo qui a été achevé en 2019 sous la maîtrise d'ouvrage de l'Andra avec l'appui des maîtres d'œuvre industriels. Des études techniques se poursuivent toutefois, par exemple concernant des variantes de construction d'alvéoles MAVL susceptibles de recevoir des déchets bitumés.

37

A la date de rédaction de ce rapport, le calendrier général du projet prévoit un dépôt du dossier de DAC fin 2020, une enquête publique courant 2023, un Décret d'autorisation de création (le DAC) en 2025, puis enfin la descente du premier colis actif entre 2035 et 2040.

La Commission constate que ce nouveau calendrier est assorti d'avancées indéniables dans la maturité du dossier, en particulier dans la manière dont les sujets scientifiques et techniques seront documentés. La Commission estime cependant qu'un travail significatif reste à accomplir pour répondre à toutes les demandes émises par l'Autorité de sûreté, par son appui technique l'IRSN, et par la Commission elle-même.

Il est du reste prévu qu'une partie du travail ne soit achevée que pendant la période d'instruction, ce qui n'est pas gênant dans la mesure où le Décret d'Autorisation de Création pourra en tenir compte.

Depuis plusieurs années, la date de dépôt du dossier de DAC est régulièrement repoussée. La Commission s'interroge sur la maîtrise du calendrier conduisant au dépôt de la DAC, notamment depuis la fin de l'APD.

De nombreux aléas, notamment de procédure, sont susceptibles d'affecter le déroulement du projet et la Commission considère très souhaitable qu'un calendrier directeur unique (inévitavelmente évolutif) soit établi, communiqué et géré avec le plus de rigueur possible par l'Andra. C'est un des objectifs du plan directeur d'exploitation (PDE), proposé en 2016 en amont de la DAC. Ce document est utile et détaillé, mais la fréquence quinquennale de sa mise à jour est insuffisante pour en faire un outil de pilotage opérationnel du projet.

Dans son rapport de 2019, la Commission avait attiré l'attention sur l'extrême complexité de la procédure administrative préalable à la construction et à la mise en exploitation de Cigéo. Elle avait émis la crainte que l'empilement des autorisations requises et des procédures associées conduise à des délais importants dans la réalisation du stockage, voire à la perte progressive de compétences. La Commission ne peut cette année que renouveler cette observation et recommander que les réflexions en cours sur la gouvernance du projet soient conduites avec le souci de ne pas alourdir davantage les processus de prises des décisions.

4.2 GOUVERNANCE

38

Le projet Cigéo a été un des principaux sujets de controverse au cours du débat public qui a été organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP), pendant l'année 2019 sur le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). La décision publiée conjointement par la ministre de la transition écologique et solidaire et le président de l'Autorité de sûreté nucléaire à l'issue de ce débat public en prend acte. Elle place explicitement les leviers majeurs de la gouvernance de Cigéo sous la tutelle de l'instance de gouvernance du PNGMDR : le groupe de travail (GT) du PNGMDR. Ces leviers concernent essentiellement les conditions de la mise en œuvre de la réversibilité, l'élaboration de la gouvernance et la définition des objectifs et des critères de réussite de la phase industrielle pilote.

Le GT PNGMDR, co-présidé par le sous-directeur de l'industrie nucléaire à la DGEC et le président de l'Autorité de sûreté nucléaire, rassemble aujourd'hui essentiellement les représentants des exploitants et des associations de défense de l'environnement. Un élargissement du GT est prévu aux élus de la nation, à la société civile, et aux représentants des collectivités territoriales.

La Commission prend acte de la décision qui confie à une instance de concertation le pilotage de la gouvernance du projet Cigéo. Elle recommande cependant que cette instance assure pleinement son rôle mais avec le souci de ne pas amoindrir ou diluer l'autorité et la responsabilité de l'Andra, en tant que maître d'ouvrage du projet, vis-à-vis du gouvernement.

Par ailleurs, la première édition du plan directeur d'exploitation (PDE) de Cigéo date d'avril 2016 et sa première mise à jour doit être produite dans le dossier de la DAC fin 2020 (ce qui est cohérent avec le rythme de mise à jour prévu par la loi).

L'ampleur du PDE et sa procédure de validation complexe sont appropriées pour traiter des enjeux stratégiques, mais peu adaptées au pilotage opérationnel du projet.

La Commission recommande qu'un niveau de gouvernance autonome et adapté au pilotage opérationnel du projet soit mis en place sous l'autorité de l'Andra, maître d'ouvrage. Elle préconise une organisation donnant la responsabilité d'une action à l'entité compétente la plus à même de la réaliser afin que les décisions courantes nécessaires à la conduite du projet puissent être instruites et prises sans retard, charge à l'Andra d'en rendre compte au niveau approprié.

Le principe de réversibilité implique également l'analyse et l'évaluation des nouvelles solutions techniques qui pourront être proposées durant la phase d'exploitation pour faire évoluer le projet Cigéo.

La Commission rappelle qu'elle doit être consultée sur tout point relevant de la réversibilité comme le prévoit la loi de 2016. Plus généralement, la Commission pourra évaluer les études et recherches qui seraient consacrées à des solutions alternatives au stockage géologique des déchets HAVL et MAVL.

4.3 ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

39

4.3.1 Coûts et étude socio-économique

Le chiffrage du coût de Cigéo ne comporte pas d'élément nouveau par rapport à ceux qui avaient été présentés dès 2016 et déjà analysés dans les rapports précédents de la Commission. Sa mise à jour est en cours, en cohérence avec l'élaboration du dossier de la DAC, pour une publication en 2021. L'ordre de grandeur du coût des ouvrages nécessaires pour la mise en service de Cigéo serait de 5 milliards d'euros (installations de surface, liaisons surface-fond, premiers alvéoles) tandis que celui de la construction des tranches ultérieures serait de 6 milliards d'euros. Ces coûts ne comprennent pas ceux liés à l'exploitation (opérations, maintenance, personnel) de Cigéo, ni les taxes. Les études d'adaptabilité sont conduites sur la base de trois scénarios d'évolution du parc nucléaire français. Deux d'entre eux substituent des combustibles usés aux déchets HAVL prévus aujourd'hui dans l'inventaire de référence. Différents groupes de travail ont été mis en place et les réflexions sont en cours. Un séminaire sur les prix unitaires est également prévu avant consolidation des résultats dans un groupe de travail « chiffrage ». L'estimation des coûts de fonctionnement s'appuiera notamment sur les travaux d'un groupe de travail « effectifs ».

Au travail réalisé par ces groupes s'ajoute l'évaluation socio-économique, actuellement en cours et prévue par le décret 2013-1211, qui vise à estimer les coûts et les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux du projet Cigéo par rapport aux solutions alternatives. La méthodologie suivie pour cette évaluation consiste à chiffrer les avantages associés au stockage en couche géologique profonde, pour comprendre si ces avantages sont à la hauteur du coût objectif de Cigéo, fixé à 25 milliards d'euros en 2016. Ainsi, l'objectif de l'évaluation socio-économique est de déterminer si la solution de stockage Cigéo est optimale pour la société, en remplissant sa fonction de protection de l'homme et de l'environnement au regard de la dangerosité des déchets radioactifs. Dans ce cadre, l'option où l'on réalise le projet Cigéo est

comparée à trois options alternatives dont une décrivant la situation qui prévaudrait si Cigéo n'était pas réalisé :

- Option 1 : réalisation du projet Cigéo tel que prévu par l'Andra en réponse à la loi ;
- Option 2 : réalisation de Cigéo avec en parallèle un effort de recherche sur des solutions alternatives pour les seuls déchets HAVL ;
- Option 3 : réalisation de Cigéo avec en parallèle un effort de recherche sur des solutions alternatives pour les déchets HAVL et les déchets MAVL ;
- Option 4 : efforts de recherche sur les solutions alternatives pour les déchets HAVL et MAVL sans investissement sur le projet Cigéo. Cette dernière option correspond en réalité à un entreposage indéfiniment renouvelé.

Les coûts et bénéfices sont évalués pour chaque option dans un cadre probabiliste de long terme. La sensibilité des coûts est analysée en fonction de différents paramètres, notamment les coûts unitaires, le Produit intérieur brut, l'incertitude sociétale ou encore le temps. Les résultats de cette évaluation seront rendus publics au dernier trimestre de 2020.

La Commission considère que ce cadre méthodologique répond de façon complète à la question de la prise en compte de l'incertitude dans le cadre de l'étude des alternatives à Cigéo. Elle demande que les résultats de l'évaluation socio-économique lui soient présentés dès que possible.

4.3.2 Organisation industrielle

40

L'organisation industrielle active pour le projet Cigéo pendant la phase d'avant-projet détaillé APD a terminé l'essentiel de sa mission en 2019. Les prochains travaux réellement significatifs sur le projet seront lancés par le décret d'autorisation de création qui ne sera probablement pas pris avant 2025. D'ici là, l'activité industrielle va être réduite à l'accompagnement de l'instruction de la DAC et à la conduite de travaux d'aménagement préalables, dont seule une partie relève de la maîtrise d'ouvrage de l'Andra.

Dans ces conditions, les industriels impliqués, même s'ils maintiennent une équipe réduite, vont très probablement redéployer une grande partie des personnels ayant contribué au projet. On peut donc redouter une certaine évaporation des compétences acquises dans les phases précédentes, au moins pour les aspects spécifiques au projet Cigéo. Par ailleurs, il est important que l'Andra se réserve la propriété intellectuelle de l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques de toute nature qui ont été acquises par les sous-traitants.

L'Andra a indiqué à la Commission qu'elle ne rappellera les maîtres d'œuvre sur le projet que lorsque l'instruction technique de la DAC lui permettra d'établir avec une précision raisonnable son calendrier d'aboutissement.

La Commission recommande à l'Andra d'établir un retour d'expérience sur l'organisation de la maîtrise d'œuvre (nombre de maîtres d'œuvre en particulier) en phase APD en vue de définir l'organisation qui sera retenue pour la phase de réalisation.

La Commission préconise notamment pour cette phase que l'organisation de la maîtrise d'œuvre soit telle que le nombre et le niveau des décisions qui remonteront à la maîtrise d'ouvrage soient cohérents avec ce qu'elle saura traiter efficacement.

Un manque de fluidité dans les décisions quotidiennes du chantier peut menacer gravement le calendrier du projet en permettant aux industriels de se dégager de leurs responsabilités.

4.3.3 Impact sur l'environnement et surveillance

La création de Cigéo et sa mise en fonctionnement auront des impacts environnementaux, négatifs comme la circulation de camions. Les impacts seront aussi positifs comme l'établissement d'un espace préservé, au niveau de la zone d'emprise, pour le développement de la biosphère. En conséquence, un plan de surveillance devra être mis en œuvre pour identifier les évolutions éventuelles et discriminer leurs origines. Dans ce domaine, l'Andra est forte de son expérience s'agissant des sites d'entreposage de déchets nucléaires. Pour le CSA ou le CSM, elle se soumet déjà à une réglementation et à un contrôle, stricts. Elle transmet chaque mois, à l'ASN et l'IRSN, un ensemble de mesures de suivi radiologique pour l'air et l'eau.

Selon l'étude d'impact préparée pour la DUP, une centaine de communes au total sont concernées, de près ou de loin, en raison de la longueur de la ligne électrique qui va être modifiée (130 km). Le projet prévoit de limiter la consommation d'eau de l'installation en utilisant le plus possible les eaux pluviales. Le besoin est de l'ordre de 500 m³ par jour en construction et 200 m³ en exploitation. La voie ferrée qui sera utilisée est aujourd'hui fermée. Sa réhabilitation permettra le trafic pour Cigéo, estimé à 4 allers-retours par jour, et, éventuellement l'accueil de quelques autres usagers. L'Andra souligne le coût élevé de ce poste (150 M€ sans les passages à niveau). La route à dévier est classée « à grande circulation ». Trois tracés sont aujourd'hui envisagés.

La démarche de surveillance que l'Andra entend déployer sur Cigéo montre sa volonté de transparence. La création de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) en témoigne. L'analyse des données collectées devra prendre en compte 1) la faible densité de la population qui pénalise la représentativité des résultats obtenus dans le cadre d'une analyse statistique ; 2) l'apparition tardive des effets induits lors de l'éventuelle exposition à une source radioactive ; 3) la superposition de plusieurs effets non aisément discriminables ; 4) les changements de mode de vie au cours du temps qui rendront plus difficile l'identification de l'origine d'un impact donné ; 5) l'évolution de la biodiversité principalement liée au changement du climat ; et 6) l'échelle de temps. Les études de surveillance sur le long terme sont complexes et le retour d'expérience sur des échelles de temps aussi importantes est réduit. Les méthodologies d'acquisition, de traitement et d'analyse des données gagneront à être explicitées en termes simples.

La Commission demande que l'Andra réalise des études approfondies sur l'impact socio-environnemental à moyen-long terme de Cigéo et explicite les résultats obtenus avec pédagogie.

4.4 INVENTAIRES ET REVERSIBILITE

La définition des inventaires guide la conception du stockage Cigéo qui doit être capable de recevoir tous les déchets HAVL et MAVL identifiés dans l'inventaire de référence. Pour autant, cet inventaire est susceptible d'évoluer pour accueillir des déchets inscrits à l'inventaire de réserve. L'inventaire autorisé de Cigéo au moment de la mise en service sera fixé par le Décret d'autorisation de création.

La définition des inventaires s'appuie à l'origine sur les principes suivants :

- la durée de fonctionnement des installations nucléaires existantes est de l'ordre de 50 ans ;
- le combustible usé des réacteurs électronucléaires en fonctionnement, ou futurs mais déjà autorisés, doit être intégralement retraité ;
- les déchets produits par un parc futur ne faisant pas l'objet dès maintenant d'une autorisation sont en dehors du périmètre de Cigéo.

Ces principes sont susceptibles d'être adaptés avec l'évolution de la stratégie industrielle et des politiques énergétiques de notre pays. Contrairement à d'autres, la France a fait le choix du retraitement du combustible usé et du recyclage, voire du multi-recyclage, des matières issues de ce retraitement. Cette stratégie conduit à la production d'une grande variété de déchets ultimes devant être stockés, notamment de type MAVL, ce qui rend plus complexe la conception de Cigéo, d'autant qu'elle est soumise au principe de réversibilité.

4.4.1 Réversibilité

Le code de l'environnement décline la réversibilité suivant quatre concepts : progressivité, flexibilité, adaptabilité et récupérabilité. La progressivité implique de pouvoir bénéficier des améliorations technologiques qui émergeront dans le futur ou encore de décaler dans le temps des tranches de construction de Cigéo ; la flexibilité garantit la capacité de tenir compte des incertitudes relatives aux colis de l'inventaire de référence et de revenir sur des options de conception pour renforcer la sûreté ; l'adaptabilité suppose d'être capable de stocker dans Cigéo, non seulement l'inventaire de référence, mais également des déchets de l'inventaire de réserve si cela s'avérait nécessaire ; la récupérabilité relève de la possibilité de retirer des colis de déchets déjà stockés jusque la fin de la phase d'exploitation. Ces différents éléments seront décrits dans la DAC et le PDE.

La Commission considère, comme elle l'a déjà fait dans ses rapports précédents, que les exigences de progressivité, flexibilité, adaptabilité et récupérabilité sont favorables pour faire évoluer, si cela s'avère pertinent, la conception de référence définie pour Cigéo.

4.4.2 Inventaire de référence et de réserve

L'inventaire de référence comprend environ 10 000 m³ de déchets HAVL et 73 000 m³ de déchets MAVL qui seront issus du fonctionnement et du démantèlement des installations nucléaires existantes, ou en cours de construction, y compris celles dédiées à la recherche.

L'inventaire de réserve complète cet inventaire de référence. Il comprend des déchets qui pourraient être également stockés dans Cigéo si nécessaire du fait de nouveaux choix de stratégie énergétique ou d'incertitudes liées au déploiement de nouvelles filières de gestion des déchets.

La Commission recommande que le rapport préliminaire de sûreté inclus dans la DAC de Cigéo soit établi avec l'inventaire de référence, et qu'il soit complété par une étude des impacts en matière de sûreté pour l'inventaire de réserve, ce afin de démontrer la robustesse de la conception de Cigéo aux évolutions futures de l'inventaire des déchets.

En particulier, il est aujourd'hui prévu de traiter et recycler tous les assemblages de combustible usé de sorte que ce sont les colis de verres issus de ce traitement-recyclage qui devront être stockés dans Cigéo. Si cette option venait à être revisitée, il faudrait s'assurer de la possibilité de stocker les combustibles usés et non traités dans Cigéo et compléter les études déjà entreprises sur ce sujet.

La Commission recommande, comme elle l'a déjà fait dans ses rapports précédents, de s'assurer que la R&D sur le comportement à long terme des assemblages de combustible usé permette de rassembler la connaissance nécessaire pour mener à bien l'analyse de sûreté de leur stockage dans Cigéo.

4.5 ENROBES BITUMES

Les déchets radioactifs bitumés sont des mélanges de bitumes avec des boues contenant des radionucléides issus de diverses catégories d'effluents et des quantités importantes de sels solubles ou non (nitrates de sodium et de magnésium, précipités préformés de ferrocyanure de nickel, hydroxydes de fer, de manganèse, de cuivre et d'aluminium, carbonates, sulfates, phosphates...). Le bitume est utilisé pour ses propriétés de confinement qui permettent d'incorporer une proportion plus grande de boues que dans une matrice cimentaire par exemple. Environ 75 000 fûts de 220 litres de déchets bitumés ont été produits depuis les années 1960 ; la production se poursuit actuellement, à une cadence très faible, avec l'accord des autorités de sûreté. Sur ce stock, 42 000 fûts, dont 13 000 entreposés à La Hague et 29 000 à Marcoule, sont aujourd'hui classés MAVL et font partie de l'inventaire de référence de Cigéo, dont ils représentent environ 18 % en nombre de colis.

A l'occasion de l'instruction du dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo, l'ASN relayant l'IRSN, dans un avis de janvier 2018, a émis des réserves relatives à la maîtrise du risque d'incendie dans un alvéole MAVL contenant des colis de déchets bitumés. Cet avis recommande de privilégier la neutralisation préalable de la réactivité chimique des déchets bitumés, tout en poursuivant l'étude des modifications à apporter à Cigéo pour permettre le stockage en l'état de ces colis.

Dès 1997, la Commission avait soulevé la question des bitumes, qu'elle a rappelée en 2012. Dans son rapport 2018, elle a recommandé la création d'une commission internationale pour examiner plus précisément la problématique des bitumes. Cette recommandation a été suivie d'effet puisqu'un groupe de revue internationale a été mis en place dès l'été 2018 sur mandat conjoint du MTES et de l'ASN. Ce groupe a rendu ses conclusions en juin 2019.

Son rapport, publié sur le site de l'ASN, prend en compte l'état de l'art sur le plan international, les études conduites par le CEA, EDF, Orano et l'Andra, ainsi que les avis de l'IRSN. Le rapport identifie les études complémentaires à conduire pour déterminer la part des colis de déchets bitumés qui pourra être stockée en toute sécurité dans Cigéo, sur la base de connaissances plus précises que celles d'aujourd'hui.

Cela nécessite :

- que le CEA complète les études de réactivité des différentes catégories de déchets bitumés en réponse à des sollicitations thermiques, en effectuant quelques essais supplémentaires, des analyses plus fines des résultats et une validation approfondie de la modélisation des phénomènes ;
- que l'Andra achève l'adaptation de la conception des alvéoles MAVL pour permettre le stockage des déchets bitumés qui seront destinés à Cigéo dans les meilleures conditions de sûreté. Cela paraît faisable avec les techniques d'ingénierie disponibles actuellement.

Par ailleurs, le rapport recommande de poursuivre l'étude des procédés de neutralisation de la réactivité chimique des colis de déchets bitumés car on ne peut exclure que certains colis, mal connus, ne puissent satisfaire aux critères d'acceptation qui seront définis par l'Andra. En particulier, le rapport suggère d'examiner l'intérêt d'un procédé fondé sur la dissolution chimique des bitumes, dont le principe a été exploré par le SCK•CEN belge.

Par lettre du 11 Mai 2018, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques avait demandé à la Commission de suivre les travaux de la revue internationale et d'informer le Parlement sur ses conclusions. Un membre de la Commission a donc suivi en tant qu'auditeur les réunions du groupe de revue. La Commission a ensuite examiné le rapport de la revue, sur lequel elle a émis un avis remis au Parlement en octobre 2019 (cf. Annexe VIII). Il souligne la pertinence des avis émis par le groupe de revue et préconise de mettre en œuvre sans tarder ses recommandations.

La Commission a entendu le CEA sur les actions qu'il envisage de mettre en œuvre. Le CEA a rappelé qu'il doit non seulement répondre aux recommandations issues de la revue, mais aussi à celles formulées dans la lettre de suite ASN/ASND de mai 2019, et celles exprimées par l'ASND seule, sur la base de l'expertise qu'elle avait commandée de son côté à l'organisme IFP Energies Nouvelles et au laboratoire SIMAP (Science et Ingénierie des MATériaux et Procédés) de l'université Grenoble Alpes.

L'élaboration d'un nouveau programme quadripartite avec les producteurs de déchets et l'ANDRA est en cours de discussion. Les grandes lignes de ce programme seront les suivantes :

- en ce qui concerne la maîtrise de la réactivité des bitumes, il s'agit de conforter la démonstration de l'absence d'impact sur la sûreté des réactions observées à des températures basses lors des essais de microcalorimétrie, d'établir des courbes enveloppes de réactivité, d'approfondir la validation des simulations numériques, de prendre en compte certains produits chimiques présents dans quelques cohortes de fûts et d'affiner la connaissance des effets de la radiolyse et des bulles d'hydrogène qu'elle produit ;
- en ce qui concerne les procédés de neutralisation de la réactivité chimique des bitumes, une étude de pré faisabilité sur un procédé de dissolution chimique sera entreprise. Le CEA estime en effet qu'un tel procédé ne serait pas pertinent pour la neutralisation de la totalité de l'inventaire, mais pourrait présenter des avantages si un nombre limité de fûts devait être traité.

Les travaux de ce deuxième programme quadripartite devraient débuter pendant l'été 2020 et durer 3 à 5 ans.

Par ailleurs, des travaux spécifiques sont à conduire avec Orano pour intégrer complètement les fûts d'enrobés bitumineux de La Hague au programme d'analyse proposé par le CEA (par exemple, examen de l'influence du sulfure de cobalt présent dans ces fûts).

Au-delà de la question du risque incendie, qui concerne la phase d'exploitation de Cigéo, les déchets bitumés posent également un problème spécifique de sûreté à long terme. En effet, après une centaine de milliers d'années environ, les alvéoles qui les contiennent seront saturés par l'eau provenant de l'argilite du Callovo-oxfordien. Or, les bitumes, particulièrement quand ils contiennent des sels, solubles ou non, sont sujets à un phénomène de reprise d'eau qui conduit à

un gonflement, lequel, après comblement de tout l'espace disponible, serait susceptible de produire une pression sur les parois de l'alvéole (plus de 40 MPa selon certaines études théoriques).

Le CEA considère que la simulation couplée et détaillée de tous les phénomènes accompagnant le gonflement n'est pas réalisable. Cependant, des simulations simplifiées montrent un endommagement du Cox sous l'effet du gonflement des bitumes, d'une ampleur limitée au regard de l'épaisseur totale de la couche. De plus, certains phénomènes importants sont négligés (comme le fluage du Cox) qui conduisent à considérer les calculs simplifiés comme pénalisants. Des travaux de simulation complémentaires sont prévus pour le confirmer.

Le CEA conduit également sur ce sujet des travaux expérimentaux en collaboration avec le SCK•CEN. Les expériences déjà réalisées en laboratoire, à volume contraint imposé, ont mis en évidence une pression atteinte de l'ordre de 20 MPa. Les résultats sont utilisés pour la validation d'un modèle de simulation en cours de développement par EDF.

La Commission a par ailleurs entendu l'Andra sur les évolutions de conception de Cigéo et la construction de la démonstration de sûreté. Les évolutions proposées comprennent le placement des fûts dans des conteneurs en ciment d'épaisseur 20 cm (au lieu de 12 cm) pour contenir l'échauffement et un agencement des colis en alvéole suivant 2 niveaux au lieu de 3, pour garder au-dessus un espace permettant d'intervenir si nécessaire pour récupérer des colis ou lutter contre la propagation d'un incendie. Un ensemble de simulations est en cours de réalisation par l'Andra sur deux scénarios d'incendie. L'un correspond à un feu d'équipement dans l'alvéole, et l'autre, au scénario hypothétique d'un emballement de réactions exothermiques à l'intérieur d'un fût pour une cause inconnue. Bien que ce second scénario soit considéré comme extrêmement improbable, l'ASN considère qu'il doit être étudié au titre de la défense en profondeur.

De plus, un dispositif de surveillance en cours d'étude s'appuie sur la mise en place de fibres optiques en voûte d'alvéole, dont il conviendra de démontrer l'efficacité et la pertinence au regard de la durée d'exploitation. Des dispositifs complémentaires d'intervention, en cas d'incendie, sont également à l'étude, dont l'intérêt devra également être confirmé.

Par ailleurs, le CEA a présenté à la Commission les résultats des essais réalisés sur des enrobés réels à l'occasion des opérations de reprises des fûts anciens. Si on considère des critères d'acceptation du type de ceux qui sont appliqués au Centre de stockage de l'Aube, ces essais conduisent à classer plus des deux tiers des fûts testés dans la catégorie FAVL.

La Commission considère que le programme qui lui a été présenté est pertinent et répond bien aux recommandations de la revue internationale. Si ces résultats sont concluants, la Commission estime que le stockage des bitumes devrait être possible dans Cigéo.

La Commission insiste pour que les expériences complémentaires soient lancées sans tarder de telle sorte que les résultats des travaux préconisés soient disponibles pendant l'instruction de la DAC de Cigéo. En effet, même si le dépôt de colis de déchets bitumés n'est pas inclus dans la phase industrielle pilote, il est indispensable que la DAC démontre la faisabilité de leur stockage dans Cigéo, moyennant si nécessaire une évolution de la définition des alvéoles.

4.6 LES AVANCEES TECHNIQUES EN VUE DU DEPOT DE LA DAC

Les récentes avancées dans la configuration de Cigéo ont été réalisées afin de répondre aux avis exprimés lors de l'instruction du dossier d'options de sûreté (DOS).

4.6.1 Structuration et capitalisation des connaissances

Les connaissances acquises par l'Andra sont capitalisées au sein d'un socle de connaissances scientifiques et techniques qui formera l'une des pièces justificatives du dossier de la DAC. Ce socle de connaissances est structuré suivant deux ensembles de documents : des connaissances brutes et des connaissances intégrées.

Le premier ensemble, correspondant aux données brutes, comprend des référentiels de connaissances scientifiques et technologiques ainsi que des bases de données. Il capitalise, au meilleur de l'état de l'art, les données nécessaires à la conception de Cigéo, composant par composant.

Le deuxième ensemble propose une vision globale des connaissances intégrant l'ensemble des composants du stockage. Il s'agit d'une part, d'analyses phénoménologiques et de notes conceptuelles détaillées, et d'autre part, de synthèses résumant la position de l'Andra sur différents sujets portant sur la sûreté et la conception.

L'Andra s'est attachée dernièrement à faciliter la compréhension des liens entre les différents documents et sujets inclus dans ce socle de connaissances. Ce souci de structuration contribue à l'amélioration de la lisibilité de l'ensemble.

46

La Commission reconnaît l'effort très conséquent de l'Andra pour synthétiser, intégrer et consolider un socle de connaissances sur tous les aspects scientifiques liés à Cigéo. Cet ensemble de données devrait sécuriser les bases du dimensionnement de Cigéo et donner aux autorités les éléments pour initier des calculs de vérification.

4.6.2 Avancées scientifiques et techniques

Tout en reconnaissant la robustesse du socle de connaissances de l'Andra, la Commission a fait à l'Andra des recommandations à propos des propositions de conception ou des options technologiques. Pour y répondre, l'Andra a mis en place dès 2016 un programme pour consolider les acquis scientifiques et techniques et pour mieux justifier les choix de conception et de dimensionnement de Cigéo.

Il a été mis à jour en 2018. Les thématiques examinées plus spécifiquement cette année concernent :

- le comportement thermo-hydro-mécanique (THM) du Callovo-oxfordien ;
- les alvéoles HA ;
- les alvéoles MAVL et les galeries.

La conception et le comportement des ouvrages de fermeture n'ont pas été abordés au cours des auditions de l'année.

a) Comportement THM du Callovo-oxfordien

Les déchets HA sont exothermiques. Une augmentation transitoire de la température du Callovo-oxfordien est donc attendue au droit des alvéoles HA. Elle induira une augmentation de la pression de l'eau interstitielle et pourrait générer des phénomènes de fracturation de la roche si elle n'était pas contrôlée. Ces phénomènes sont pris en compte dans les calculs de dimensionnement et de prévision de l'évolution de Cigéo.

Une nouvelle expérience *in situ*, au laboratoire souterrain, a démarré en 2017 pour reproduire le chemin de contrainte effective et de pression généré par le chargement thermique à l'entraxe entre deux alvéoles HA : Cette expérience a été conçue à une échelle permettant d'obtenir des observations utilisables pendant la période d'instruction de la DAC. Un premier cycle de chauffage a été effectué durant l'été 2019 suivant un mode permettant d'éviter toute fracturation. Un second cycle sera effectué en 2020 pour aller cette fois jusqu'à la fracturation, au-delà des limites de fonctionnement retenues pour Cigéo. Il s'agit de mieux comprendre et quantifier l'ensemble des conditions menant à la fracturation et donc de vérifier que les modèles de dimensionnement garantissent les marges de sécurité requises.

Des travaux de modélisation viendront compléter cette étude. Ils seront réalisés dans le cadre d'une nouvelle phase (2020-2023) du projet international DECOVALEX. Ce projet, qui a vu le jour en 1992, rassemble 14 organismes internationaux. Il vise à améliorer la compréhension et la modélisation des processus couplés thermo-hydro-mécaniques-chimiques dans les formations géologiques souterraines.

La Commission souligne tout l'intérêt d'expériences in situ qui explorent le comportement des composants de Cigéo au-delà des limites du dimensionnement. Elles complètent utilement l'analyse de sûreté en quantifiant les marges entre le comportement normal et le comportement dégradé.

b) Alvéoles HA

Le programme de R&D, mis en œuvre par l'Andra pour répondre aux engagements pris auprès de l'ASN à propos de la constructibilité des alvéoles HA, se poursuit et doit permettre d'ici la fin de l'instruction du dossier de la DAC de démontrer la faisabilité technique de construction d'un alvéole, de préciser le fonctionnement des alvéoles en phase d'exploitation et de confirmer les domaines d'évolution phénoménologique attendus.

Les colis de stockage HA contiennent des colis primaires (CSD-V) renfermant les déchets conditionnés dans une matrice de verre. Dans son rapport n°11 (page 46), la Commission a souligné que "le CEA a franchi une nouvelle étape dans la compréhension du comportement du verre nucléaire. Il a caractérisé les propriétés structurales du verre fortement irradié tel qu'il sera à long terme et les couches d'altération du verre par l'eau du Cox. Ces structures contrôlent les différents régimes de lixiviation du verre à l'origine de la libération progressive des radionucléides." Les conclusions de ces études sont toujours pertinentes pour le projet Cigéo et ne sont pas remises en cause par un récent article scientifique qui fait état d'une corrosion accélérée des verres dans des conditions uniquement représentatives du site américain de Yucca Mountain (Cf. Annexe IX).

Depuis fin 2018, un premier alvéole HA de démonstration de longueur 80 m, comme prévu pour le quartier HA0, a été réalisé en laboratoire souterrain. Il a été équipé de différents capteurs permettant d'en surveiller le comportement. Le taux de fonctionnement de ces derniers est proche de 100% un an après l'installation. Par ailleurs, des réflexions sont en cours sur l'optimisation de la conception de l'alvéole HA. Le schéma de conception proposé en 2018 par l'Andra, basé sur un balayage à l'azote pour assurer l'inertage de l'atmosphère de l'alvéole, était complexe. Dans son rapport annuel n°13, la CNE avait attiré l'attention sur ce point et

recommandé de concentrer l'effort sur des dispositifs passifs et sur la démonstration de leur efficacité. L'Andra poursuit ses investigations en ce sens. EDF a proposé son appui pour instruire ces pistes alternatives.

La Commission maintient sa recommandation de concevoir des alvéoles au fonctionnement passif, en limitant les connexions entre intérieur et extérieur des alvéoles. Elle note que les réflexions sur la définition d'un système de surveillance simple et passif progressent et demande que les résultats lui soient présentés.

La Commission demande par ailleurs que les derniers travaux techniques concernant la maîtrise de l'hydrogène lui soient exposés, cette question n'ayant pas été traitée durant l'année 2019-2020.

La construction d'un prototype d'alvéole de 150 m de longueur est annoncée pour 2023-2024.

La Commission rappelle que ce test est un élément essentiel de démonstration de faisabilité auquel il ne faudrait pas surseoir au-delà de la période d'instruction de la DAC.

c) Alvéoles MAVL et galeries

48

L'Andra s'est engagée pour le dossier de la DAC à consolider la robustesse de la conception et du dimensionnement des galeries et des alvéoles MAVL.

Deux méthodes de creusement ont été testées au laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne : une méthode traditionnelle au moyen d'une machine à attaque ponctuelle avec pose d'un soutènement provisoire et un creusement mécanisé au tunnelier avec pose de voussoirs à l'avancement. Le choix d'une méthode par rapport à l'autre dépend du linéaire de la galerie à creuser. Lorsque le linéaire est important, la méthode favorisée par l'Andra est celle du tunnelier car elle permet de tenir une bonne cadence de creusement.

La méthode de creusement influe sur la cinétique de chargement du revêtement définitif de l'ouvrage, et donc sur sa conception. L'effort appliqué par le massif sur le revêtement est d'autant plus important qu'il est placé tôt et s'oppose ainsi à la convergence du massif rocheux qui tend à refermer l'excavation. Pour la méthode à attaque ponctuelle, le revêtement final est coulé en place de manière différée. Avec un tunnelier, le revêtement final est installé en même temps que le creusement. Pour ce dernier cas, l'Andra a démontré que l'utilisation de voussoirs compressibles permet de limiter les efforts liés à la convergence initiale du massif rocheux. Un programme de qualification a débuté en 2016 afin de s'assurer que ces voussoirs répondent au comportement mécanique attendu tout au long de la phase d'exploitation de Cigéo. Par ailleurs, des essais complémentaires sont en cours à l'institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR). L'introduction d'un matériau compressible entre le revêtement final et la roche a montré une diminution du chargement mécanique des soutènements/revêtements pour les deux méthodes de creusement. Les travaux en cours permettront d'asseoir les choix de dimensionnement avec matériau compressible.

Dans le cadre de ses études d'optimisation technico-économique, l'Andra teste, en laboratoire souterrain, la réalisation des galeries de grands diamètres. Des essais sur des ouvrages de tailles intermédiaires, 8 à 9 m, ont été effectués. L'intersection entre un ouvrage de 6 m de diamètre et un autre de 9 m de diamètre a été récemment construite et instrumentée. Un programme de travaux a été engagé début 2019 et sera poursuivi pour 6 ans dans le laboratoire souterrain. L'Andra s'appuie également sur l'analyse du retour d'expérience de travaux souterrains de génie

civil de diamètres supérieurs à 12 m. Le test des galeries d'un tel diamètre ne peut être réalisé dans le laboratoire souterrain et sera effectué dans Cigéo pendant la phase industrielle pilote.

Toujours dans un souci de flexibilité, trois modes de stockage ont été présentés pour les alvéoles MAVL : stockage du colis primaire dans un conteneur de référence, stockage du colis primaire dans un conteneur renforcé ou stockage direct du colis primaire dans l'alvéole. Le choix d'un mode de stockage repose en premier lieu sur la possibilité de garantir les meilleures conditions de sûreté. Il a également des implications en termes d'emprise et de coût.

Depuis 2017, des études de conception réalisées par l'Andra intègrent la possibilité d'un stockage direct pour certains types de colis. Par rapport à un stockage en conteneur, le nombre d'alvéoles s'en trouve diminué. Ces études confirment la faisabilité technique du stockage direct notamment au regard de la maîtrise des risques. Cette maîtrise est d'ailleurs renforcée par la possibilité, laissée ouverte, de revenir à un stockage en conteneur si cette option s'avérait nécessaire pour des raisons de sûreté : une réserve d'emprise est préservée dans Cigéo pour l'éventuelle construction d'alvéoles supplémentaires.

La mise en œuvre du stockage de colis primaires doit s'appuyer sur des interactions nombreuses entre l'Andra et les producteurs pour définir la liste des colis directement stockables ou encore les spécifications d'acceptation de ces colis dans Cigéo. Des études relatives à l'impact de la densification du stockage dans un alvéole sur la puissance thermique restent à mener.

La Commission considère que l'Andra a atteint un niveau de maturité scientifique et technique suffisant pour lui permettre d'effectuer les calculs nécessaires à la définition et à la démonstration de sûreté d'une solution de conception de référence du projet Cigéo. Cet avancement doit encourager l'Andra à déposer rapidement une DAC.

49

La Commission suivra avec vigilance l'avancement des travaux visant à finaliser, avant la fin de l'instruction de la DAC, la démonstration de la faisabilité du creusement de galeries de grand diamètre (12 m), des alvéoles HAVL étendus à 150 m de long, du stockage des bitumes, ou encore de la réalisation des scellements surface-fond.

4.7 CONCLUSION

La Commission considère que le projet de stockage géologique Cigéo est suffisamment mature pour qu'une demande d'autorisation de création soit déposée dans un avenir proche.

À ce stade, la Commission a pu se prononcer sur certains composants du stockage, mais la solution de conception de référence d'ensemble ne lui a pas encore été présentée. L'Andra propose régulièrement des évolutions de conception, soit en réponse à des questions posées par ses évaluateurs, soit pour tester des opportunités d'optimisation. Chacune de ces évolutions nécessite des démonstrations parfois significatives.

La Commission s'inquiète de l'impact des évolutions proposées du concept Cigéo sur la conduite du projet. Elle demande qu'une configuration de référence, stabilisée, lui soit rapidement présentée. Cette configuration de référence doit être techniquement réalisable, elle doit remplir les objectifs d'accueil de l'inventaire de référence et la démonstration de sûreté devra être faite sur cette configuration.

L'Andra devrait fournir l'ensemble de ces éléments de démonstration sur la configuration de référence au moment du dépôt de la demande d'autorisation de création. Si certaines démonstrations, étayées par des hypothèses réalistes, nécessitent des compléments qui ne sont pas disponibles à ce moment-là, ces éléments devront être apportés, en tout état de cause, avant le décret d'autorisation de création. Il convient ainsi d'être extrêmement vigilant sur le calendrier d'acquisition des éléments indispensables à la démonstration.

Des options techniques dont la démonstration n'est pas certaine dans le calendrier prévu, devraient être considérées comme des évolutions futures de la configuration de référence. Ces évolutions du projet sont prévues par l'adaptabilité de Cigéo, rappelée par la Loi n°2016-2015 : elles peuvent être proposées pendant toute la vie du projet, notamment pendant l'instruction du dossier de DAC, pendant la phase industrielle pilote et pendant la phase d'exploitation.

La Commission recommande que l'Andra se dote d'une procédure formalisée et robuste de gestion de configuration, appuyée sur une définition exhaustive et détaillée de la configuration de référence dans une maquette numérique. Cette procédure de gestion doit imposer d'évaluer systématiquement l'impact de toute évolution ou optimisation afin de vérifier sa faisabilité et sa non-régression par rapport à la configuration de référence, notamment sur le plan de la sûreté. De plus, l'adoption de toute modification par rapport à la configuration de référence doit être complètement documentée et faire l'objet d'une décision formalisée.