



COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION
DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES
A LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS
Instituée par la loi n°2006-739 du 28 juin 2006

STOCKAGE DES COLIS DE DÉCHETS BITUMES

NOTE D'INFORMATION AU PARLEMENT SUR LE
RAPPORT FINAL DE LA REVUE EXTERNE SUR LA GESTION
DES DÉCHETS BITUMES

OCTOBRE 2019

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

CONTEXTE

Par lettre du 11 Mai 2018, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a demandé à la Commission de suivre les travaux de la revue externe sur la gestion des déchets bitumés 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 tient à souligner la haute qualité scientifique des travaux réalisés dans ce cadre et la prise en compte au meilleur niveau des recherches internationales et des avis d'experts internationaux dans le domaine de la caractérisation et du traitement des déchets nucléaires ou de la maîtrise du risque d'incendie dans les ouvrages souterrains.

PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DE LA REVUE EXTERNE

Le rapport établi par le groupe de revue prend en compte l'état de l'art au plan international, les études du CEA, celles conduites par EDF, Orano et l'Andra, ainsi que les avis de l'IRSN. Le groupe a aussi bénéficié de l'expertise de plusieurs personnalités internationales. Le rapport identifie les études complémentaires à mener 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. Ces nouvelles études impliquent de :

- compléter les études de réactivité des différentes catégories de déchets bitumés en réponse à des sollicitations thermiques variées, en effectuant de nouvelles mesures, des analyses complémentaires et une validation de la modélisation des phénomènes. Ces travaux sont notamment destinés à mieux préciser les incertitudes affectant la caractérisation des réactions exothermiques.
- consolider les études conduites par l'Andra en utilisant les techniques d'ingénierie disponibles actuellement pour adapter les options de conception afin de permettre le stockage des déchets bitumés qui seront destinés à Cigéo dans les meilleures conditions de sûreté.

Par ailleurs, le rapport recommande des études comparatives approfondies des différents procédés de neutralisation de la réactivité chimique des colis de déchets bitumés car on ne peut exclure que des colis, mal connus, ne puissent satisfaire aux critères d'acceptation définis par l'Andra.

Le groupe de revue estime que les travaux complémentaires qu'il propose en vue de la caractérisation des phénomènes exothermiques pourraient être réalisés en quelques mois.

AVIS DE LA COMMISSION

La Commission souligne la pertinence des avis émis par le groupe de revue.

Elle considère que les compléments d'étude proposés pourraient permettre d'acquérir de premiers résultats significatifs avant même le dépôt de la DAC et des conclusions complètes avant la fin de sa période d'instruction si les moyens adéquats sont mobilisés.

Elle recommande en toute première priorité que le CEA établisse au plus vite un programme d'action vigoureux, afin de mener les études et recherches nécessaires pour achever de caractériser au mieux les déchets bitumés. Ce programme devra viser à déterminer les températures minimales de déclenchement des réactions exothermiques, leurs caractéristiques, et à quantifier rigoureusement leurs incertitudes, afin de définir sur des bases solides les marges de sécurité à prendre.

Elle recommande de poursuivre l'analyse comparative des procédés de neutralisation de la réactivité des enrobés bitumés en tenant compte du nombre de colis à traiter, de la maturité technologique des procédés, de leur coût, de leur performance et de leur impact sanitaire et environnemental. Des travaux conséquents seront nécessaires pour aboutir à un processus industriel dont l'impact sur l'environnement serait maîtrisé. La Commission note que le procédé par dissolution présente à ce stade de l'analyse quelques atouts incontestables qu'il conviendrait de mieux explorer.

Elle considère enfin que les évolutions de conception de Cigéo lancées par l'ANDRA devraient permettre de répondre aux exigences réglementaires concernant la prévention des risques d'incendie et leur mitigation. L'augmentation de la capacité d'isolement des colis de stockage et l'accroissement du diamètre des alvéoles permettraient notamment la localisation et l'extraction de colis suspects.

ANALYSE DETAILLÉE DU RAPPORT DU GROUPE DE REVUE

CARACTÉRISATION DES ENROBÉS BITUMÉS

Analyse de la revue

Les enrobés bitumés des boues de co-précipitation des effluents radioactifs sont des systèmes physico-chimiques complexes. Des études de microcalorimétrie montrent que des réactions exothermiques peuvent se déclencher au sein des enrobés. Ces enrobés sont inertes à température ambiante mais ils peuvent être auto-réactifs s'ils sont soumis à une élévation de température dans des conditions qui restent à définir. Il est donc capital de savoir à quelles températures des réactions exothermiques peuvent avoir lieu dans un fût bitumé soumis à des sollicitations thermiques diverses. Le groupe de revue a évalué les connaissances scientifiques disponibles pour éclairer le comportement des fûts bitumés et tout particulièrement ceux de Marcoule.

La connaissance des compositions des fûts repose sur les historiques de fabrication dont certains sont mal documentés ; elle est confortée par des mesures directes sur quelques fûts lors de leur reconditionnement. Les documents sur la réactivité des enrobés bitumés soumis à une élévation de température sont rares et essentiellement issus de rapports internes du CEA, de SCK (Belgique) et du JAEA (Japon).

Le groupe de revue a examiné les données brutes obtenues par le CEA au moyen d'expériences de microcalorimétrie différentielle réalisées à l'échelle du gramme ainsi que les résultats de modélisation de la propagation de la chaleur dans des lots à l'échelle du kilogramme. C'est sur ces bases qu'il a fait des constats et des propositions de nouvelles expériences pour consolider les estimations du CEA sur les paramètres de réactivité ou pour confirmer les préconisations de l'IRSN. Par exemple, le CEA estime que la température à retenir pour le déclenchement de réactions exothermiques est de 150 °C tandis que l'IRSN préconise de retenir, pour la conception de Cigéo, une température de 100°C.

Les constats du groupe de revue sont rigoureux et sévères.

Le groupe de revue souligne :

- la variabilité importante de composition de fût à fût pour une période de fabrication donnée et une incertitude sur l'homogénéité de distribution des sels réactifs dans un fût, compliquant une estimation globale des risques ;
- la variabilité importante des données de microcalorimétrie. Le groupe de revue considère que les études ne permettent pas de caractériser avec certitude les relations quantitatives entre compositions des enrobés et exothermicité. A cet égard il note la complexité de la méthodologie adoptée par le CEA pour caractériser la réactivité des enrobés ;
- le manque de réalisme de la validation expérimentale des modélisations de l'évolution de la température au sein de blocs chauffés d'enrobés à l'échelle du kilogramme ;
- le manque de données concernant des enrobés bitumés soumis à une radiolyse significative tenant compte de l'âge que les fûts auront en fin d'exploitation de Cigéo ;
- le manque de données concernant des enrobés bitumés à teneur élevée en nitrates qui sont apparus comme les sels les plus réactifs.

Le groupe de revue recommande :

- de réaliser des expériences complémentaires et répétitives de microcalorimétrie pour lever le doute sur la réalité des points aberrants constatés lors des premières expériences et réduire les

marges d'incertitude liées à la méthode expérimentale (réalisation de l'échantillonnage, appareillage et interprétation des thermogrammes) ;

- de réaliser de nouvelles expériences de microcalorimétrie avec des compositions enveloppes en composants majeurs identifiés comme réactifs (couples redox à base de nitrate et de fer divalent) et/ou comme catalyseurs (hydroxyde de fer trivalent). Grâce à ces expérimentations complémentaires, un thermogramme enveloppe par lots de fûts pourrait être obtenu permettant une détermination robuste de la température minimale de déclenchement de réactions exothermiques ;

- de valider expérimentalement le code de modélisation de l'échauffement d'un enrobé frais et artificiellement vieilli à une échelle représentative d'un fût.

Le groupe de revue insiste de surcroît sur la nécessité d'être extrêmement rigoureux dans la conduite des expériences et dans l'interprétation des données calorimétriques à toutes les échelles.

Avis de la Commission

- La caractérisation de la réactivité des enrobés bitumés est le point de départ de toutes les études de modélisation d'une éventuelle initialisation et propagation d'un feu dans Cigéo en période d'exploitation.

- La Commission considère que le rapport du groupe de revue prend en compte toutes les données scientifiques disponibles sur la réactivité des enrobés bitumés et que leur analyse confirme les préoccupations de l'IRSN et de la CNE.

- La Commission note que le groupe de revue estime que les nouvelles expériences préconisées pourraient être conduites dans des temps compatibles avec la date de dépôt de la DAC et avec celle de son instruction. La Commission souligne que seuls de premiers résultats significatifs pourront être obtenus avant le dépôt de la DAC compte tenu de la complexité scientifique du sujet. Elle considère que, pour tenir les délais, le CEA et les opérateurs concernés doivent se mobiliser dès maintenant. Les expériences complémentaires demandées, bien que dans la lignée des précédentes études du CEA, demandent une nouvelle approche méthodologique rigoureuse en microcalorimétrie et un changement d'échelle (kg à fût) en validation de modélisation. Un programme doit être établi sans tarder.

- La Commission considère que l'obtention de quelques thermogrammes sur des enrobés bitumés réels lèverait tout doute sur la représentativité des résultats des expériences conduites jusqu'à aujourd'hui sur des enrobés simulés.

DIFFÉRENTES VOIES DE NEUTRALISATION DES DÉCHETS BITUMINEUX.

Analyse de la revue

Plusieurs voies ont été considérées :

- Incinération des colis d'enrobés bitumés à l'aide d'une torche à plasma :

Le retour d'expérience des installations existantes dans le monde, dédiées aux déchets non nucléaires, ne concerne pas les bitumes. Des installations nouvelles et spécifiques devraient être créées afin d'être nucléarisées. L'adaptation du procédé PIVIC, en cours de développement par Orano pour le traitement de déchets alpha contenant des métaux et des composés organiques contenant du plutonium, permettrait le traitement d'un fût

d'enrobés bitumés dans une installation unique mais avec une cadence de traitement limitée. Le déchet ultime serait constitué d'un colis diphasique rassemblant une phase métallique et une phase vitrifiée. De nombreux aspects techniques restent à développer et à qualifier, comme la découpe des fûts par un jet d'azote liquide, la radioprotection ou encore l'adaptation du creuset aux contraintes des bitumes. La maintenance d'une telle installation ainsi que sa sûreté doivent faire l'objet d'études complémentaires. Enfin s'agissant de l'impact environnemental du procédé, le rejet possible d'éléments volatils tels que le césium et l'émission de particules radioactives de taille très fine à la sortie des dispositifs de filtration doivent être maîtrisés.

- Incinération des colis d'enrobés bitumés dans un four à haute température

Cette approche développée par les sociétés Socodei/EDF et Séché s'appuie sur l'expérience de Centraco à Marcoule et sur celle de Séché en matière de traitement de déchets conventionnels. Les fûts entiers d'enrobés bitumés sont cryo-broyés pour permettre l'introduction du déchet dans un four tournant, les mâchefers obtenus constitueraient les déchets ultimes dont la gestion devrait être élaborée en concertation avec l'Andra. La nature et la gestion des effluents gazeux restent à préciser car la combustion du bitume produira des suies importantes et, comme pour l'incinération par plasma, il faut tenir compte de la présence possible d'éléments radioactifs volatils et de particules très fines en sortie des dispositifs de filtration. La sûreté d'une telle installation devra être étudiée.

- Vaporéformage (gazéification par l'eau) des enrobés bitumés

Cette approche, étudiée par Socodei/EDF prévoit un prétraitement pour séparer les enrobés bitumés du fût métallique et de pulvériser le bitume en fines gouttelettes dans un lit fluidisé. L'opération paraît difficile avec un composé tel que le bitume dans des conditions nucléarisées. Là encore, la gestion des effluents gazeux et liquides, tout comme la démonstration de sûreté, doivent faire l'objet d'études plus approfondies.

- Dissolution des enrobés bitumés dans un solvant organique

Ce processus, étudié en Belgique, pourrait constituer une approche intéressante car il s'appuie sur des techniques de séparation très bien maîtrisées dans l'industrie nucléaire et la pétrochimie, industries qui utilisent largement la dissolution des bitumes par solvant. L'enrobé bitumé est dissous dans un solvant aromatique et l'ajout d'un solvant aliphatique permet de précipiter les asphaltènes et les sels, qui sont ensuite traités par ultrasons dans l'eau afin de solubiliser la majorité des nitrates. Le solide final ainsi obtenu, potentiellement stockable dans Cigéo, serait exempt de maltènes inflammables et de nitrates dont le conditionnement et le stockage devraient être étudiés par ailleurs. Un traitement du solvant contenant les hydrocarbures saturés, aromatiques et les résines devra être mis au point pour permettre le recyclage du solvant de dissolution. Le devenir des solutions aqueuses nitratées devra être étudié.

Le groupe de revue conclut que l'étude des processus de neutralisation des déchets bitumés doit être poursuivie et la Commission soutient cette recommandation. L'approche par dissolution au moyen d'un solvant présente des avantages certains car elle fait appel à une technologie maîtrisée et elle n'implique pas de production d'effluents gazeux ou de particules fines. Ce procédé trouverait un intérêt particulier au cas où seul un nombre limité de fûts, de composition mal connue devrait être traité car le volume de solvant nécessaire serait alors acceptable.

Avis de la Commission

La Commission recommande :

- une analyse comparée des procédés de neutralisation des déchets bituminés en tenant compte du nombre de fûts à traiter, de la maturité technologique du procédé ainsi que d'autres paramètres clés tels que leur niveau de performance, leur coût, les déchets secondaires produits, et leur impact environnemental. Cette analyse devrait permettre de prioriser les programmes de R&D à lancer.
- une réflexion sur les modalités d'identification des fûts qui ne satisferaient pas aux critères d'acceptation des colis dans Cigéo et devraient faire l'objet d'un traitement.

ÉVOLUTIONS DE LA CONCEPTION DE CIGÉO POUR EXCLURE LE RISQUE D'EMBALLLEMENT DES RÉACTIONS EXOTHERMIQUES

Analyse de la revue

La conception de Cigéo prévoit que les déchets MAVL – dont les colis d'enrobés bitumés – seront placés dans des alvéoles. Chaque alvéole est un tunnel ventilé d'environ 500 m de longueur utile et équipé d'un pont stockeur. Les travaux du groupe de revue se sont concentrés sur les dispositions prévues par l'Andra pour s'assurer que, en cas de feu durant la phase d'exploitation dans un tel alvéole contenant des déchets bitumés :

- l'incendie ne provoque pas de réaction significative dans les colis de déchets ;
- la propagation reste limitée à un seul colis si l'origine du feu provient de l'emballlement d'une réaction interne à ce colis
- les rejets sont maîtrisés et les conséquences radiologiques restent acceptables ;
- le retrait de colis suspects est possible ;
- la reprise d'exploitation est possible dans des conditions restant à préciser.

Selon le groupe de revue, le DOS ne permettait pas d'avoir une appréciation complète des dispositions prévues par l'Andra. En particulier, seul le scénario d'un incendie entraîné par un feu du pont stockeur était considéré, laissant ouverte la question de l'emballlement éventuel des réactions exothermiques au sein d'un fût. Les analyses entreprises par l'IRSN sur un scénario d'emballlement lors de l'examen du DOS étaient fondées sur une modélisation très simplifiée destinée uniquement à poser le problème de manière incitative et permettre d'encourager la poursuite des études.

Le groupe de revue souligne l'importance du travail accompli par l'Andra depuis le DOS et durant le déroulement de la revue. Deux scénarios sont aujourd'hui considérés : le scénario de feu d'équipement et le scénario d'emballlement. Concernant le scénario de feu d'équipement, le groupe de revue note une nette réduction du risque suite aux travaux de l'Andra. Les niveaux de sollicitation thermique sont à présent d'un ordre de grandeur plus faible que lors des essais réalisés par le passé sous feu conventionnel, au terme desquels les colis avaient bien résisté. Concernant le scénario d'emballlement, le groupe de revue insiste sur la nécessité de réaliser des essais à l'échelle 1, afin de renforcer la pertinence des diverses modélisations entreprises et d'éviter, en mettant en œuvre des modèles trop simplifiés, de devoir prendre des marges de sécurité trop importantes.

Le groupe de revue note l'importance du rôle du colis en béton accueillant les fûts d'enrobés en situation de stockage. Celui-ci aura le statut d'Équipement Important pour la Protection (EIP). L'Andra en a renforcé la caractérisation en cas de sollicitation thermique et de surpression interne (pour contenir une éventuelle déflagration). Elle s'est aussi assurée de la possibilité de manipuler un colis après incendie.

Des mesures supplémentaires ont enfin été proposées par l'Andra afin de renforcer les dispositifs de détection et de lutte contre un incendie. L'augmentation de la section des alvéoles (résultant d'un choix de technologie de creusement) permet de mettre en place des dispositifs capables de retirer plus facilement les colis en cas d'indisponibilité du pont stockeur.

Avis de la Commission

Le groupe de revue considère que les dispositions techniques permettant le stockage des déchets bitumés dans Cigéo dans des conditions de sûreté acceptables peuvent être définies sur la base des moyens actuels de l'ingénierie. Il a la conviction que l'Andra devrait atteindre cet objectif à court terme. La Commission partage, au vu des éléments du rapport qui lui a été transmis, cette conviction et suivra avec attention les travaux à venir de l'Andra.

La Commission constate que les travaux de conception de Cigéo en vue du stockage des déchets bitumés ont avancé à un rythme soutenu. La définition des deux scénarios d'incendie envisagés précise les conditions proposées pour établir la démonstration de sûreté. Toutes les études ne sont pas terminées et la Commission veillera à ce que les programmes expérimentaux à l'échelle 1 à réaliser par l'Andra, auxquels le groupe de revue est très attaché, lui soient présentés.

Enfin, et comme le mentionne le groupe de revue, la Commission rappelle qu'il convient toujours de privilégier des moyens passifs de réduction des risques d'incendie et de sa propagation. En outre, le strict respect des conditions d'acceptation des colis de déchets bitumés sera indispensable au maintien du niveau de sûreté de Cigéo.