

STOCKAGE EN L'ÉTAT DES FÛTS DE DÉCHETS BITUMÉS DANS CIGÉO

Maîtrise des risques et principes d'évolution de conception

Identification

CG-TE-D-NSY-AMOA-SR1-0000-18-0006/B

Juillet 2019

Page : 1/50

SOMMAIRE

1. Objet du document	6
2. Les enjeux associés au stockage des fûts de déchets bitumés	8
2.1 Problématiques soulevées	8
2.2 Les questionnements sur la robustesse des options de conception retenues par l'Andra au stade du Dossier d'option de sûreté	9
2.2.1 Les dispositions de prévention et de lutte contre l'incendie du DOS	9
2.2.2 Les critères/caractéristiques des scénarios retenus au stade du DOS	10
2.2.3 Les rejets et les conséquences radiologiques liés à la perte de confinement de fûts de déchets bitumés des études d'avant-projet sommaire	13
2.2.4 L'avis de l'ASN et de son appui technique l'IRSN sur la conception de Cigéo au stade du DOS	14
2.3 Les questionnements sur la connaissance sur le comportement des enrobés bitumés	15
2.4 Les enjeux de renforcement de la maîtrise des risques et d'évolution de la conception des alvéoles de stockage des déchets bitumés	16
3. Les propositions de renforcement de la maîtrise des risques et d'évolution de la conception des alvéoles de stockage des colis de déchets bitumés	17
3.1 Scénarios de référence	18
3.1.1 Les événements redoutés	18
3.1.2 Les dispositions de maîtrise des risques	19
3.1.3 Les conséquences thermiques d'un incendie	27
3.2 Scénario extrême	32
3.2.1 L'emballlement d'un fût de déchets bitumés	32
3.2.2 Les dispositions de gestion du scénario d'emballlement	34
3.2.3 Les conséquences d'un emballlement de fût de déchets bitumés	37
4. Synthèse	38
5. Références	40

ANNEXES

Annexe 1 : L'utilisation du REX dans la démonstration de sûreté

Annexe 2 : Le colis de stockage CS4

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 2.1-1	Schéma de principe d'un colis de stockage de déchets bitumés (CS4)	7
Figure 2.1-1	Illustration d'un alvéole de stockage MAVL	8
Figure 2.2-1	Remplissage des alvéoles dédiés aux colis de stockage de déchets bitumés au stade des options de sûreté	9
Figure 2.2-2	Coupes des colis de stockage de type B2.1 (à gauche) et CS4 (à droite)	11
Figure 2.2-3	Colis CS4 avant (à gauche) et après l'essai incendie (à droite)	12
Figure 2.2-4	Colis CS4 après refroidissement	12
Figure 2.2-5	Manutention et ouverture du colis CS4 après l'essai incendie	12
Figure 2.2-6	Retrait du colis primaire après l'essai incendie	13
Figure 2.4-1	Illustration de la proposition de remplissage des alvéoles dédiés aux colis de stockage de déchets bitumés en l'état	17
Figure 3.1-1	Pont stockeur utilisé dans les alvéoles MA-VL	19
Figure 3.1-2	Système de mesure par fibres optiques installé au Laboratoire souterrain	20
Figure 3.1-3	Illustration de l'intervention d'un robot pompier en alvéole	21
Figure 3.1-4	Conteneur de stockage CS4	21
Figure 3.1-5	Illustration d'un robot d'intervention en milieu irradiant	22
Figure 3.1-6	Principe du système de manutention de retrait de type Artéon	22
Figure 3.1-7	Principe du système de manutention de retrait avec palonnier à fourches rotatives	23
Figure 3.1-8	Système de filtration des alvéoles MA-VL	23
Figure 3.1-9	Cellule de manutention MA-VL	24
Figure 3.1-10	Chariot de transfert fond chargé d'une hotte MA-VL	25
Figure 3.1-11	Galerie d'accès aux alvéoles MA-VL	26
Figure 3.1-12	Illustration du système d'extraction de l'alvéole MA-VL	27
Figure 3.1-13	Incendie simultané des équipements	28
Figure 3.1-14	Courbe sommant la contribution de chaque équipement	28
Figure 3.1-15	Incendie successif des équipements	29
Figure 3.1-16	Courbe sommant la contribution de chaque équipement	29
Figure 3.1-17	Comparaison scénario court et scénario long	29
Figure 3.1-18	Courbes enveloppes du scénario court	30
Figure 3.1-19	Courbes enveloppes du scénario long	30
Figure 3.1-20	Courbes enveloppes du scénario d'incendie en alvéole	30
Figure 3.1-21	Exemple mise en place des flux thermiques sur un CS.	31
Figure 3.1-22	Température maximale dans le fût de déchets bitumés pour le scénario d'incendie « court » ; 65°C, 9 h 51 min après l'incendie	32
Figure 3.2-1	Phénomènes et conséquences potentielles d'un emballement de fût de déchets bitumés	33
Figure 3.2-2	Principe de retrait d'un colis de stockage de déchets bitumés suspect	35
Figure 3.2-3	Illustration du système de manutention complémentaire dédié au retrait d'un colis de déchets bitumés suspect	35
Figure 3.2-4	schéma de principe d'une intervention d'un robot en alvéole	37

Tableaux

Tableau 2-1	Température ambiante autour du colis de stockage CS4 pendant les essais incendie en four	11
Tableau 2-2	Evaluations de conséquences radiologiques sur le public situé à 2000 m, d'un scénario d'incendie d'un colis de stockage de déchets bitumés	14
Tableau 3-1	Charges calorifiques des équipements de la cellule de manutention	28
Tableau 3-2	Résultats de l'échauffement des colis pour les trois scénarios d'incendie modélisés	31
Tableau 4-1	Synthèse des options proposées pour le stockage des fûts de déchets bitumés en l'état dans Cigéo	39

1. Objet du document

Suite à l'instruction du dossier d'options de sûreté du projet Cigéo (DOS), l'ASN [1] a considéré que, pour le stockage des fûts de déchets bitumés, « *les options de conception retenues à ce stade par l'Andra ne permettent ni de prévenir ni de limiter les risques à un niveau acceptable en cas de réaction exothermique à l'intérieur d'un colis de déchets bitumés* ».

La demande [2018-D-10] a ainsi été formulée : « Je vous demande, si vous envisagez le stockage en l'état de tout ou partie des colis de déchets bitumés de présenter, dans le dossier de demande d'autorisation de création, des modifications de conception pour exclure¹ le risque d'emballlement des réactions exothermiques, concernant notamment :

- *Les dispositions de surveillance permettant de détecter au plus tôt une montée progressive de la température ;*
- *Les dispositions prévues en cas d'incendie pour empêcher des réactions exothermiques des colis de déchets bitumés et la propagation à un ou d'autres colis ;*
- *Les mesures de limitation des conséquences vis-à-vis de la dissémination de matière radioactive à la suite d'une dégradation thermique des colis. »*

L'Andra souligne qu'au préalable de modifications de conception, les scénarios accidentels impliquant des fûts de déchets bitumés à retenir dans le dimensionnement des installations et la démonstration de sûreté du stockage doivent être précisés. En effet, ces scénarios permettent de définir les dispositions techniques et organisationnelles liées au stockage des fûts de déchets bitumés et ainsi de juger de la suffisance de ces dernières afin de ramener les risques à un niveau acceptable. Cet exercice doit donc permettre d'une part de revisiter les options de conceptions retenues au stade du DOS et, d'autre part, de proposer des dispositions complémentaires permettant :

- De rendre hautement improbable le scénario d'emballlement d'un fût de déchets bitumés en réduisant au maximum le risque d'incendie à proximité et en maîtrisant la température dans l'ambiance des colis de stockage ;
- D'écarter le risque de propagation d'un emballlement entre les colis de stockage, susceptible de conduire à des rejets importants, en considérant que l'emballlement d'un fût de déchets bitumés au sein d'un colis de stockage ne peut pas être physiquement exclu par la démonstration scientifique du comportement des déchets bitumés.

Cette note a donc pour objectif, après un rappel des problématiques soulevées et des enjeux associés au stockage des fûts de déchets bitumés, de proposer des évolutions depuis la publication du dossier d'options de sûreté pour la conception des alvéoles et la gestion des risques associés, adaptées aux scénarios accidentels identifiés.

Elle s'appuie sur les résultats des études menées par le CEA sur la réactivité des fûts de déchets bitumés et leur comportement thermique pendant la phase réversible du stockage, ainsi que sur l'avis de l'IRSN associé [5]. Elle vise également à répondre à l'article 46 du PNGMDR 2016-2019 demandant un rapport d'analyse sur l'impact de ces résultats sur les conditions d'accueil des colis de déchets bitumés dans Cigéo. Si les analyses présentées dans cette note ont fait l'objet d'échanges avec la revue bitumes en cours de déroulement, elles n'en prennent pas en compte les conclusions, non connues à ce stade.

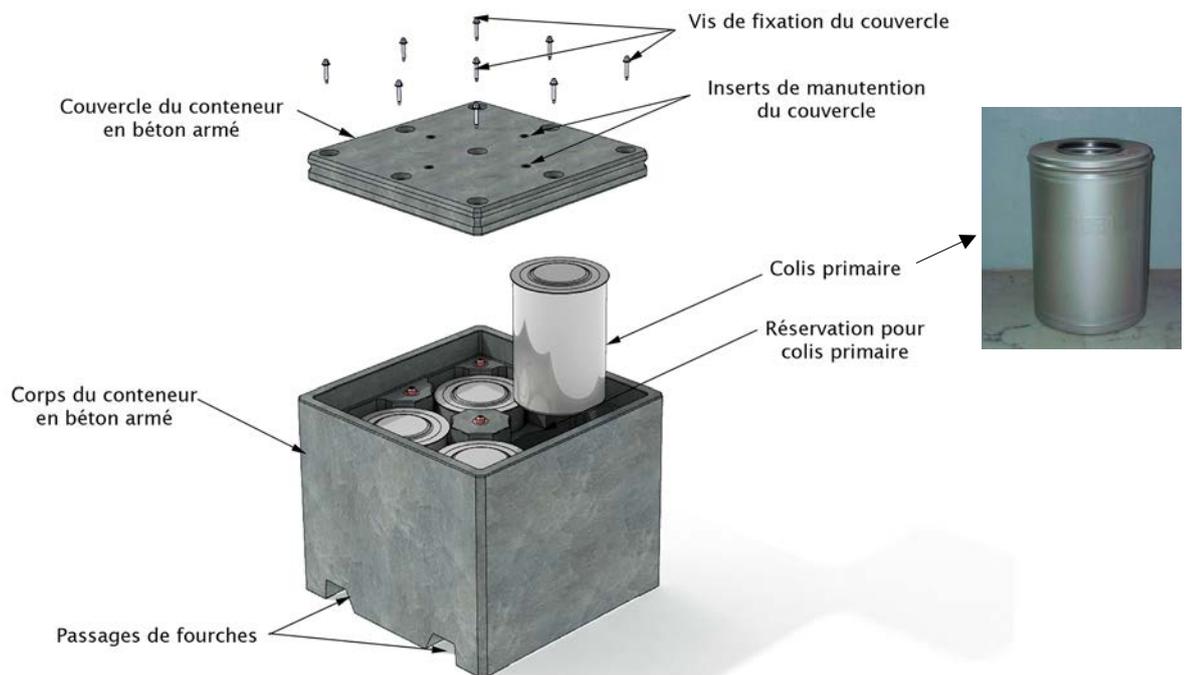
L'analyse restituée est focalisée sur les risques induits par les fûts de déchets bitumés (non traités) en situation de stockage et de la chaîne d'événements pouvant conduire à la propagation d'un emballlement exothermique d'un fût de déchets bitumés postulé au sein d'un colis de stockage à d'autres colis de stockage. Elle s'appuie à ce stade sur une démarche prudente qui ne considère pas de flexibilités ou de

¹ L'article 3.9 de l'arrêté du 7 février 2012 stipule que : « *La démonstration de sûreté nucléaire doit justifier que les accidents susceptibles de conduire à des rejets importants de matières dangereuses ou à des effets dangereux hors du site avec une cinétique qui ne permettrait pas la mise en œuvre à temps des mesures nécessaires de protection des populations sont impossibles physiquement ou, si cette impossibilité physique ne peut être démontrée, que les dispositions mises en œuvre sur ou pour l'installation permettent de rendre ces accidents extrêmement improbables avec un haut degré de confiance.* ».

marges qui pourraient être apportées par une différenciation potentielle (réactivité plus ou moins importante selon les familles de déchets) des fûts de déchets bitumés.

L'option de traitement des fûts déchets bitumés visant à neutraliser leur réactivité chimique et conduisant à un nouvelle typologie de colis de déchets n'est pas analysée dans cette note. Comme pour tous les déchets prévus pour Cigéo dont le conditionnement n'est pas encore fixé, ce nouveau conditionnement devra respecter les spécifications d'acceptation des colis pour Cigéo [2].

Dans la suite du document, la notion de « fût » est associée au colis primaire (fût contenant l'enrobé de déchets bitumés, aussi dénomé FEB), expédié par le producteur et réceptionné sur Cigéo. La notion de « colis de stockage » (colis primaires mis dans un conteneur de stockage Andra) est chaque fois explicitement mentionnée. La composition des colis de stockage des fûts d'enrobé bitumé est illustrée sur la Figure 2.1-1.



CG-01-D-MGE-AMOA-CS0-7000-17-0010-A

Figure 2.1-1 Schéma de principe d'un colis de stockage de déchets bitumés (CS4)

A ce stade, les études réalisées concernent les colis de stockage pouvant contenir jusqu'à 4 fûts de déchets bitumés (fûts du CEA). Ces études seront poursuivies ultérieurement pour vérifier la possibilité de gérer de la même manière les colis de stockage qui pourraient contenir 5 fûts de déchets bitumés (fûts d'Orano).

2. Les enjeux associés au stockage des fûts de déchets bitumés

Ce chapitre synthétise l'ensemble des problématiques soulevées au travers des différentes instructions qui ont été réalisées, que ce soit sur les options de sûreté de Cigéo ou sur les études de comportement des fûts de déchets bitumés menées par le CEA. L'objectif est de définir les enjeux et les objectifs de renforcement de la maîtrise des risques et d'évolution de la conception des alvéoles dédiées à ces fûts de déchets dans Cigéo.

2.1 Problématiques soulevées

La principale problématique soulevée par l'ASN [1] et son appui technique l'IRSN [3] concerne la non-maitrise du risque de perte de confinement de colis de stockage de déchets bitumés présents au niveau de l'alvéole de stockage suite à un incendie ou suite à l'emballement d'un fût d'enrobé bitumé. Cette perte de confinement conduirait à des rejets radioactifs vers l'extérieur de l'installation et donc à des doses au niveau des populations jugées inacceptables selon l'IRSN. Pour le stockage des fûts de déchets bitumés, l'alvéole de stockage (cf. Figure 2.1-1) est jugée la zone la plus sensible de l'installation du fait du nombre important de colis présents et de la difficulté à intervenir afin de limiter les conséquences d'un incendie ou d'un emballement.

L'alvéole de stockage est composé d'une cellule de manutention permettant le déchargement du colis de stockage et d'une partie permettant de stocker les colis de stockage (appelé partie « utile » de l'alvéole par la suite du document). Les deux zones sont séparées (hors phase de transfert) par une porte de radioprotection.

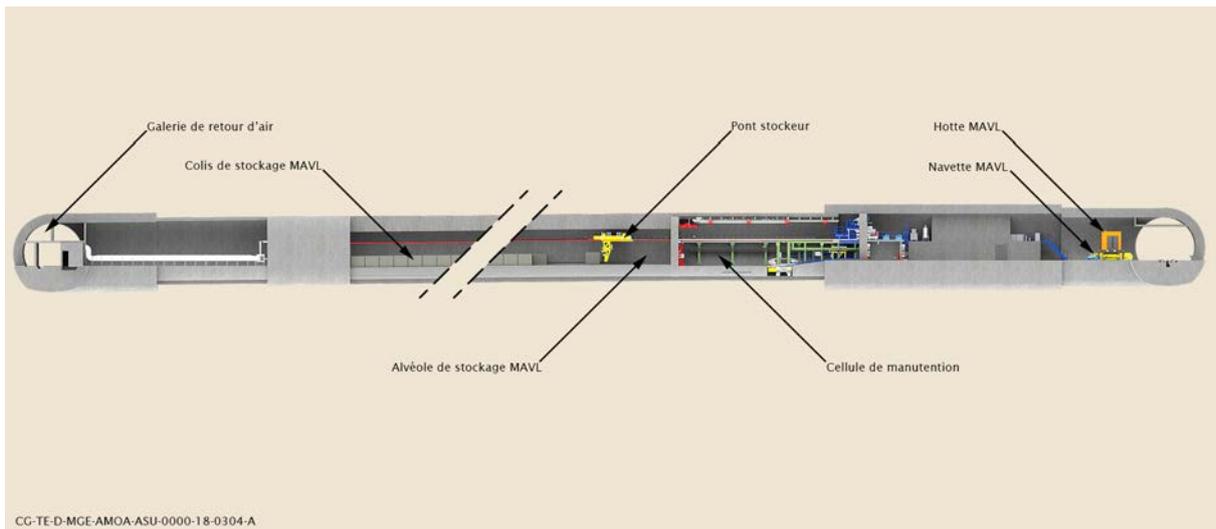


Figure 2.1-1 Illustration d'une alvéole de stockage MAVL

Par ailleurs, une autre problématique concerne la maîtrise des risques associés à la réception des fûts de déchets bitumés dans l'installation nucléaire de surface. L'analyse de risques d'incendie dans l'installation de surface présentée dans les options de sûreté sera complétée pour la DAC, afin de tenir compte de la demande (2018-Avis-D-23)² formulée par l'ASN à l'issue de l'instruction du DOS [1].

Cette note se concentre sur l'enjeu principal du stockage des fûts de déchets bitumés et en particulier sur la maîtrise des risques liés à leur présence dans les alvéoles de stockage de l'installation souterraine.

² Concernant le scénario d'incendie en surface, l'ASN estime nécessaire que « l'Andra retienne pour le dimensionnement de l'installation de surface, sauf justification particulière, un incendie impliquant au moins l'intégralité du contenu du colis primaire le plus pénalisant »

2.2 Les questionnements sur la robustesse des options de conception retenues par l'Andra au stade du Dossier d'option de sûreté

Le scénario d'incendie non maîtrisé dans l'alvéole de stockage conduisant à l'inflammation de fûts de déchets bitumés à l'intérieur d'un colis de stockage et sa propagation aux colis de stockage adjacents avait été considéré exclu par l'Andra dans le cadre du DOS (§3.3 du Volume III) [2]. Sa justification se fondait sur des dispositions de prévention et de lutte contre l'incendie (cf. § 2.2.1) ainsi que sur les marges prises par l'Andra entre les températures atteintes au niveau des colis de déchets bitumés lors des essais de tenue au feu et le critère de température retenu en conception (180 °C) à partir duquel une perte de confinement des substances radioactives était considérée comme pouvant se produire (cf. §.2.2.2).

Au stade du Dossier d'option de sûreté, les dispositions retenues par l'Andra pour « exclure *le risque d'emballement des réactions exothermiques* » ont été jugées insuffisantes par l'ASN et son support technique (cf. § 1).

2.2.1 Les dispositions de prévention et de lutte contre l'incendie du DOS

Dans la conception au stade des options de sûreté, le pont stockeur permettait la mise en place des colis de stockage de déchets bitumés (CS4) sur 3 niveaux et 2 rangées (cf. Figure 2.2-1).

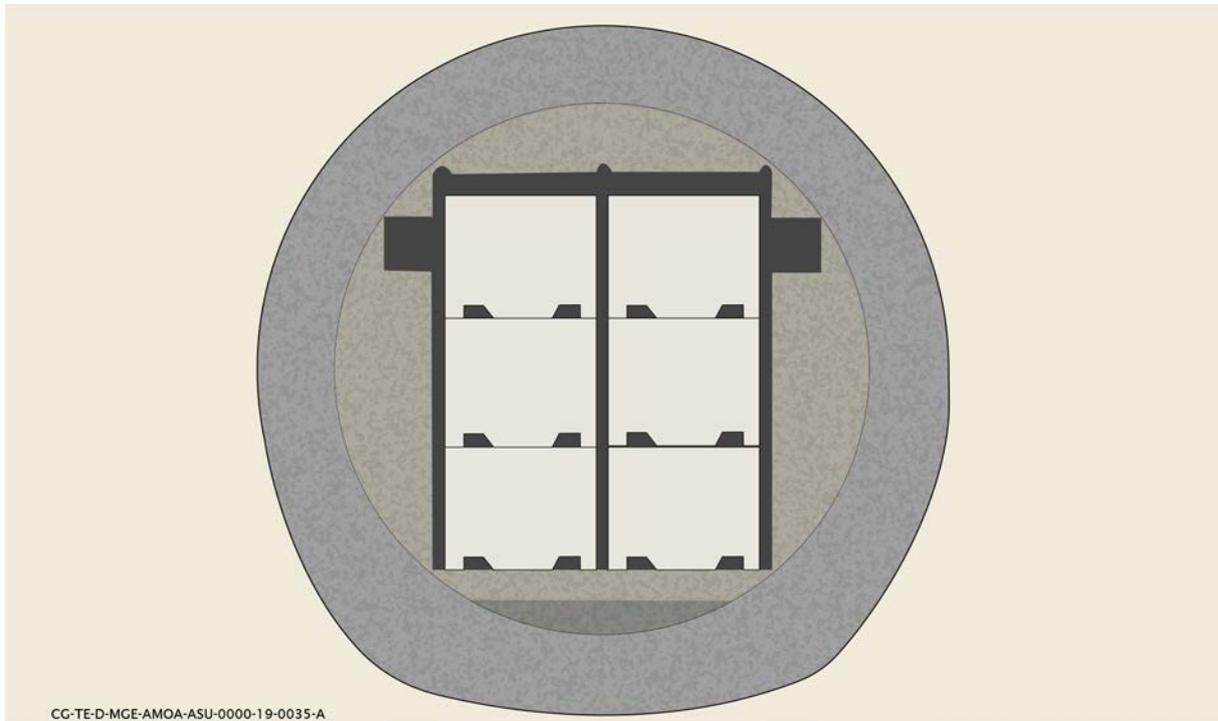


Figure 2.2-1 Remplissage des alvéoles dédiés aux colis de stockage de déchets bitumés au stade des options de sûreté

Dans l'alvéole, la charge calorifique (pont stockeur) est uniquement présente au moment de l'opération de mise en place dans l'alvéole du colis de stockage. Les options de conception retenues vis-à-vis de la maîtrise du risque d'incendie visent à la limitation d'une part de la charge calorifique (choix d'un pont sur rail et alimenté électriquement) et d'autre part du risque de développement et de la propagation du feu au sein du pont stockeur (séparation physique des charges calorifiques embarquées, présence de bac de rétention sous les motorisations). De plus, chaque armoire électrique embarquée sur le pont était équipée d'un système de détection et d'extinction automatique.

Dans l'éventualité ou, malgré les dispositions techniques évoquées ci-dessus, un incendie aurait été susceptible de se développer, la limitation des conséquences du feu sur les fûts de déchets bitumés était considérée comme assurée par l'interposition d'un conteneur de stockage en béton d'une épaisseur importante ayant fait l'objet d'essais de qualification au feu (essais réalisés avec un feu normalisé maximisant l'agression thermique susceptible d'être rencontrée dans la configuration de Cigéo). L'ensemble

de ces dispositions retenu au stade des options de sûreté visait à garantir que la température au niveau des colis ne dépasse pas, avec des marges, le critère de température de 180° C associé à une perte de confinement du fût de déchet bitumés (cf. § 2.2.2).

Concernant la cellule de manutention, la charge calorifique étant plus importante que dans la partie utile par la présence en plus du pont stockeur des équipements associés au process de mise en stockage des colis de stockage, les systèmes de détection et d'extinction embarqués sur les équipements étaient complétés par un système de détection et d'extinction fixe. Ces dispositions visaient à garantir l'absence d'un incendie non maîtrisé (cf § 2.2.2).

2.2.2 Les critères/caractéristiques des scénarios retenus au stade du DOS

Au stade des options de sûreté, les événements redoutés étaient d'une part l'incendie du pont stockeur en alvéole dans sa partie utile et d'autre part un incendie impliquant le pont stockeur et les équipements associés au process de mise en stockage des colis en cellule de manutention.

2.2.2.1 Le critère de température associé à une perte de confinement

Le programme d'étude quadripartite (Andra/Orano/CEA/EDF) [4] mené afin de compléter les connaissances sur le comportement des fûts de déchets bitumés à une élévation de température visait notamment à la justification du critère de 180°C retenu dans les options de sûreté (§1.6.3.4 du Volume I) [2]. Ce critère intégrait une marge de 20°C vis-à-vis de la formation de produits de pyrolyse et de maintenir ainsi la fonction de confinement quelle que soit la durée de sollicitation.

2.2.2.2 La protection thermique des conteneurs de stockage

L'épaisseur (conteneur de 20 cm d'épaisseur retenu pour le stockage des fûts d'enrobés bitumés) et les propriétés thermiques du béton des parois des conteneurs de stockage contenant les colis de déchets bitumés (cf. Figure 2.2-2) ont été renforcées pour retarder et atténuer l'échauffement de l'enrobé bitumé en cas d'incendie se produisant hors du colis de stockage. La protection thermique ainsi constituée permet de ne pas dépasser une température de 100 °C dans l'enrobé bitumé pour un feu normalisé ISO 834 d'une heure.

Les essais feu mis en œuvre dès le démarrage des études de conception cadre de ce programme quadripartite et poursuivis au-delà par l'Andra correspondent à des conditions à l'échelle 1³ et enveloppes d'un incendie dans Cigéo. Ces essais comprennent :

- 6 essais menés dans le cadre du programme quadripartite « bitume » avec des colis de stockage de type B2.1⁴ (épaisseur du conteneur de 10 à 12 cm, cf. Figure 2.2-2) ; 4 essais en four reproduisant un feu normalisé ISO 834 d'une durée d'une heure et 2 essais « feu réel » avec un foyer bois équivalent à une puissance de 1,5 MW pendant 2 heures ;
- **2 essais en four sur des colis de stockage de type CS4, l'un clavé et l'autre non, menés par l'Andra** (conteneur retenu pour le stockage des colis de déchets bitumés de 20 cm d'épaisseur, cf. Figure 2.2-2), reproduisant un feu normalisé ISO 834 d'une durée d'une heure.

³ Un colis de stockage de déchets bitumés est constitué de 4 ou 5 fûts de déchets bitumés dans un conteneur béton.

⁴ Ce type de conteneurs de stockage n'est plus retenu dans les études actuelles de conception de Cigéo. Le conteneur de stockage de référence est le CS4.

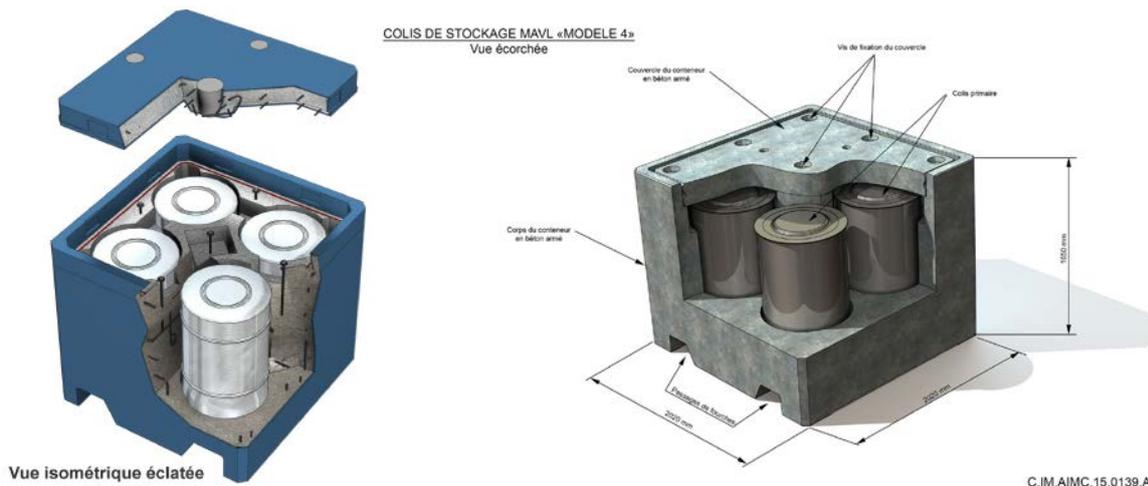


Figure 2.2-2 Coupes des colis de stockage de type B2.1 (à gauche) et CS4 (à droite)

Lors de l’essai en four pour reproduire la courbe ISO 834 1h, des capteurs de température ont été disposés à environ 10 cm des parois du colis de stockage et ont servi à la régulation de la montée en température de l’essai (cf. Tableau 2-1).

Tableau 2-1 Température ambiante autour du colis de stockage CS4 pendant les essais incendie en four

Durée de l'essai (en minutes)	5	10	15	30	45	60
Évolution de la température (en degré Celsius)	556	678	738	842	902	945

Les principaux enseignements de ces essais (Figure 2.2-3 à Figure 2.2-6), notamment sur le CS4, sont les suivants :

- Les fibres de polypropylène ajoutées dans la formulation béton du conteneur de stockage permettent au colis de stockage de conserver une meilleure intégrité ;
- Les colis de stockage sont manutentionnés avec un pont de manutention après essai et transportés avec un chariot élévateur sans observer de dégradation supplémentaire ;
- Concernant les essais feu (ISO 834 1h) réalisés sur des prototypes de colis de stockage de type CS4 :
 - Le premier, réalisé avec un colis de stockage clavé, a permis de montrer que la température en surface des fûts d’enrobé bitumé (pour rappel, le colis primaire) ne dépasse pas la valeur de 100 °C à l’exception de la partie haute des fûts (qui ne contient que de l’air) où la température est restée inférieure à 110 °C. Les niveaux de température atteints dans l’enrobé bitumé (en périphérie) sont restés inférieurs à 75°C à l’exception de quelques capteurs relevant une valeur de l’ordre de 95°C,
 - Pour le deuxième essai, réalisé avec un colis de stockage non clavé, la température maximale atteinte en peau de colis d’enrobé bitumé est de 88°C après 300 minutes soit 5 heures, celle atteinte dans l’enrobé est de 69°C à 26 mm de la paroi après 1400 minutes soit plus de 23 heures.
- La protection thermique est assurée par l’épaisseur du conteneur de stockage ; l’augmentation de l’épaisseur du conteneur de 12 (ancien conteneur) à 20 cm (conteneur actuel retenu) permet une diminution sensible de la température atteinte au niveau de l’enrobé (de l’ordre de -30 %).



Figure 2.2-3 Colis CS4 avant (à gauche) et après l'essai incendie (à droite)



Figure 2.2-4 Colis CS4 après refroidissement



Figure 2.2-5 Manutention et ouverture du colis CS4 après l'essai incendie



Figure 2.2-6 Retrait du colis primaire après l'essai incendie

2.2.3 Les rejets et les conséquences radiologiques liés à la perte de confinement de fûts de déchets bitumés des études d'avant-projet sommaire

Dans le cadre des études d'avant-projet, des évaluations de conséquences radiologiques au niveau de la population ont été réalisées pour un scénario d'incendie en alvéole d'une durée limitée conduisant à une perte totale de confinement de la matrice des fûts de déchets bitumés. Ces évaluations ont été en partie restituées dans le DOS. Elles ont été effectuées pour l'ensemble des familles « bitumes » de l'inventaire de référence de Cigéo et sont présentées ci-après.

2.2.3.1 Les hypothèses

Les hypothèses retenues concernant l'activité mobilisée dans un colis de stockage de déchets bitumés sont :

- L'activité totale de l'ensemble du fût de déchets bitumés contenus dans le conteneur de stockage est considérée comme mobilisable,
- Les facteurs de remise en suspension, fonction du radionucléide, définis dans le guide inter-exploitant sur l'incendie [6] sont appliqués au contenu,
- Le facteur de rétention complémentaire de 10^{-2} du fait de la présence du conteneur de stockage en béton est appliqué⁵.

Concernant la ventilation d'extraction, celle-ci peut être maintenue tant que l'intégrité du dernier niveau de filtration est garantie. En effet, en cas d'incendie, en plus d'une augmentation de température de l'air filtré, les suies produites pourraient venir colmater les filtres THE. Ainsi, dans cette situation, le pilotage de la ventilation prévoit une coupure de l'extraction de l'air de l'alvéole (passage en confinement statique).

Suite au passage en confinement statique, l'augmentation de pression dans l'alvéole pourrait conduire à des fuites au niveau de la façade d'accostage de la cellule de manutention reprises par le système de ventilation des galeries d'accès et de liaison puis rejetées en surface via les puits sans être filtrées. La performance en termes d'étanchéité de la façade d'accostage n'étant pas garantie à un niveau élevé à ce stade de la conception, il a été pris forfaitairement l'hypothèse d'un facteur de rétention limité à 10^{-1} au niveau de la façade d'accostage.

⁵ Cette performance de confinement sera qualifiée par des essais qui sont prévus d'ici la DAC.

Il n'a également pas été retenu de rétention des substances radioactives dans les galeries et les gaines de ventilation.

Les rejets ont été modélisés à une hauteur de 12 m (hauteur en surface des puits de ventilation). Les évaluations de conséquences ont été effectuées pour le groupe de référence le plus exposé, situé à 2 000 m de l'émissaire puits⁶.

2.2.3.2 Les résultats

Les calculs de conséquences radiologiques sur le groupe de référence (cf. supra) associées à un scénario d'incendie mobilisant l'activité radiologique d'un colis de stockage contenant 4 fûts de déchets d'enrobés bitumés sont présentés dans le Tableau 2-2 ci-après.

Tableau 2-2 *Evaluations de conséquences radiologiques sur le public situé à 2000 m, d'un scénario d'incendie d'un colis de stockage de déchets bitumés*

Famille de colis	Conséquences radiologiques (mSv)		
	Court terme (1 jour)	Moyen terme (1 an)	Long terme (50 ans)
CEA-1000	2,15E-04	8,15E-03	1,67E-01
CEA-1010	2,11E-04	7,33E-03	1,50E-01
CEA-1020	1,13E-03	4,89E-02	1,01E+00
COG-020	3,55E-04	6,69E-03	1,04E-01
COG-420	1,93E-04	3,12E-03	6,18E-02

Ces évaluations au stade d'avant-projet visaient à montrer que les enjeux radiologiques liés à la perte de confinement d'un seul colis de stockage sont relativement limités. En effet, la dose au niveau de la population est estimée inférieure à quelques μSv à court terme par colis de stockage de déchets bitumés endommagé par l'incendie.

Ces hypothèses et résultats d'évaluation de rejets et des conséquences radiologiques liés à la perte de confinement de fûts de déchets bitumés des études d'avant-projet sommaire n'entrent toutefois pas en jeu dans la présente réévaluation de maîtrise des risques et principes d'évolution de conception de Cigéo pour la prise en charge des fûts de déchets bitumés.

2.2.4 L'avis de l'ASN et de son appui technique l'IRSN sur la conception de Cigéo au stade du DOS

L'IRSN considère dans son rapport établi à l'issue de l'instruction du DOS (rapport n° 2017-00013 [3]) que « le programme d'étude quadripartite n'est pas de nature, quels que soient les efforts consentis, à apporter la démonstration de l'absence d'emballement issu de la reprise de réactions exothermiques à des températures inférieures à 180°C ». Cette position est basée sur les arguments principaux suivants :

- La difficulté d'obtenir des échantillons et des données représentatives de la variété importante des caractéristiques des colis,
- L'absence de prise en compte de phénomènes de reprise lente de réactions exothermiques qui pourraient conduire à élever progressivement la température jusqu'au seuil d'emballement.

Etant donné ces incertitudes sur le critère de température, l'IRSN estime nécessaire que les dispositions de prévention et de lutte contre l'incendie soient particulièrement robustes.

Au stade du DOS, l'IRSN a ainsi considéré que le système de détection et d'extinction automatique embarqué n'était pas suffisant dans la partie utile de l'alvéole. En cas de défaillance de ce système, la maîtrise d'un incendie dans un délai court ne lui apparaît pas garantie du fait de l'impossibilité d'intervention de personnel dans la partie utile de l'alvéole. Selon l'IRSN, cette durée correspond à l'atteinte d'une température de 50°C au niveau d'un fût dans les simulations conduites par ses soins sur la base d'hypothèses simplificatrices et

⁶ Même groupe de référence que celui retenu dans le cadre du DOS.

pour un conteneur de stockage d'environ 10 cm d'épaisseur⁷. De plus, l'IRSN a estimé qu'en l'absence d'une intervention rapide dans l'alvéole, la propagation d'un colis de stockage à un autre d'une onde thermique susceptible d'être à l'origine d'un emballement de réactions exothermiques au sein d'autres colis, ne peut pas être exclue.

Par ailleurs, en termes de surveillance, l'IRSN a considéré que, suite à un incendie, l'Andra devra vérifier l'état thermique des colis.

Dans son rapport d'avis [3], l'IRSN a donc considéré que « le stockage en l'état ne pourrait être envisagé que si (i) une démonstration convaincante a été apportée que les accidents susceptibles de conduire à des rejets importants sont rendus extrêmement improbables avec un haut niveau de confiance, conformément aux principes de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base et (ii) des dispositions de mitigation sont prévues pour limiter au mieux les rejets en cas d'accident afin qu'ils ne puissent conduire à des conséquences inacceptables pour les populations ».

Suite à l'avis de l'IRSN [3] et sur la base de l'avis du groupe permanent [7], l'ASN a donc formulé la demande [2018-D-10] dans sa lettre [1] reprise dans le §1.

2.3 Les questionnements sur la connaissance sur le comportement des enrobés bitumés

La maîtrise du comportement des enrobés bitumés s'appuie sur des résultats d'études et des essais apportés par les producteurs de déchets, en particulier le CEA. Les connaissances disponibles au moment du DOS ont été utilisées. Les éléments complémentaires suivants ont été apportés depuis le DOS par le CEA :

- Le vieillissement et l'irradiation du bitume ne modifient pas les propriétés thermiques de l'enrobé bitumé, l'augmentation de la viscosité restant faible au regard de la diminution de la viscosité avec une augmentation de la température ;
- Les réactions exothermiques entre les sels co-précipités s'amorcent au-delà d'une température qui dépend de la composition de l'enrobé bitumé. Si cette température seuil est localement dépassée, un auto-échauffement ne peut se produire que si la hausse de température associée est suffisante pour compenser les pertes de chaleur vers les parties plus froides du colis et vers l'extérieur ;
- Jusqu'à une température appliquée à l'extérieur du colis de déchets bitumés de 150°C, les réactions exothermiques ne démarrent pas au sein de l'enrobé ;
- Dans la plage de température de 150 à 200°C, des réactions peuvent avoir lieu mais les énergies et les puissances mesurées se révèlent non significatives pour tous les domaines de composition des colis de déchets bitumés.

Une instruction de ces éléments a été menée en 2018 par l'IRSN à la demande de l'ASN et l'ASND a conduit à l'avis du 24 juillet 2018 [5] suivant : l'IRSN « considère que l'accès à la connaissance détaillée de la composition chimique réelle des fûts d'enrobé bitumé et de leurs hétérogénéités est très complexe et comporte une part d'incertitude irréductible. »

S'agissant de Cigéo, l'IRSN estime dans cet avis que, dans le cadre de la définition des évolutions de conception des alvéoles MA-VL et de la démonstration de la très faible probabilité du risque d'emballement des fûts d'enrobé bitumé en situation d'incendie, « à minima trois conditions sont nécessaires :

- Retenir comme base de conception, une température seuil de 100 °C en peau de colis primaire et une valeur minimale d'énergie de 91 J/g afin de disposer pleinement des marges de sûreté eu égard à la variabilité des contenus des FEB ;
- Démontrer au moyen d'un programme de caractérisation dédié que les FEB sont compris dans les domaines de variabilité de composition retenus⁸ ;
- Prévoir les dispositions qui permettent, après extinction d'un incendie, de surveiller l'état thermique des fûts d'enrobé bitumé.

Par ailleurs, l'absence de possibilité d'exclure le risque d'emballement nécessite de définir et de considérer un scénario d'emballement et de perte de confinement d'un fût d'enrobé bitumé dans un colis de stockage

⁷ L'épaisseur du conteneur de stockage recevant des fûts de déchets bitumés est de 20 cm

⁸ Ceci fait l'objet d'une recommandation de l'IRSN auprès du CEA.

afin d'identifier les dispositions nécessaires pour limiter les conséquences de ce scénario et pour garantir l'absence de propagation de l'emballement aux colis de stockage voisins. »

2.4 Les enjeux de renforcement de la maîtrise des risques et d'évolution de la conception des alvéoles de stockage des déchets bitumés

Au regard des problématiques soulevées dans les options de sûreté de Cigéo et des différentes instructions menées par l'IRSN sur les fûts d'enrobés bitumés et de leur stockage dans Cigéo, l'Andra retient :

- Qu'un scénario d'emballement d'un colis de déchets bitumés ne pourra pas être physiquement exclu ;
- Que ce scénario doit être rendu hautement improbable par des dispositions permettant de réduire au maximum le risque d'incendie à proximité ;
- Que le risque de propagation entre les colis de stockage, suite à l'emballement d'un fût de déchets d'enrobé bitumé, susceptible de conduire à des rejets importants doit être écarté.

Ainsi, ces éléments amènent l'Andra à retenir, pour la maîtrise des risques et le renforcement de la conception de Cigéo, les éléments suivants :

- L'élaboration d'exigences spécifiées sur les fûts de déchets bitumés et d'un programme de surveillance permettant de s'assurer de respect du domaine du plan d'expérience mené sur les fûts par les producteurs ;
- Une base de conception permettant d'assurer le respect d'une température inférieure au critère de 100 °C en peau de fûts d'enrobé bitumé avec un haut degré de confiance et de surveiller leur état thermique après extinction d'un incendie ;
- La prise en compte d'un scénario extrême d'emballement d'un fût d'enrobé bitumé afin de définir les dispositions nécessaires pour limiter les conséquences de ce scénario et garantir l'absence de propagation de l'emballement aux colis de stockage voisins.

3. Les propositions de renforcement de la maîtrise des risques et d'évolution de la conception des alvéoles de stockage des colis de déchets bitumés

La démarche de sûreté suit un processus itératif entre la conception et l'analyse de sûreté tout au long du développement et des phases de vie de l'installation de stockage pour vérifier le niveau de protection des personnes et de l'environnement et l'améliorer en tant que de besoin (notamment au regard des exigences fixées par la réglementation, aux objectifs de protection des intérêts et des meilleures techniques disponibles / pratiques les plus récentes).

Comme toute autre installation nucléaire de base, la démarche de l'Andra repose sur une approche déterministe prudente et basée sur le principe de défense en profondeur. Elle s'appuie également sur le retour d'expérience acquis par les autres installations nucléaires, y compris les entreposages de colis d'enrobés bitumés (cf. annexe 1). Il s'agit donc de mettre en œuvre plusieurs niveaux de défense successifs, destinés à prévenir les incidents et accidents, puis, en cas d'échec de la prévention, à ramener l'installation dans un état sûr et à limiter les conséquences.

Afin de rendre hautement improbable le risque d'emballement des fûts d'enrobés bitumés et d'écarter le risque de propagation d'un emballement postulé entre colis de stockage :

- La protection assurée par le conteneur de stockage est valorisée ;
- La capacité à surveiller/détecter et intervenir au sein de l'alvéole est renforcée.

Pour cela, l'Andra a entrepris des études et des essais complémentaires sur les conteneurs de stockage et propose une évolution du stockage des colis de déchets bitumés dans les alvéoles sur deux niveaux, au lieu de trois, afin de disposer d'un espace permettant notamment de faciliter les interventions (cf. Figure 2.4-1).

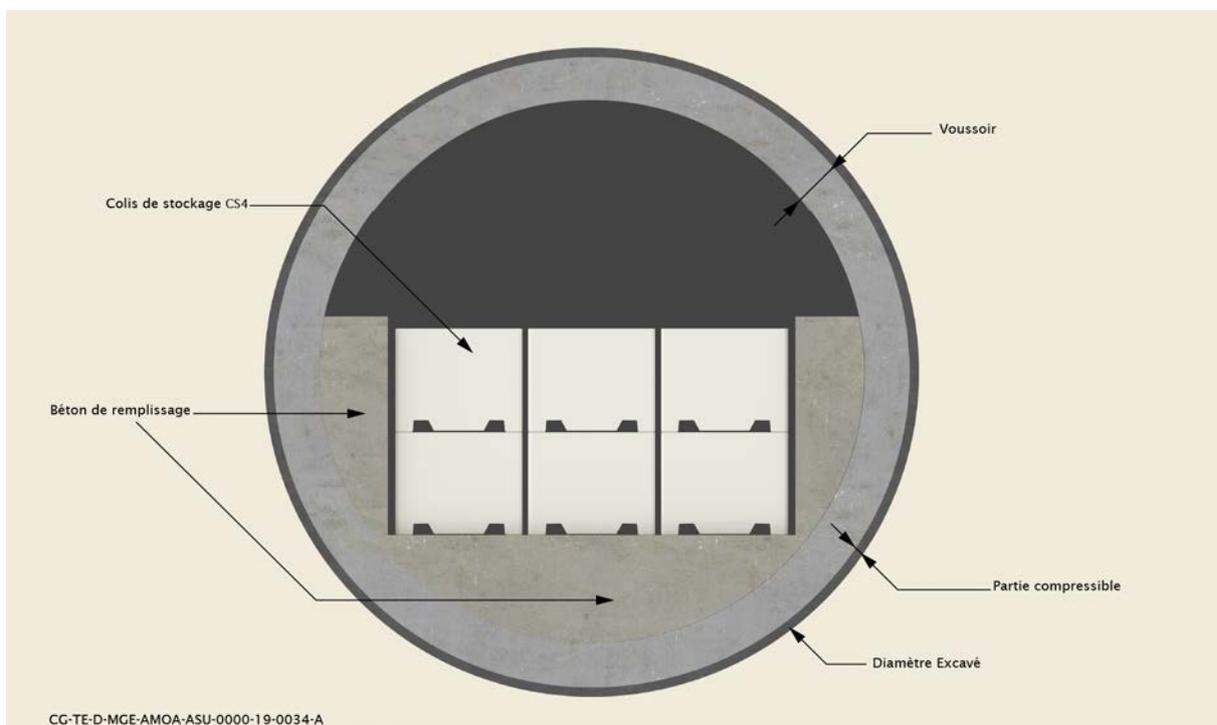


Figure 2.4-1 *Illustration de la proposition de remplissage des alvéoles dédiés aux colis de stockage de déchets bitumés en l'état*

Les propositions d'options techniques associées à la maîtrise des risques relatifs au stockage des fûts de déchets bitumés dans Cigéo sont élaborées à partir des scénarios accidentels :

- Dit « de référence », comprenant les événements internes ainsi que les agressions les plus plausibles (événements pouvant conduire à un échauffement des fûts d'enrobé bitumé dans le cas de la présente étude) qui sont étudiés dans le cadre du domaine de conception afin de déterminer, sur la base d'une démarche conservative, les dispositions permettant d'en limiter les effets ;
- Dit « extrême », comprenant des événements plus sévères (événement d'emballement des réactions exothermiques au sein d'un fût d'enrobé bitumé dans le cas de la présente étude) qui sont étudiés dans le cadre d'un domaine de conception dit « étendu⁹ » afin de renforcer, sur la base d'une démarche adaptée, la capacité de l'installation à y faire face.

L'analyse de ces scénarios de référence et extrême, ainsi que les options de dispositions de maîtrise des risques associées sont présentées respectivement aux § 3.1 et 3.2 ci-après. Les options déjà présentées dans le cadre du dossier d'options de sûreté sont rappelées et les compléments identifiés (en gras dans le texte).

3.1 Scénarios de référence

En cas d'événement, les dispositions techniques et organisationnelles mises en place sur Cigéo visent à garantir que la température atteinte au niveau de l'enrobé bitumé ne conduit pas l'atteinte du critère de 100 °C fixé comme base de conception par l'IRSN [5].

Ces dispositions sont liées d'une part aux caractéristiques de l'incendie et d'autre part aux caractéristiques des colis de stockage (type de déchets, enrobé, fût et conteneur).

Une amélioration des dispositions techniques et organisationnelles permettant de garantir qu'un incendie a des effets limités en termes de puissance et de durée est proposée.

A ce stade, la faisabilité technique, dans des conditions économiques acceptables au regard des enjeux, de l'ensemble de ces dispositions complémentaires est encore à l'étude.

3.1.1 Les événements redoutés

Les causes susceptibles de conduire à une augmentation de température significative au niveau des colis de stockage de déchets bitumés sont principalement les incendies. On distingue :

- Les incendies situés dans le même volume que les colis de stockage et susceptibles de les agresser directement (cellule de manutention et partie utile de l'alvéole) :
 - Incendie du pont stockeur en alvéole,
 - Incendie d'un équipement présent dans la cellule de manutention (en tête d'alvéole),
- Les incendies situés à proximité du volume accueillant les colis de stockage :
 - Incendie dans les galeries de liaison ou d'accès avec l'envoi de fumées ou d'air chaud dans les alvéoles en aval,
 - Incendie au niveau du local « Jonction de retour d'air » susceptible de chauffer des colis de stockage situés en en fond d'alvéole.

Dans une moindre mesure, d'autres causes sont susceptibles de conduire à un échauffement autour des colis de stockage de déchets bitumés (hors incendie) comme un défaut de la ventilation (défaut des batteries froides...). Toutefois, la puissance thermique des fûts de déchets bitumés étant faible (0,16 W par colis primaire pour la famille la plus pénalisante), un défaut de ventilation ne conduit pas à une augmentation de température rapide et significative au niveau des fûts de déchets bitumés. Dans ce cas, l'emballement d'un colis de déchets bitumés est donc exclu.

Enfin, vis-à-vis d'actes de malveillance, les principes de conception et d'exploitation de l'installation souterraine visent à exclure l'apport de charges jusqu'aux alvéoles, compte tenu du nombre important de barrières à franchir dans un délai limité. Dans ce cas, l'emballement d'un colis de déchets bitumés est également exclu.

⁹ Ce domaine est aussi parfois intitulé « domaine d'extension du dimensionnement ».

3.1.2 Les dispositions de maîtrise des risques

3.1.2.1 Incendie du moyen de manutention en alvéole

Les options de conception associées à la gestion d'un départ de feu permettant de ne pas atteindre une température de 100 °C au niveau des fûts de déchets bitumés, répartis sur les différents niveaux de la défense en profondeur, sont les suivantes :

La prévention des accidents

Les dispositions retenues dans les options de sûreté sont reconduites (cf. Figure 3.1-1), à savoir :

- La limitation de la charge calorifique par conception du point stockeur sur rail et alimenté électriquement ;
- La maintenance régulière (électrique, mécanique) de ce point stockeur ramené en cellule de manutention,
- La limitation de la propagation d'un départ de feu à l'ensemble du moyen de manutention, avec une séparation physique des charges calorifiques embarquées, la présence de bacs de rétention sous les motorisations et le choix des matériaux).

La détection et la mise en œuvre des actions permettant d'empêcher un accident ou atteindre un état sûr

Les dispositions retenues dans les options de sûreté sont également reconduites (cf. cf. Figure 3.1-1), à savoir un système de détection et d'extinction embarqué sur chacune des armoires électriques présentes sur le pont stockeur.

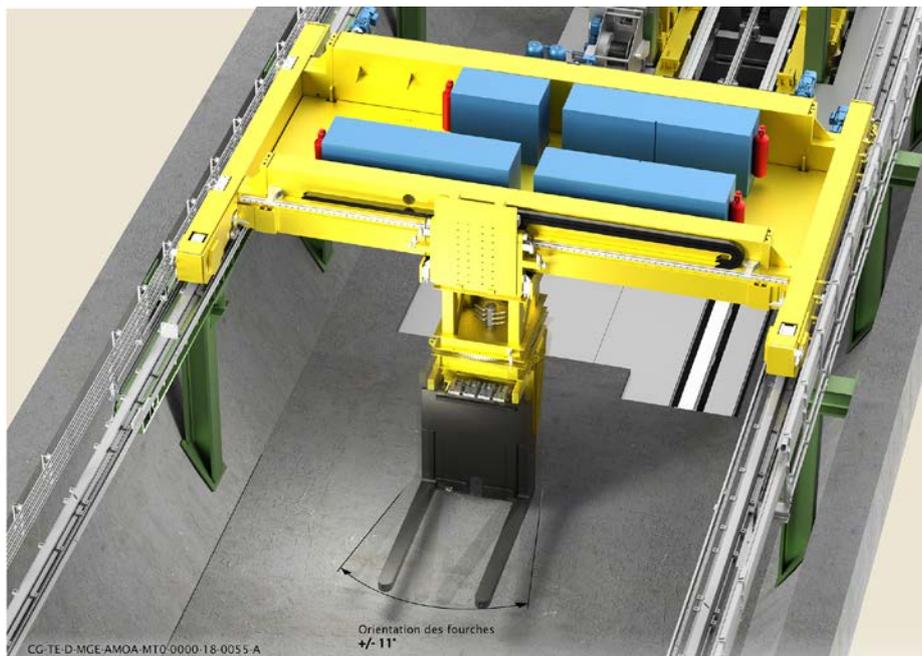


Figure 3.1-1 Pont stockeur utilisé dans les alvéoles MA-VL

La maîtrise des accidents n'ayant pu être évités ; le retour et le maintien à l'état sûr

Afin de maîtriser un incendie n'ayant pas été éteint par le système de détection/extinction embarqué, il est proposé de compléter les dispositions par :

- **Un système complémentaire de détection dans l'alvéole :**

A ce stade une solution de mesure de la température par fibres optiques (cf. Figure 3.1-2), placées à demeure, en voûte et réparties sur toute la longueur de l'alvéole est envisagée. Les fibres optiques fournissent en temps réel l'information d'une élévation anormale de température d'ambiance et de déclencher une alerte de dépassement de seuil.

Cette solution présente l'avantage d'être une technologie discrète (faible encombrement) avec un suivi actif (résolution à l'échelle du mètre, mesures réparties). Elle bénéficie d'un REX industriel pour une mise en place sur de telles longueurs (techniques de mises en place avérés par tirage avec une aiguille ou par soufflage qui en permette la maintenance sans accès à l'alvéole). Vis-à-vis de la tenue au feu de ces fibres optiques, elle bénéficie aussi d'un REX industriel développé pour les tunnels routiers, dans lesquels sont installés des fibres qualifiées. Par ailleurs, grâce aux travaux menés par l'Andra, le durcissement aux radiations est acquis. En effet, l'Andra et ses partenaires universitaires ont qualifié des systèmes de mesure répartie de température (fibres optiques et interrogateur) capables de fonctionner sous 10 Gy/h et jusqu'à 10 MGy. Les fibres de mesure sont spécifiques pour résister à de fortes températures, jusqu'à 800 °C environ, sous réserve de choisir les matériaux constitutifs adéquats. Les fibres optiques sont constituées de silice, leur enrobage standard utilise des plastiques, que l'on peut remplacer par des métaux par exemple.

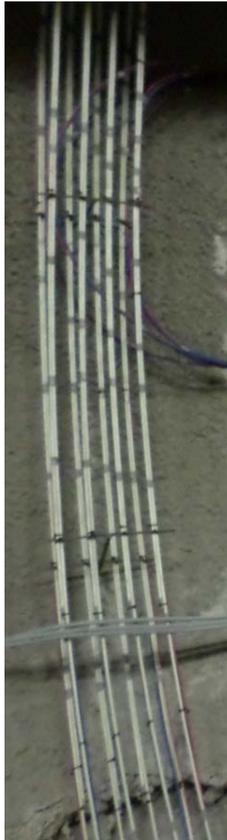


Figure 3.1-2 *Système de mesure par fibres optiques installé au Laboratoire souterrain*

- **Un système complémentaire d'extinction pour maîtriser l'incendie qui n'aurait pu l'être par les systèmes embarqués :**

L'Andra privilégie à ce stade le choix d'un système déployé par robot (cf. Figure 3.1-3) plutôt qu'un système à demeure. En effet, un système d'extinction à demeure, de type réseau déluge fixé au niveau de la voûte et déployé sur toute la longueur de l'alvéole, est écarté au regard :

- ✓ des difficultés pour assurer l'efficacité du système au vu :
 - des quantités importantes de tuyaux à mettre en place pour pouvoir apporter le liquide d'extinction au plus près du départ de feu ;
 - de la durée d'exploitation et des événements éventuels (séisme, incendie...) que pourrait subir le système pendant cette période sans maintenance ni essai ;
- ✓ des difficultés associées à la maintenance d'un tel dispositif qui nécessiterait une intervention humaine au sein de l'alvéole.

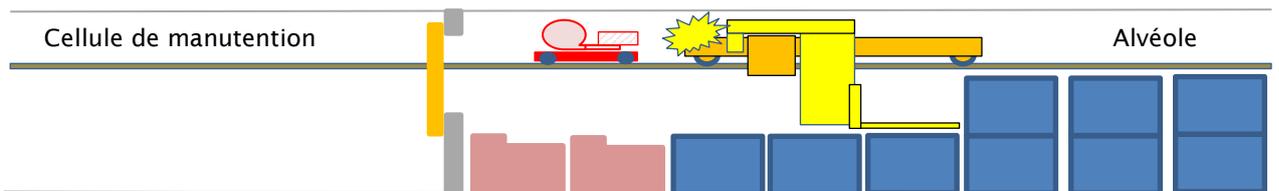


Figure 3.1-3 Illustration de l'intervention d'un robot pompier en alvéole

La définition plus précise de ce système est encore en cours d'étude. Sa localisation, en cellule de manutention ou plus en amont reste également à définir au regard des délais de mise en œuvre.

A l'issue de l'intervention, le maintien à l'état sûr est assuré par :

- Le conteneur de stockage

Le conteneur de stockage CS4 des colis de déchets bitumés retenu au stade des options de sûreté et renforcé par rapport aux autres conteneurs MA-VL pour apporter une protection thermique suffisante est maintenu (pour un feu normalisé maximisant les effets thermiques sur le colis) au regard du critère de température à respecter (cf. Figure 3.1-4).



Figure 3.1-4 Conteneur de stockage CS4

Les essais feu réalisés ont permis de démontrer que la protection thermique assurée par les conteneur de stockage des fûts de déchets bitumés permet de ne pas dépasser une température de 100 °C en peau de fûts pour un feu normalisé ISO 834 d'une heure.

Les évaluations des conséquences thermiques d'un incendie dans les alvéoles de stockage menées dans le cadre des études d'avant-projet détaillées, présentées au § 3.1.3, montrent que la protection thermique du conteneur de stockage reste assurée dans le cadre du scénario de référence (< 100 °C en peau de fût) même sans intervention de lutte contre l'incendie.

Le conteneur de stockage assure donc une protection passive et robuste contre un incendie externe de par sa conception (cf. annexe 2).

- **Un moyen complémentaire permettant de vérifier l'état (visuel, température, contamination) du ou des colis de stockage directement impactés par l'incendie ou non.**

Des robots équipés d'un bras télémanipulateur (cf. Figure 3.1-5), de caméras et d'instruments de mesure (notamment température et radioactivité) peuvent être déployés à l'intérieur de l'alvéole de stockage. Grâce à la liaison radio, ils peuvent être opérés à distance (plusieurs kilomètres ou plus avec des relais).

Les engins développés actuellement peuvent résister à de fortes doses de radioactivité. Ils sont entourés d'un blindage et leur électronique est « durcie », au sens où elle est conçue pour résister à des radiations.

Ils ont également de bonnes capacités de franchissement et peuvent progresser dans un environnement difficile.



Figure 3.1-5 Illustration d'un robot d'intervention en milieu irradiant

- Un système de manutention complémentaire dédié au retrait d'un ou plusieurs colis de stockage, impacté(s) ou non par l'incendie

La possibilité de retirer un ou plusieurs colis de stockage, impacté(s) ou non par l'incendie, est proposée afin d'apporter une réponse adaptée au disagnostoc qui serait fait.

Après extinction de l'incendie, le pont stockeur peut être hors service. Son rapatriement dans la cellule de manutention via un système extérieur de type « lièvres » est déjà prévu (cf. DOS [2]).

L'Andra a analysé d'autres moyens de manutention de retrait de colis de façon, de manière cohérente avec un besoin identifié au travers de l'analyse du scénario extrême d'emballement d'un fût de déchets bitumés (cf § 3.2.2), afin de pouvoir plus rapidement retirer un colis où qu'il soit au sein de l'alvéole.

Deux solutions sont encore à l'étude :

- Un pont permettant une manutention par le dessus (système de type Artéon) (cf. Figure 3.1-6) ;

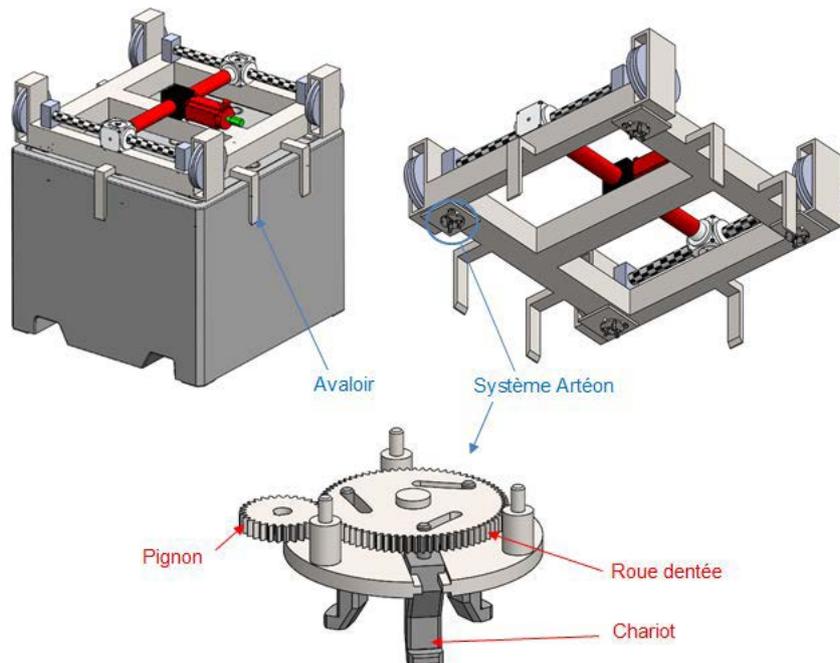


Figure 3.1-6 Principe du système de manutention de retrait de type Artéon

- Un pont permettant une manutention par le dessous à partir d'un palonnier à fourches rotatives (cf. Figure 3.1-7).

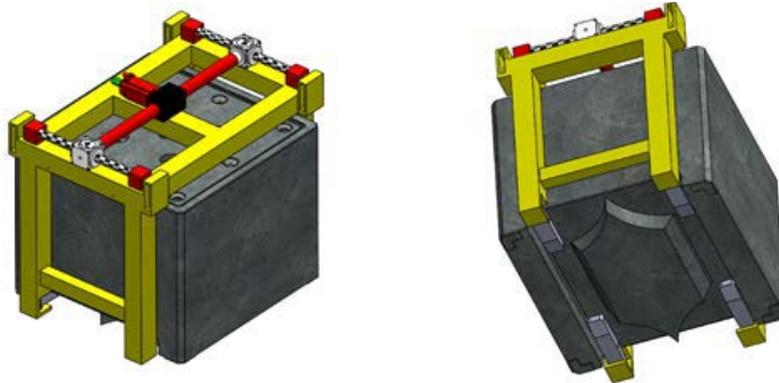


Figure 3.1-7 Principe du système de manutention de retrait avec palonnier à fourches rotatives

Comme envisagé dans les options de sûreté, une fois le colis ramené en cellule de manutention, les dispositions spécifiques pour fixer une éventuelle contamination sont mises en œuvre si besoin avant tout chargement en hotte de transfert.

La définition de ces systèmes complémentaires n'est pas encore figée à ce stade. Il s'agit notamment de choisir des systèmes éprouvés ou pouvant être fonctionnels en milieu irradiant. L'implantation de ces systèmes complémentaires reste également à définir plus précisément.

La limitation des conséquences à l'homme et à l'environnement

Les dispositions proposées dans le cadre des options de sûreté sont reconduites, à savoir :

- Un système d'extraction de l'alvéole équipé de filtres THE dans un local dédié, en aval de l'alvéole (cf. Figure 3.1-8) ;
- Un système de confinement de l'alvéole avec des clapets coupe-feu en tête et en sortie de l'alvéole, se déclenchant automatiquement sur détection de température en amont des filtres, de fumées en aval des filtres ou de colmatage (notamment pour la gaine de retour d'air, ou pouvant également être manœuvrés manuellement suite à déclenchement d'une alarme.

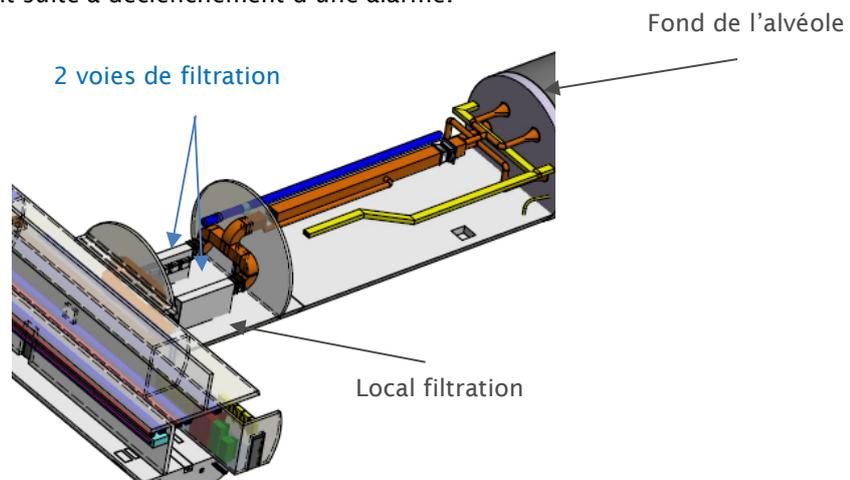


Figure 3.1-8 Système de filtration des alvéoles MA-VL

Lorsqu'un des critères (température, fumées...) est atteint, le clapet coupe feu (CCF) situé en amont des filtres est fermé (protection des filtres THE) et l'alvéole mise en confinement statique. Et pour rappel, en

fond d'alvéole sont prévus deux caissons de filtration, l'un étant en secours de l'autre (avec changement des filtres à intervalles réguliers lors d'opérations de maintenance).

3.1.2.2 Incendie dans la cellule de manutention

Les options de conception associées à la gestion d'un départ de feu sur un équipement de la cellule de manutention permettant de ne pas atteindre le critère une température au niveau des colis de déchets bitumés, répartis sur les différents niveaux de la défense en profondeur, sont les suivants :

La prévention des accidents

Les dispositions proposées dans le cadre des options de sûreté sont reconduites (cf. Figure 3.1-9), à savoir :

- La limitation de la charge calorifique des équipements présents dans la cellule de manutention et du moyen de manutention des colis en alvéole ;
- La maintenance régulière des équipements (électrique, mécanique) ;
- La limitation de la propagation d'un départ de feu à l'ensemble du moyen de manutention (séparation physique des charges calorifiques embarquées, présence de bac de rétention sous les motorisations, choix des matériaux).

La détection et la mise en œuvre des actions permettant d'empêcher un accident ou atteindre un état sûr

Les dispositions proposées dans le cadre des options de sûreté sont également reconduites (cf. Figure 3.1-9), à savoir un système de détection et d'extinction embarqué sur les gros équipements présents en cellule.

La maîtrise des accidents n'ayant pu être évités et ramener et maintenir à l'état sûr

Afin de maîtriser un incendie n'ayant pas été éteint par les systèmes de détection/extinction embarqués, des systèmes fixes de détection et d'extinction, présentés dans le DOS, sont présents dans la cellule de manutention (cf. Figure 3.1-9).

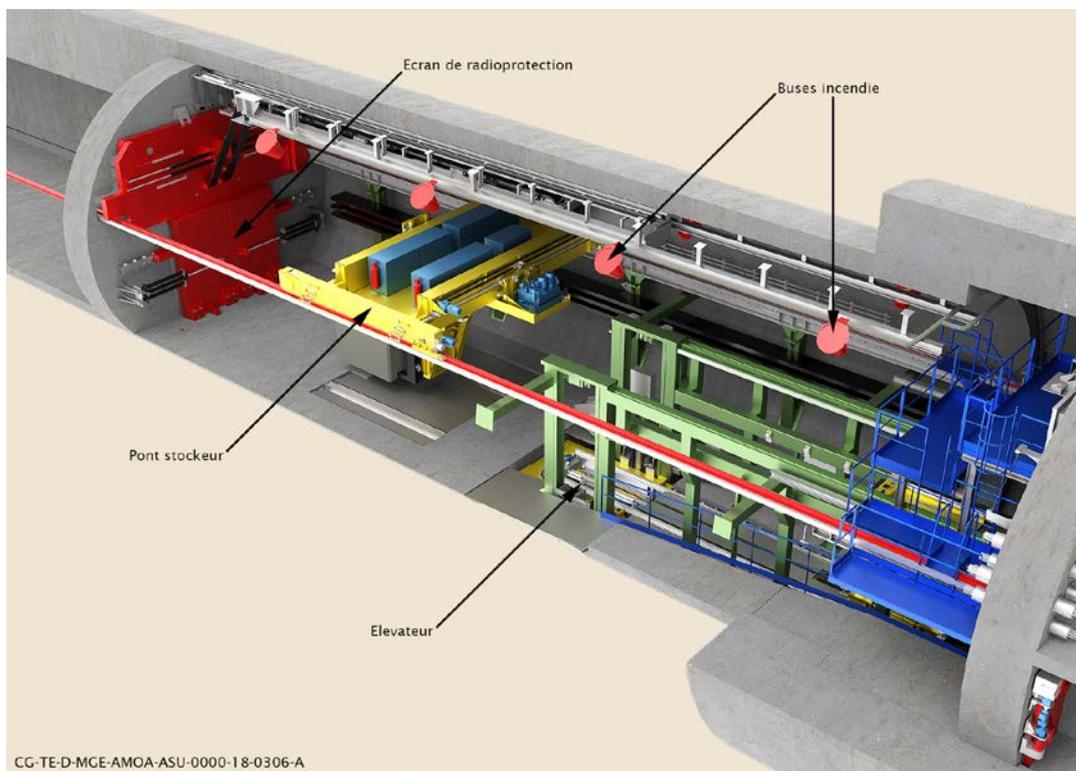


Figure 3.1-9

Cellule de manutention MA-VL

La limitation des conséquences à l'homme et à l'environnement

Les dispositions proposées dans le cadre du DOS sont reconduites, à savoir un système de filtration THE en sortie d'air de l'alvéole et clapets-coupe-feu en tête et en sortie d'air de l'alvéole.

3.1.2.3 Incendie en galerie d'accès/liaison

Les options de conception associées à la gestion d'un départ de feu sur un équipement de la galerie d'accès ou de liaison permettant de ne pas atteindre une température de 100 °C au niveau des fûts de déchets bitumés stockés en alvéole ou potentiellement présents en cellule de manutention, répartis sur les différents niveaux de la défense en profondeur, sont celles proposées dans le cadre du DOS, à savoir :

La prévention

- La limitation de la charge calorifique des équipements fixes et/ou mobiles en galerie (engins sur rail, choix des matériaux) ;
- La maintenance régulière des équipements (électrique, mécanique) ;
- La limitation de la propagation de l'incendie par la mise en place de séparations physiques et de bacs de rétention (cf. Figure 3.1-10).



Figure 3.1-10 Chariot de transfert fond chargé d'une hotte MA-VL

La détection et la mise en œuvre des actions permettant d'empêcher un accident ou atteindre un état sûr

- Les systèmes de détection et d'extinction embarqués sur les engins de transfert ;
- Le système fixe de détection en galerie, présence d'extincteurs répartis à intervalle régulier ;

La maîtrise des accidents n'ayant pu être évités

- La présence de portes de compartimentage dans les galeries pour limiter la propagation du feu ;
- L'intervention des secours pour circonscrire l'incendie ; présence d'un réseau incendie maillé.

La limitation des conséquences à l'Homme et à l'environnement

- Le dispositif d'isolement de l'alvéole (clapets coupe-feu) et la performance au feu de la façade d'accostage (secteur feu 2 heures) pour limiter les effets de l'incendie sur la cellule de manutention et l'alvéole (cf. Figure 3.1-11).

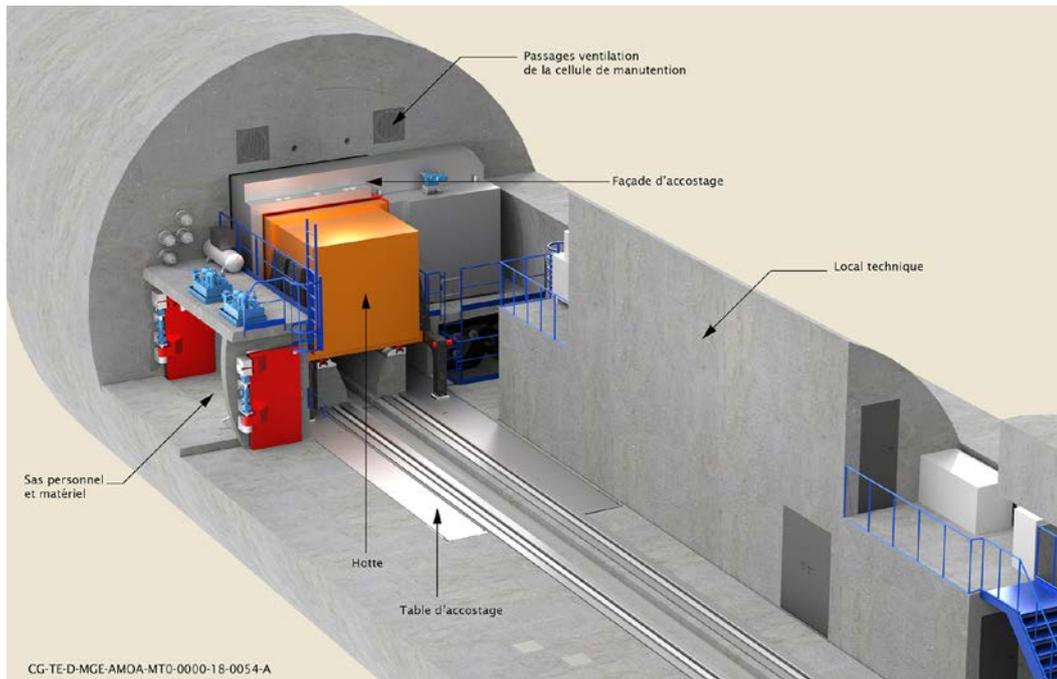


Figure 3.1-11 Galerie d'accès aux alvéoles MA-VL

3.1.2.4 Incendie dans le local de filtration

Les options de conception associées à la gestion d'un départ de feu dans le local filtration permettant de ne pas atteindre une température de 100 °C au niveau des fûts de déchets bitumés stockés en alvéole ou, répartis sur les différents niveaux de la défense en profondeur, sont celles proposées dans le cadre du DOS, à savoir :

La prévention

- La très faible charge calorifique présente ;
- La maintenance régulière assurée.

La détection et la mise en œuvre des actions permettant d'empêcher un accident

- Le système fixe de détection incendie ;
- L'intervention des secours pour circonscrire un départ de feu.

La maîtrise des accidents n'ayant pu être évités

- Le dispositif d'isolement de l'alvéole (clapet-coupe-feu).

Le local de filtration est situé à une distance significative du mur de fond d'alvéole car un local intermédiaire, où chemine uniquement la gaine de ventilation de l'alvéole, se situe entre les deux. De plus, le mur de fond d'alvéole, de par son épaisseur, assure une protection thermique par rapport au risque d'agression des colis (cf. Figure 3.1-12).

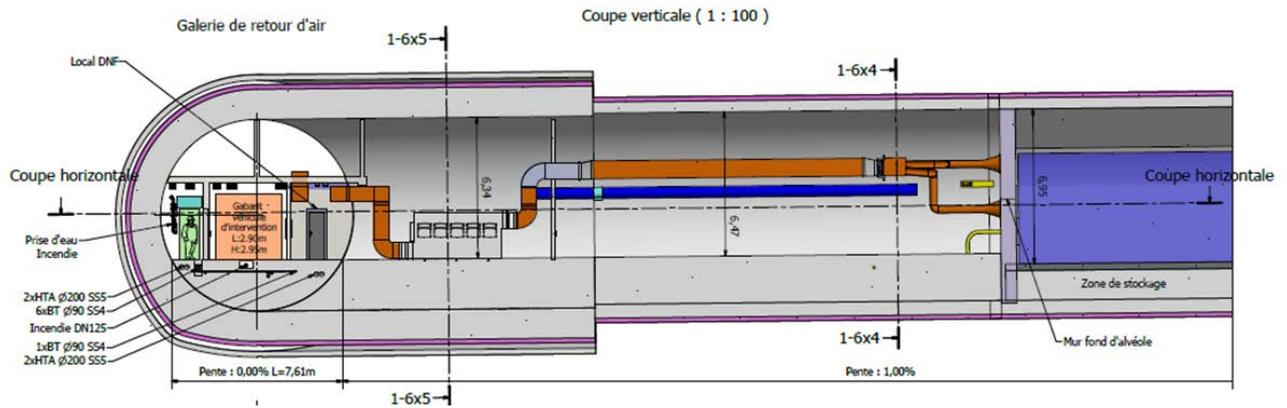


Figure 3.1-12 Illustration du système d'extraction de l'alvéole MA-VL

3.1.3 Les conséquences thermiques d'un incendie

Dans le cadre de la phase d'avant-projet détaillée (APD) de Cigéo, l'Andra mène une étude de risque incendie au niveau de l'installation souterraine. Différents scénarios d'incendie au niveau de la cellule de manutention et de l'alvéole MA-VL sont analysés :

- En cellule de manutention : incendie du pont stockeur et des équipements à proximité (table de réception et élévateur) prenant en compte différentes positions de l'écran de radioprotection (*séparant la cellule de manutention de la partie utile de l'alvéole*),
- En partie utile de l'alvéole : incendie du pont stockeur dans différentes configurations de remplissage de l'alvéole (différentes positions possibles du pont stockeur par rapport aux colis de stockage déjà stockés ou en cours de stockage).

La démarche retenue est d'identifier les scénarios d'incendie susceptibles d'apporter l'élévation de température la plus grande au sein du colis de stockage, puis d'évaluer celle-ci pour ces scénarios. Pour cela, les étapes suivantes sont réalisées :

- Construction des courbes de débit calorifique à partir de la charge calorifique des équipements issue de la conception de fin d'APD (ces charges calorifiques sont majorées de 20 % pour disposer d'une marge),
- Modélisation de l'agression thermique des colis par l'incendie en utilisant le code « FDS » pour identifier les flux thermiques reçus sur chacune des faces du colis,
- Modélisation de l'échauffement du colis en utilisant le code « ANSYS ».

Dans la cellule de manutention sont présents les équipements suivants :

- La table de réception,
- L'élévateur,
- L'écran de radioprotection,
- Les deux treuils de secours secondaires (« lièvres »),
- Le pont stockeur.

Le Tableau 3-1 présente les charges calorifiques mises en jeu pour l'évaluation.

Tableau 3-1 Charges calorifiques des équipements de la cellule de manutention

Equipements	Charge calorifique (MJ)
Table de réception	1 450
Elévateur	2 250
Ecran de radioprotection	2 350
Pont stockeur	3 700
2 treuils de secours secondaires (« lièvres pousseurs »)	1 350
Total	11 100

Sur la base de ces charges calorifiques, plusieurs scénarios d'incendie sont identifiés : des scénarios courts, de forte intensité car impliquant simultanément plusieurs équipements ; des scénarios longs, de plus faible intensité, car impliquant successivement plusieurs équipements. Parmi ces scénarios, deux scénarios enveloppes sont retenus :

- Un scénario enveloppe dit « court » dans lequel tous les équipements prennent simultanément feu,
- Un scénario enveloppe dit « long » dans lequel tous les équipements prennent successivement feu, chaque équipement prenant feu lorsque l'équipement précédent atteint son plateau sur la courbe de débit calorifique.

Les courbes de débit calorifique sont construites sans considérer la mise en œuvre des moyens d'intervention et de lutte contre l'incendie.

Scénario d'incendie court

Le scénario court traite de l'incendie simultané de tous les équipements (cf. Figure 3.1-13 et Figure 3.1-14).

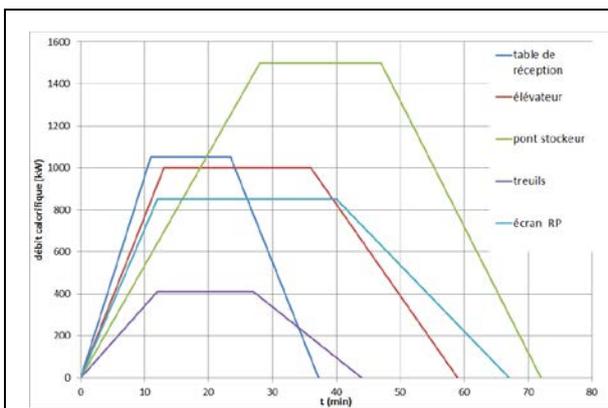


Figure 3.1-13 Incendie simultané des équipements

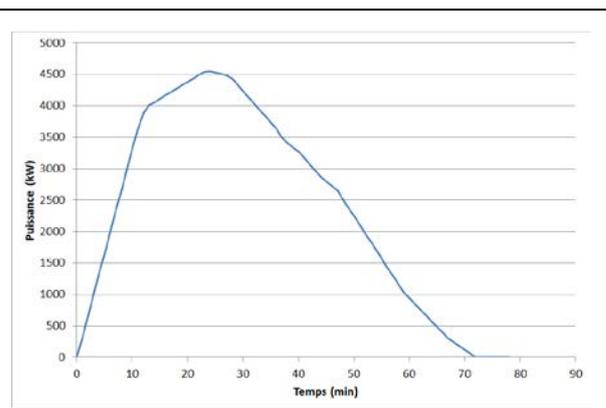


Figure 3.1-14 Courbe sommant la contribution de chaque équipement

Scénario d'incendie long

Le scénario long traite de l'incendie successif de chaque équipement (cf. Figure 3.1-15 et Figure 3.1-16).

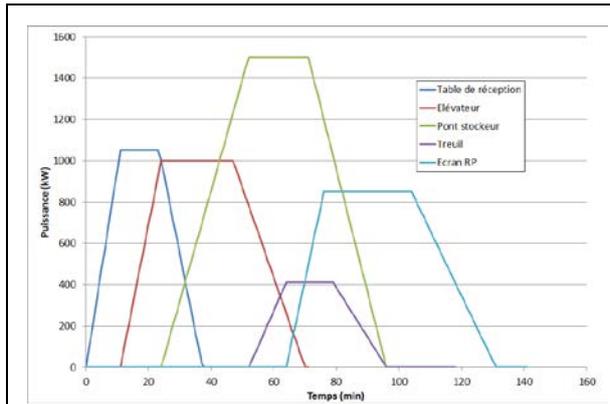


Figure 3.1-15 Incendie successif des équipements

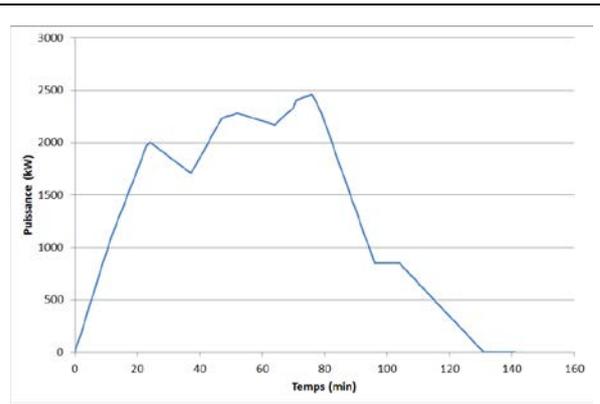


Figure 3.1-16 Courbe sommant la contribution de chaque équipement

Comparaison des deux scénarios d'incendie

Les courbes de débit calorifique des deux scénarios sont représentées sur la Figure 3.1-17. Les deux scénarios consomment la même énergie, c'est-à-dire que l'aire sous chaque courbe est la même. En revanche, la puissance et la durée diffèrent : le scénario court est près de deux fois plus intense que le scénario long qui est, lui, près de deux fois plus long.

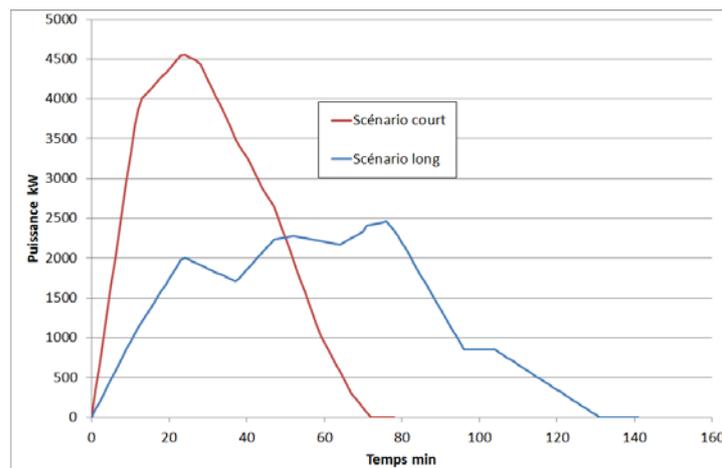


Figure 3.1-17 Comparaison scénario court et scénario long

Modélisation de l'agression thermique des colis par l'incendie

Le code « FDS » est utilisé pour modéliser l'incendie. Il permet de fournir différents indicateurs. Celui retenu doit être injecté en surface d'un solide pour réaliser un calcul thermique permettant d'en déterminer la température au cœur. Il s'agit du Gauge Heat Flux (GHF) qui simule la mesure d'un flux à l'aide d'un capteur refroidi à l'eau maintenue à 20°C. C'est la valeur maximale calculée sur chaque face du colis qui est utilisée pour modéliser le transfert thermique au sein du colis.

Dans la cellule de manutention, le colis peut être positionné à différents endroits. La modélisation est réalisée pour les trois positions suivantes :

- Sur la table de réception ;
- Sur l'élévateur ;
- Sur les fourches du pont stockeur, en position haute.

L'écran de radioprotection est supposé ouvert pour ne pas limiter l'incendie par la quantité d'oxygène (dans le cas où l'écran est fermé, l'incendie est sous-oxygéné et s'éteint en 20 minutes environ).

Des courbes enveloppes du GHF_{max} pour chaque face du colis sont déterminées pour chaque position du colis. Les courbes résultantes pour les scénarios « court » et « long » qui sont utilisées pour modéliser l'échauffement du colis, sont présentées dans les Figure 3.1-18 et Figure 3.1-19. Les valeurs sont communiquées pour chacune des faces (X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-) du colis comme indiqué sur le repère de la Figure 3.1-21.

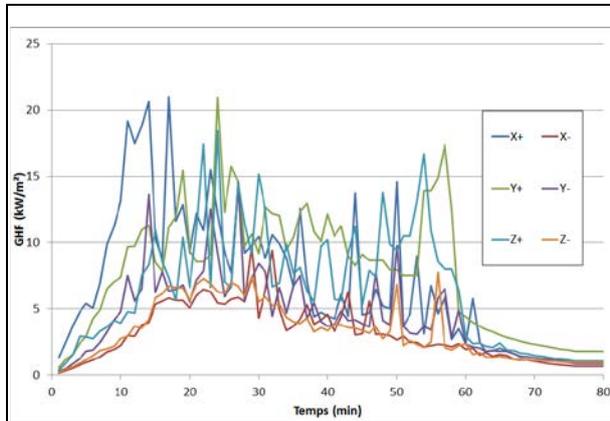


Figure 3.1-18 Courbes enveloppes du scénario court

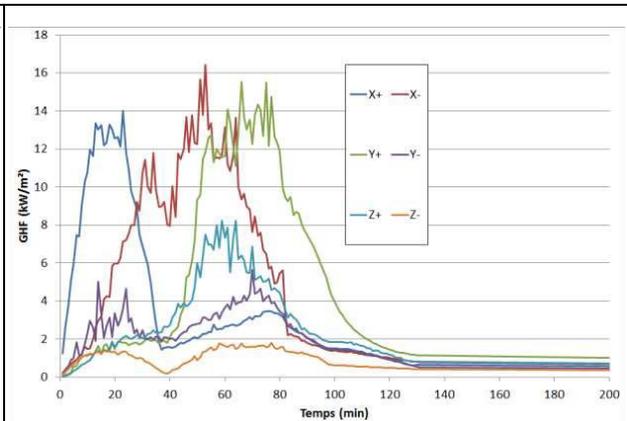


Figure 3.1-19 Courbes enveloppes du scénario long

Les valeurs maximales des flux thermiques reçus par les différentes faces des colis sont inférieures aux valeurs conduisant à une dégradation importante du béton et ne remettent pas en cause la tenue du béton du colis de stockage.

Dans la partie utile de l'alvéole, seul l'incendie du pont stockeur est considéré. Les courbes de flux thermique reçu par les nappes de colis déjà stockés dans l'alvéole sont inférieures aux courbes de flux reçu par le colis présent sur le pont stockeur. Des courbes enveloppes du GHF_{max} pour chaque face du colis sont déterminées pour le colis en alvéole (cf. Figure 3.1-20).

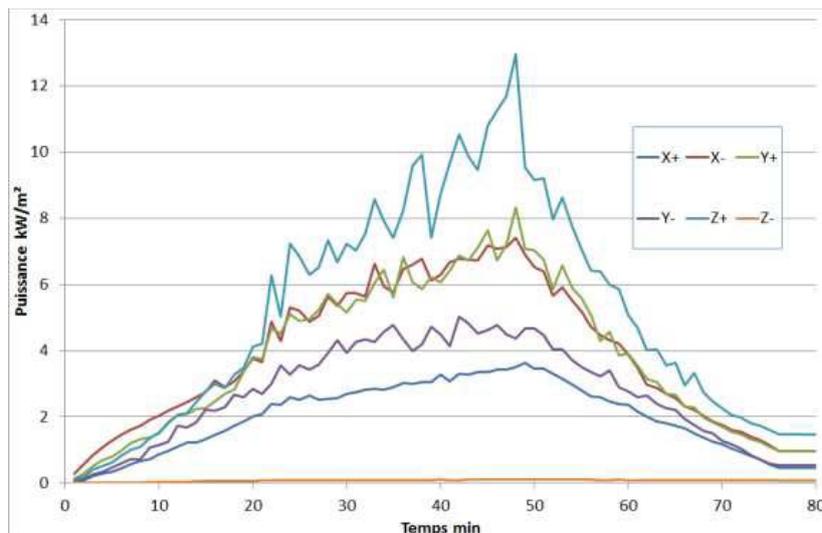


Figure 3.1-20 Courbes enveloppes du scénario d'incendie en alvéole

Le flux issu de l'incendie du pont stockeur en alvéole est inférieur aux flux considérés dans les scénarios court et long.

Modélisation de l'échauffement du colis

Les calculs thermiques sont réalisés en 3D afin de prendre en compte les différences de flux sur l'ensemble des faces du colis. La courbe de feu représente la montée en température lors de l'incendie ainsi que le refroidissement jusqu'à la température ambiante. Le temps de calcul est suffisamment long pour permettre à la température du colis de commencer sa diminution.

Le GHF_{max} enveloppe par face est appliqué à toute la face. A titre d'exemple, pour le cas de l'alvéole, le colis béton est traité en Figure 3.1-21 à l'aide des courbes de la Figure 3.1-20.

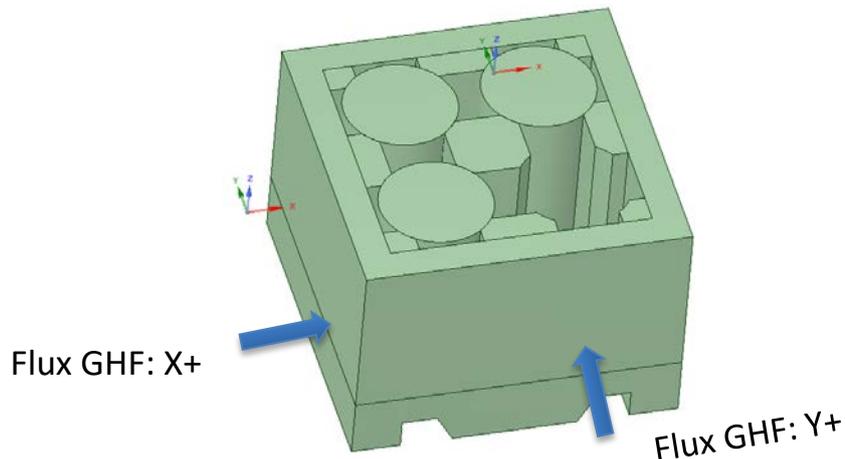


Figure 3.1-21

Exemple mise en place des flux thermiques sur un CS.

Les résultats des calculs thermiques sont présentés dans le Tableau 3-2 et illustrés, pour le cas enveloppe, dans la Figure 3.1-22.

Tableau 3-2 Résultats de l'échauffement des colis pour les trois scénarios d'incendie modélisés

Scénarios	Température maximale sur les faces extérieures du colis de stockage	Temps d'atteinte de la température maximale sur les faces extérieures du le colis de stockage	Température maximale dans le fût de déchets bitumés	Temps d'atteinte de la température maximale dans le fût de déchets bitumés
Incendie « court » en cellule de manutention	392°C	24 min	65°C	9 h 51 min
Incendie « long » en cellule de manutention	351°C	66 min	57°C	10 h
Incendie du pont stockeur en alvéole	310°C	48 min	52°C	10 h 18 min

Ces résultats montrent que l'impact thermique sur le colis de stockage des scénarios d'incendie envisagés dans l'alvéole (cellule de manutention et partie utile) est bien inférieur à celui subi par le colis de stockage en conditions d'essais avec le feu normalisé ISO 834 d'une heure (cf. § 2.2.2.2).

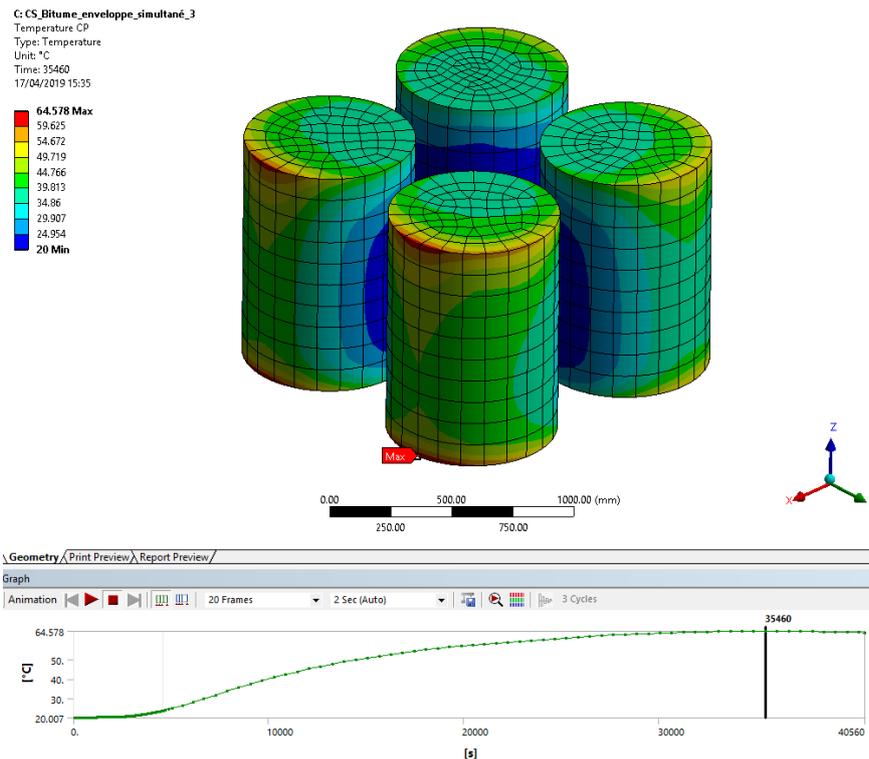


Figure 3.1-22 Température maximale dans le fût de déchets bitumés pour le scénario d'incendie « court » ; 65°C, 9 h 51 min après l'incendie

En complément des scénarios d'incendie dans l'alvéole et la cellule de manutention, des incendies qui se développeraient à proximité mais à l'extérieur de la cellule de manutention et de l'alvéole sont envisagés :

- Incendie en galerie de liaison d'un chariot de transfert avec la hotte,
- Incendie en galerie d'accès d'une navette de transfert avec la hotte,
- Incendie dans le local de filtration.

Au regard des dispositions existantes au niveau de la cellule de manutention et de la partie utile de l'alvéole qui constituent un secteur de feu et de l'intensité et la durée des incendies potentiels à proximité (les scénarios d'incendie sont inférieurs ou équivalents à ceux présentés dans la cellule de manutention), une élévation de température rapide et significative au niveau des colis de déchets bitumés présents dans l'alvéole ne peut être supérieure à celle présentée dans le Tableau 3-2. De même, un incendie se développant dans le local de filtration n'est pas susceptible de conduire à une montée de température au niveau des colis de déchets bitumés. Dans ce cas, l'emballage d'un colis de déchets bitumés est exclu.

3.2 Scénario extrême

Un accident d'emballage d'un colis de déchets bitumés dans la configuration de stockage de Cigéo revêt un caractère conventionnel. Des hypothèses sont émises sur les conséquences physiques des processus associées.

Outre les effets thermiques liés à la réactivité chimique et à l'inflammation potentielle de l'enrobé, des effets de montée en pression du colis sont pris en compte dans ce scénario extrême.

3.2.1 L'emballage d'un fût de déchets bitumés

Les seuls éléments disponibles sur l'emballage de fûts de déchets bitumés sont issus du retour d'expérience d'événements mettant en jeu des fûts d'enrobés bitumés en phase de refroidissement après coulée, même s'ils ne sont pas directement associables aux conditions dans lesquelles ces fûts seront

réceptionnés sur Cigéo (cf. annexe 1). En effet, il n'existe pas de description phénoménologique de comportement d'un fût de déchets bitumés soumis à un échauffement produisant un emballement.

La démarche développée pour aborder ce scénario est une démarche de sûreté : elle consiste à postuler une réaction exothermique sans cause connue (dimension conservative), puis à caractériser les différents phénomènes qui pourraient se produire à la suite de ce déclenchement, en recherchant une description plausible mais pas excessivement pénalisante de ces phénomènes. Le caractère conservatif du scénario est assuré par le déclenchement sans cause connue et par l'analyse découplée de différents phénomènes envisageables.

Le phénomène de relâchement de gaz de radiolyse en cas d'élévation de la température des enrobés ainsi que ce retour d'expérience disponible conduit l'Andra à envisager une montée en pression importante au sein du colis de stockage, en sus d'une montée en température importante au sein d'un fût et d'une éventuelle inflammation de gaz de pyrolyse voire de bitume dans ce scénario postulé.

Les phénomènes identifiés au cours de ce scénario extrême sont les suivants :

- Autour de 80 - 110 °C, la viscosité du bitume a suffisamment diminué pour que les bulles d'hydrogène produites par la radiolyse au sein de la matrice migrent vers la surface de l'enrobé ;
- Autour de 200 °C, l'emballement des réactions exothermiques entraîne une augmentation de la température de la matrice et sa pyrolyse ;
- Autour de 300 °C, le bitume peut s'enflammer en présence d'oxygène.

Pour définir ce scénario extrême, les questions soulevées et auxquelles l'Andra tente d'apporter des réponses, sont :

- Le dégagement d'hydrogène ou de gaz est-il susceptible d'entraîner une surpression, voire une explosion au sein du colis, et potentiellement l'éjection du couvercle du conteneur qui pèse autour de 2 tonnes ?
- Dans quelles conditions la pyrolyse ou l'inflammation du bitume peuvent-elles se produire ?

Ces phénomènes et les conséquences auxquelles il peuvent conduire sont schématisés sur la Figure 3.2-1.

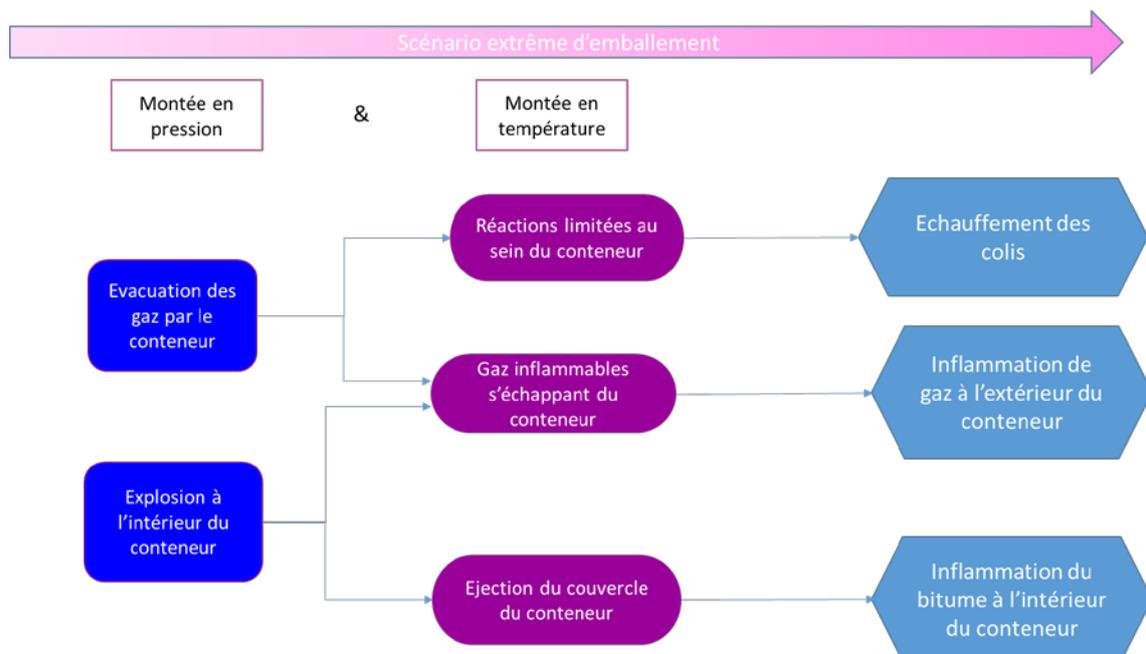


Figure 3.2-1 Phénomènes et conséquences potentielles d'un emballement de fût de déchets bitumés

C'est notamment sur cette base que des dispositions de gestion du scénario d'emballement postulé d'un fût de déchets bitumés sont proposées/étudiées et que des évaluations de conséquences sont réalisées/envisagées.

3.2.2 Les dispositions de gestion du scénario d'emballement

Les propositions de gestion d'un emballement au niveau d'un fûts de déchets bitumés comprennent à la fois des dispositions déjà valorisées dans le cadre du DOS et des nouvelles dispositions proposées dans le cadre de la maîtrise des risques des scénarios de référence (cf. § 3.1.2) ou spécifiques au scénario d'emballement. Elles sont présentées ci-après.

- **Elaboration d'exigences spécifiées sur les fûts de déchets bitumés**

Les spécifications d'acceptation des colis de déchets sur Cigéo seront complétées vis-à-vis de la prise en charge des fûts de déchets bitumés, notamment pour s'assurer de leur respect du domaine du plan d'expérience mené sur ces fûts par les producteurs.

Ce travail est en cours et sera restitué ultérieurement.

- **Contrôles / surveillance sur les fûts**

Comme pour l'ensemble des colis, des actions de surveillance sont menées par l'Andra sur les sites de production et d'entreposage des fûts des producteurs (audits, inspections, participation à la surveillance du producteur, visites techniques) et seront ensuite réalisés sur le site de Cigéo dès la réception (contrôle administratif, contrôle de la contamination, état du colis...) et tout au long du cheminement des fûts puis des colis de stockage (état du colis, début de dose, contamination...) jusqu'à leur alvéole de stockage. Cela sera donc aussi le cas pour les fûts de déchet bitumés.

- **Exigences de conception associée au domaine de fonctionnement de l'alvéole**

L'installation Cigéo est conçue pour assurer dans les alvéoles dédiées aux stockage des fûts de déchets bitumés une température au niveau des fûts < 30 °C en fonctionnement normal et < 40 °C en fonctionnement dégradé sur un délai limité (de l'ordre de quelques dizaines de jours). Cette conception est valorisée pour garantir des conditions d'ambiance dans ces alvéoles avec des marges importantes vis-à-vis du critère de 100 °C en dehors des situations accidentelles, notamment liées à l'incendie.

Par ailleurs, afin de détecter au plus tôt une augmentation de température au sein de colis de stockage de déchets bitumés, il est proposé de compléter les dispositions existantes par :

- **Un double système de détection dans l'alvéole**

Il s'agit de combiner un système à demeure et un système mobile. L'objectif est de pouvoir identifier le plus précisément possible le colis « suspect » qui présente une augmentation de température. Cette solution consiste à :

- ✓ Mesurer la température en continu à demeure dans l'alvéole au travers de fibres optiques (cf. Figure 3.1-2) sur toute la longueur de l'alvéole et placées au sein de fourreaux à proximité des colis de stockage. Ces fibres permettent de fournir en temps réel l'information d'une élévation anormale de température localisée dans l'alvéole et de déclencher une alerte de dépassement de seuil. La position de ces fibres sera précisée et optimisée notamment en lien avec le champ thermique au sein de l'alvéole.
- ✓ Effectuer des mesures ponctuelles avec un robot mobile muni d'une caméra thermique ou d'une sonde de mesure de température (cf. Figure 3.1-5), notamment pour réaliser une levée de doute suite à une détection par les fibres optiques dans une zone délimitée.

- **Un système de manutention dédié au retrait d'un colis suspect**

Le moyen de manutention de référence pour une opération de retrait, à savoir l'utilisation d'un pont stockeur pour un stockage par couches, présente l'inconvénient de devoir retirer un nombre important de colis de stockage si l'on a besoin de reprendre un colis situé en fond d'alvéole ou dans la couche inférieure de l'alvéole.

Comme présenté au § 3.1.2.1, l'Andra a analysé d'autres moyens de manutention de retrait d'un colis de façon à devoir enlever au maximum deux colis avant de pouvoir retirer le colis identifié comme suspect (cf. Figure 3.2-2), tout en respectant les hauteurs de chute spécifiées.

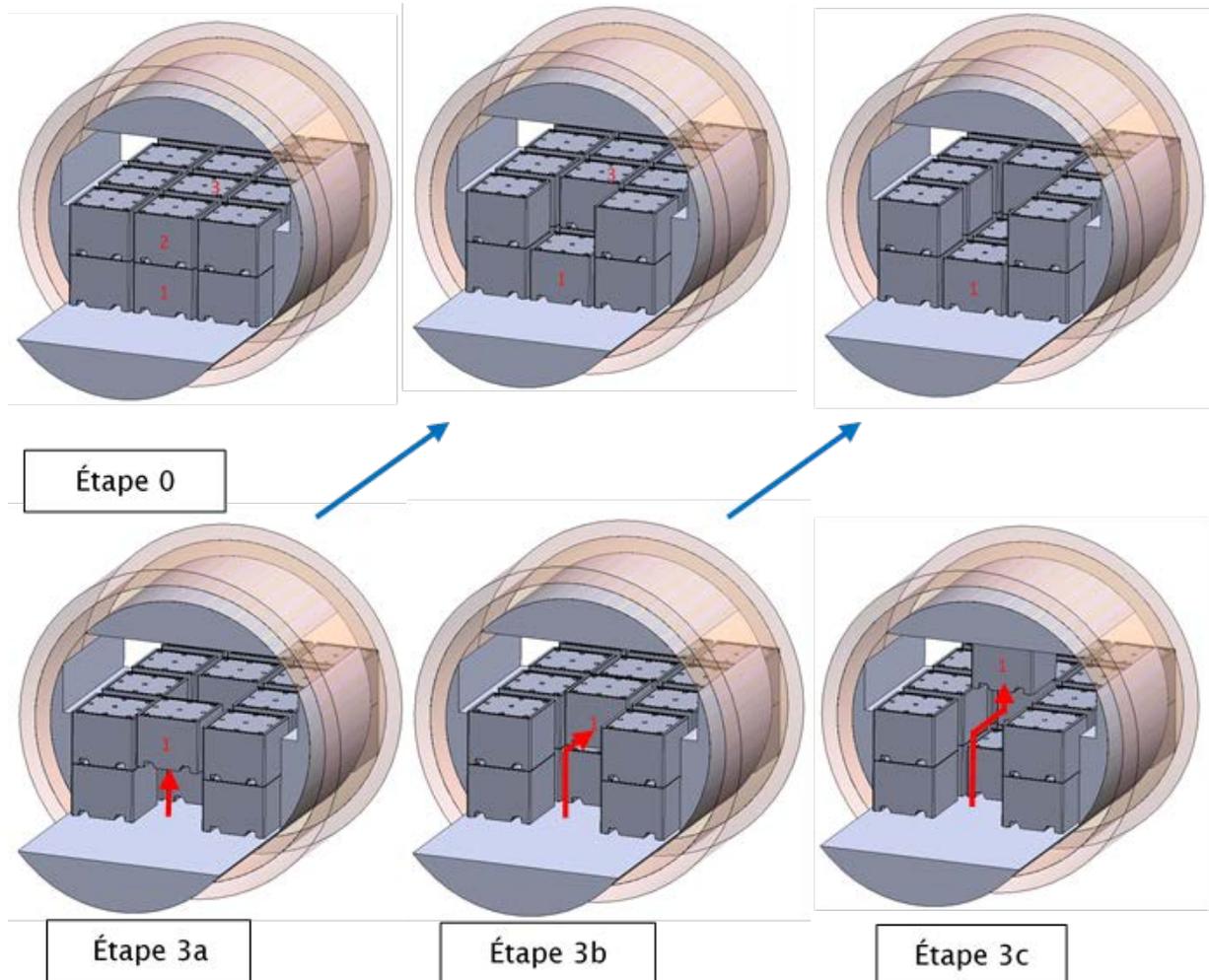


Figure 3.2-2 Principe de retrait d'un colis de stockage de déchets bitumés suspect

Pour rappel, plusieurs solutions semblent possibles, notamment un pont permettant une manutention par le dessus (système de type Artéon) ou un pont permettant une manutention par le dessous à partir d'un palonnier à fourches rotatives (cf. § 3.1.2.1). Le choix de la solution finale ne sera réalisé qu'à l'issue des études de conception en cours.

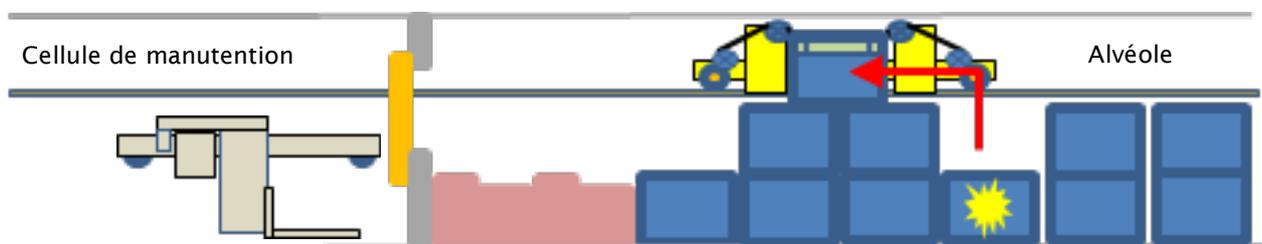


Figure 3.2-3 Illustration du système de manutention complémentaire dédié au retrait d'un colis de déchets bitumés suspect

Au cas où le retrait d'un colis suspect aurait été décidé mais n'aurait pas pu être mené à bien, et dans le but d'éviter une éventuelle propagation de l'emballement d'un fût de déchets bitumés aux colis de stockage voisins, il est envisagé :

- **Une valorisation du compartimentage assuré par le conteneur de stockage**

Le compartimentage au plus près des fûts de déchets bitumés est la meilleure solution pour éviter la propagation entre colis de stockage, et au niveau du conteneur de stockage, il permet entre autres d'éviter un feu de bitume à l'air libre au sein de l'alvéole.

Au stade du DOS, les performances du conteneur de stockage ont été étudiées et renforcées au regard d'un feu externe au colis de stockage. L'analyse des autres performances allouables au conteneur, et leur renforcement si besoin, notamment au regard d'une montée importante en pression, d'une explosion au sein du conteneur mais aussi au regard d'un feu interne au colis de stockage a été engagée.

Les essais d'ores et déjà réalisés sur le conteneur CS4, clavé et non clavé (cf. annexe 2), montrent que jusqu'à 10 L/h (débit max. testé), il n'y a pas de surpression importante au sein du conteneur (P_{\max} autour de 400 Pa pour le conteneur clavé). Par ailleurs, l'explosion d'une atmosphère AtEx au sein du conteneur (P_{\max} de 5 bar) a conduit uniquement au décollement très localisé de l'interface conteneur/liant de clavage (pas d'éjection du couvercle). Le mélange explosif choisi pour réaliser cet essai avait une concentration de 32,5% d'hydrogène dans l'air, ce qui correspond à la zone de réactivité maximale. Des évaluations complémentaires vont se poursuivre par simulation notamment pour analyser la sensibilité de la résistance du conteneur à l'explosion (en durée et pression).

Par ailleurs, des essais et évaluations sont envisagées sur la résistance du conteneur à un feu interne et ses performances thermiques.

Plusieurs types de compartimentages ont été regardés :

- ✓ Le conteneur de stockage renforcé actuel conçu pour les colis de déchets bitumés (en complément de la protection thermique apportée par son épaisseur). La résistance à la montée en pression sur le conteneur a fait l'objet d'essais (cf. annexe 2). L'Andra propose de poursuivre les études sur ce sujet et de réaliser des essais complémentaires sur la tenue à un feu interne du conteneur de stockage des colis de déchets bitumés ;
- ✓ Des conteneurs de stockage inertes disposés dans l'alvéole afin d'assurer un compartimentage supplémentaire par rapport à celui déjà apporté par le conteneur de stockage. Le compartimentage par des conteneurs de stockage inertes ne semble pas raisonnable autour de chaque colis de stockage de déchets bitumés (autres enjeux environnementaux, de coût...) ;
- ✓ Des parois fixes disposées dans l'alvéole. La construction de parois fixes dans l'alvéole apporte toutefois des contraintes supplémentaires par rapport à la gestion des autres risques, notamment la manutention. En effet, de telles parois devront être survolées pour la mise en place des colis de stockage et leur retrait, à des hauteurs dépassant les hauteurs de qualification des colis et des conteneurs (pouvant entraîner une perte de confinement de ces derniers).

Ainsi, en dehors d'un compartimentage assuré par le conteneur lui-même, les autres types de compartimentages ne sont pas pertinents.

- **Un système complémentaire d'extinction/protection acheminé au plus près des colis de stockage agressés**

L'objectif d'un tel système pourrait être d'intervenir sur le colis de stockage dans lequel un fût de déchets bitumés s'emballe ou en protection des colis de stockage voisins.

A ce stade, et pour les mêmes raisons que l'intervention suite à un incendie du pont stockeur (cf. § 3.1.2.1), l'Andra envisage plutôt un système déployé par robot (cf. Figure 3.1-3). L'agent extincteur/protecteur reste à définir (CO₂, mousse, eau). L'utilisation de la mousse, pouvant constituer un film protecteur, pourrait être

un moyen efficace pour protéger les colis voisins. Par ailleurs, la mousse, compte tenu du foisonnement, permettrait un acheminement plus aisé par robot « canadien » (cf. Figure 3.2-4).

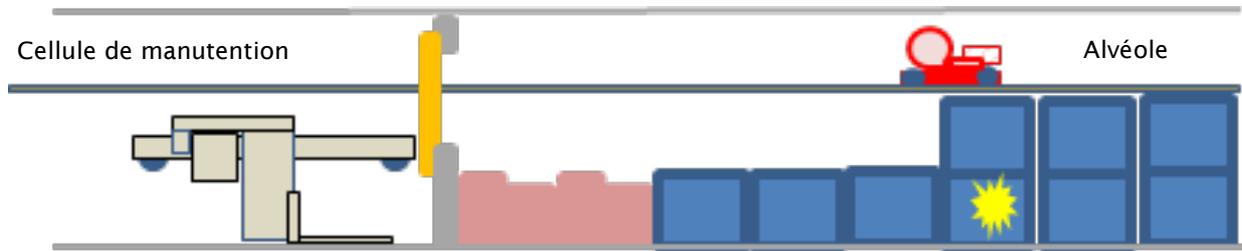


Figure 3.2-4 schéma de principe d'une intervention d'un robot en alvéole

La définition plus précise d'un tel système est encore en cours d'étude.

Enfin, afin de limiter les conséquences à l'extérieur de l'alvéole de stockage, le système d'extraction de l'alvéole est équipé de filtres THE dans un local dédié, en aval de l'alvéole. En cas de détection (température et/ou fumées), les clapets coupe-feu en sortie de l'alvéole seront déclenchés automatiquement et pourront être également manœuvrés manuellement le cas échéant.

Au regard des conséquences de la perte de confinement d'un, voire de plusieurs colis de déchets bitumés (cf. § 2.2.3), le système de confinement/ventilation de l'alvéole et son pilotage actuel est la solution la plus adaptée aux enjeux.

L'ensemble des systèmes complémentaires proposés à ce stade restent encore à définir, ainsi que leurs localisations pour les moyens mobiles (en cellule de manutention ou plus en amont) notamment au regard des délais de mise en œuvre nécessaires mais aussi des risques qu'ils pourraient apporter intrinsèquement sur Cigéo.

3.2.3 Les conséquences d'un emballage de fût de déchets bitumés

Compte tenu des propositions de conception et de renforcement des dispositions de gestion d'un emballage de fût de déchets bitumés au sein d'un alvéole de stockage, et sous réserve de la démonstration de leur faisabilité technique, deux situations plausibles sont à étudier :

- L'emballage est limité au sein du conteneur (toute l'énergie reste au sein du conteneur et se propage thermiquement) : les évaluations (propagation thermique) réalisées par le CEA ont été analysées et semblent pertinentes en termes de résultats sur l'estimation des températures susceptibles d'être atteintes sur les parois externes du colis de stockage (l'Andra a prévu de faire une vérification de ces évaluations avec ses propres moyens de simulation). Au niveau de l'épaisseur de béton minimale de la paroi verticale du colis, les calculs du CEA montrent, pour une sollicitation interne de 927°C pendant 8 heures, très pénalisante, que la température maximale atteinte sur les surfaces extérieures est de 230°C et que la valeur de 200°C est dépassée pendant moins de 4 heures. En appliquant ces températures sur les conteneurs voisins, les évaluations menées par l'Andra montrent que les colis primaires qu'ils contiennent restent à des températures très inférieures à 100 °C.
- L'emballage entraîne la production de gaz inflammables qui s'échappent du conteneur de stockage et s'enflamment à la sortie de celui-ci : cette situation va être analysée et étudiée pour la DAC afin d'en évaluer l'impact sur les autres conteneurs de l'alvéole et les colis primaires qu'ils contiennent.

4. Synthèse

Dans le cadre de l'étude du stockage des colis de déchets bitumés en l'état, l'analyse réalisée présente les scénarios retenus dans le cadre du renforcement de la conception des alvéoles de stockage de ces déchets. Ces scénarios sont de deux types :

- Des scénarios dits « de référence », comprenant les événements internes ainsi que les agressions les plus plausibles (événements pouvant conduire à un échauffement des fûts d'enrobé bitumé dans le cas de la présente étude) qui sont étudiés dans le cadre du domaine de conception afin de déterminer, sur la base d'une démarche conservative, les dispositions permettant d'en limiter les effets ;
- Un scénario postulé dit « extrême », comprenant des événements plus sévères (événement d'emballlement des réactions exothermiques au sein d'un fût d'enrobé bitumé dans le cas de la présente étude) qui sont étudiés dans le cadre d'un domaine de conception dit « étendu¹⁰ » afin de renforcer, sur la base d'une démarche adaptée, la capacité de l'installation à y faire face.

Une évolution de l'agencement des colis de stockage des fûts de déchets bitumés est proposée, ainsi que des dispositions complémentaires pour renforcer la capacité à surveiller et à intervenir en cas d'événement (incendie, emballlement) afin de garantir la sûreté du stockage de ces déchets.

Le rôle du conteneur renforcé comme compartimentage est confirmé. Les nouvelles simulations incendie et les essais récents effectués sur l'explosion apportent des éléments sur son efficacité, pour d'une part assurer la protection thermique des fûts de déchets bitumés qu'il contient en cas de sollicitation thermique externe, et d'autre part jouer un rôle de compartimentage pour limiter les effets d'un emballlement sur un fût de déchets bitumés sur les colis de stockage voisins. D'autres évaluations et essais sont prévus pour conforter ces éléments.

Les dispositions complémentaires proposées sont de natures différentes et réparties sur les différents niveaux de la défense en profondeur. Il s'agit notamment de :

- Systèmes de détection et système d'extinction complémentaires en alvéole, pour assurer l'extinction d'un incendie se développant sur le pont stockeur ;
- Système de surveillance de la température ambiante autour des colis de stockage, pour s'assurer de leur bon comportement et détecter toute dérive ;
- Moyens mobiles acheminés en alvéole, pour surveiller/vérifier l'état des colis de stockage, pour effectuer des opérations d'intervention (extinction/protection) ;
- Moyen de manutention complémentaire, assurant un retrait de colis de stockage en un lieu quelconque de l'alvéole plus rapide qu'avec le pont stockeur, notamment pour ramener l'installation dans un état sûr ;
- Qualification des fonctions de protection du conteneur de stockage, à la pression, à l'explosion et au feu interne, pour éviter la propagation d'un emballlement entre colis de stockage.

L'ensemble des options de conception proposées pour la maîtrise des risques du stockage des fûts de déchets bitumés stockés en alvéole dans Cigéo est synthétisé dans le Tableau 4-1.

La définition plus précise et l'implantation de tout ou partie de ces différents systèmes, ainsi que les études associées, sont d'ores et déjà engagées.

¹⁰ Ce domaine est aussi parfois intitulé « domaine d'extension du dimensionnement ».

Tableau 4-1

Synthèse des options de conception proposées pour le stockage des fûts de déchets bitumés en l'état dans Cigéo¹¹

Lignes de défense	Options de conception proposée	
	Scénario de référence (incendie du pont stockeur)	Scénario extrême (emballement d'un fût de déchets bitumés)
La prévention des accidents	<p>Limitation de la charge calorifique du pont stockeur</p> <p>Séparation physique des charges calorifiques embarquées sur le pont stockeur, bacs de rétention sous les motorisations</p> <p>Maintenance régulière sur le pont stockeur</p>	<p>Exigences spécifiques dédiées (en cours d'étude)</p> <p>Contrôle / surveillance sur les fûts et colis de stockage</p> <p>Exigences de conception associée au domaine de fonctionnement de l'alvéole (T < 30°C en fonctionnement normal, 40 °C en mode dégradé)</p>
La détection et la mise en œuvre des actions permettant d'empêcher un accident ou atteindre un état sûr	<p>Système de détection et d'extinction embarqué sur chacune des armoires électriques du pont stockeur</p>	<p>Double système de détection dans l'alvéole (fibres optiques en continu et robot en ponctuel à l'étude)</p>
La maîtrise des accidents n'ayant pu être évités ; le retour et le maintien à l'état sûr	<p>Système complémentaire de détection dans l'alvéole (fibre optique à l'étude)</p> <p>Système complémentaire d'extinction du pont (système déployé par robot à l'étude)</p> <p>Protection à l'incendie du conteneur de stockage</p> <p>Moyen complémentaire pour vérifier l'état du ou des colis de stockage (robot équipé d'un bras télémanipulateur à l'étude)</p> <p>Système de manutention complémentaire avec préhension par le dessus ou par le dessous (solutions à l'étude)</p>	<p>Système de manutention complémentaire avec préhension par le dessus ou par le dessous (solutions à l'étude)</p> <p>Valorisation du compartimentage par le conteneur de stockage (essais et simulations en cours)</p> <p>Système complémentaire d'extinction / protection (système déployé par robot à l'étude)</p>
Limitation des conséquences à l'homme et à l'environnement	<p>Système d'extraction de l'alvéole équipé de filtres THE (redondés)</p> <p>Système de confinement de l'alvéole (clapets coupe-feu en tête et en sortie de l'alvéole)</p>	<p>Système d'extraction de l'alvéole équipé de filtres THE (redondés)</p> <p>Système de confinement de l'alvéole (clapets coupe-feu en tête et en sortie de l'alvéole)</p>

¹¹ En gras, les options de renforcement proposées.

5. Références

- [1]. Lettre CODEP-DRC-2018-001635 du 12 janvier 2018 – Dossier d'option de sûreté pour le projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
- [2]. Rapport Andra CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060 – « Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation »
- [3]. Rapport IRSN n° 2017-00013 relatif à l'examen du dossier d'options de sûreté
- [4]. Envoi du dossier bitume. Andra. (2015). Lettre n° DRD/DIR/15-0004
- [5]. Avis/IRSN N° 2018-00207 – Comportement physico-chimique des fûts d'enrobé bitumineux
- [6]. Guide d'application inter-exploitants du thème incendie de l'arrêté du 31/12/1999 modifié
- [7]. CODEP-MEA-2017-021617 du 1^{er} juin 2017 - Avis et recommandations des Groupes Permanents d'Experts pour les Déchets et Usines et pour les laboratoires et les usines du 18/05/2017 et du 19/05/2017 Options de sûreté du projet Cigéo

Annexe 1 :

L'utilisation du REX dans la démonstration de sûreté au stade du DOS

Le REX d'incendie de bitume :

La question de l'incendie des déchets bitumés en entreposage ou en stockage (et transport) a été régulièrement posée. Cette question a été alimentée par les quelques incidents ou accidents graves survenus lors d'opérations de bitumage vers 180°C, et plus particulièrement lors des premières heures de refroidissement après coulée de l'enrobé dans le conteneur. L'un des scénarios incidentels concerne le bitume restant bouillant à cœur alors que la périphérie devient solide, provoquant alors un effet d'auto-échauffement à cœur. Une fois en situation d'entreposage ou en stockage, les colis de déchets bitumés sont froids à cœur et il faudrait les chauffer pendant plusieurs dizaines d'heures pour que la température au centre s'élève. Aucun incident n'est jamais survenu en entreposage ou en stockage sur des colis de déchets bitumés une fois refroidis, et cela sur une période de plus de 50 ans aussi bien en France qu'à l'international.

L'établissement d'un référentiel incendie pour la conception de Cigéo :

Compte tenu du caractère nucléaire et souterrain de Cigéo ainsi que de son extension sur plusieurs kilomètres de galeries, les conditions de développement d'un incendie et d'intervention seront particulières et différentes de celles des installations nucléaires de surface. A ce titre, la constitution d'un référentiel prenant en compte les différences de référentiels et de pratiques entre les INB de surface et les ouvrages souterrains (mines, tunnel..) a été essentielle. Celui-ci considère d'une part les exigences de sûreté applicables aux INB de surface, d'autre part celles applicables aux ouvrages souterrains (mines, tunnels). Il s'appuie ainsi sur le retour d'expérience dans ces deux grands domaines.

Le référentiel incendie est basé sur l'exploitation du retour d'expériences d'installations existantes (INB mais aussi IGH, ERP et tunnels). Il propose une méthodologie d'étude du risque incendie et fixe des objectifs de sécurité et exigences associées ainsi que des critères de performance. Les éléments proposés dans ce référentiel par l'Andra sont issus de l'expertise de l'INERIS, du CETU et des 3 exploitants d'INB EDF, CEA et Orano (ex AREVA).

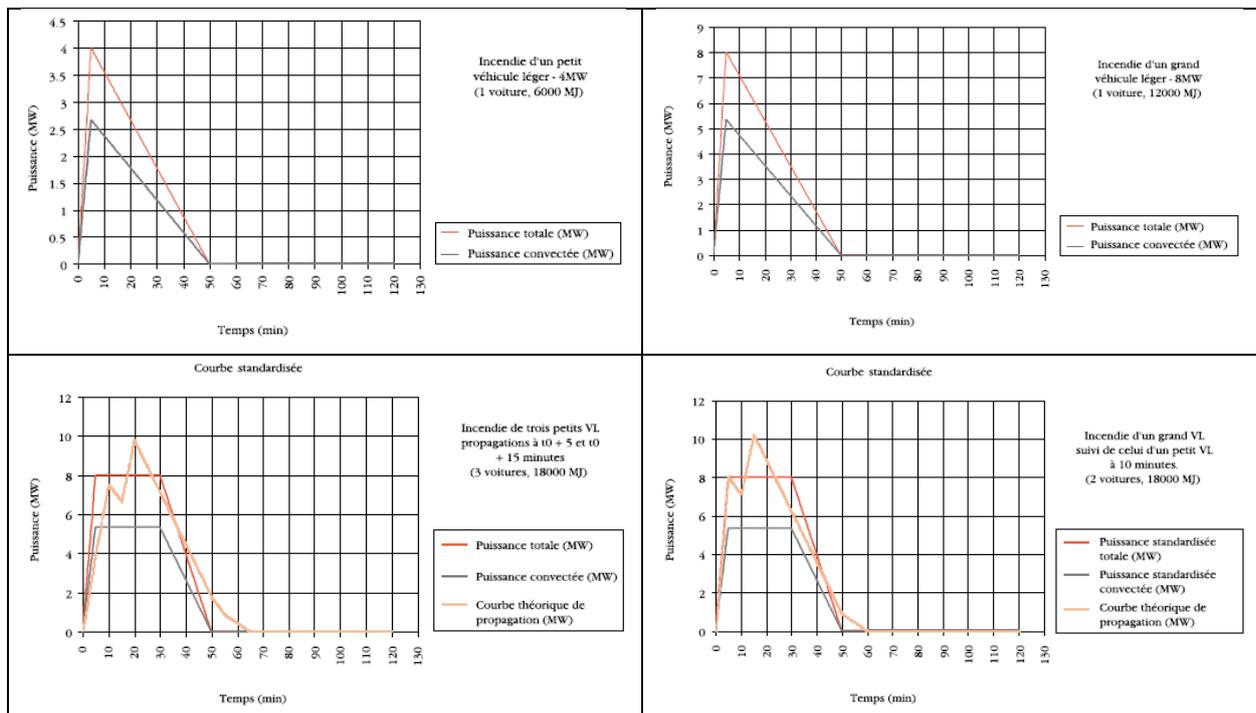
La prévention :

La prévention des départs de feu est une étape essentielle suivie au cours de la conception de Cigéo avec le respect des exigences suivantes :

- La limitation de la charge calorifique au strict minimum ;
- L'utilisation de matériaux en tenant compte :
 - de leur réaction au feu visant notamment à empêcher la propagation du feu (matériaux de classe A et B, câbles de type C1 et CR1 non halogénés...),
 - et de leur potentiel fumigène ;
- L'interdiction d'utiliser des produits à cinétique rapide (point éclair < 60°C en conformité avec le classement issu de la réglementation dite CLP) ;
- La présence de séparations physiques entre des matériaux combustibles et des sources d'inflammation ;
- La présence de dispositifs d'extinction automatique embarquée au plus près des sources de danger (armoires...) ;
- Le déport des motorisations hors des cellules ;
- La maintenance préventive des composants.

La mise en œuvre de ces exigences de prévention pour la conception de Cigéo est illustrée par l'absence de véhicules/engins à motorisations thermiques et équipés de pneumatiques dans la zone en exploitation. En effet, les chariots et navettes de transfert, le funiculaire ainsi que les engins pour la maintenance circulent sur rail et sont alimentés électriquement.

De plus, les feux de référence établis sur la base de la conception présentent des caractéristiques favorables en lien avec l'effort de prévention réalisé : des durées de feu limitées (durée du plateau très inférieur à 1 heure) et une puissance (débit calorifique) faible (quelques MW pour les plus importants). A titre de comparaison, les courbes de feu établies par le CETU pour des feux d'un ou plusieurs véhicules légers se situent entre 4 et 8 MW (voir figure ci-après).



Concernant les dispositifs d'extinction embarqués prévus sur Cigéo, ils sont usuellement mis en œuvre sur les engins utilisés pour l'extraction minière et installations souterraines ainsi que dans les INB. A titre d'exemple, on peut citer :

- L'engin utilisé par le CEA pour la reprise des fûts de déchets bitumés (Rascasse) est équipé d'un extincteur CO₂ extérieur orienté vers le moteur et déclenché manuellement par l'opérateur ;
- Les engins ayant pris feu au WIPP ou dans la carrière du massif de Montmorency disposaient d'un système d'auto-extinction à poudre qui a permis de limiter la propagation du feu (à défaut de l'éteindre). Le déclenchement de ce système est soit automatique sur détection d'un feu soit manuel avec un dispositif de type « coup de poing ». Dans le cas du WIPP, l'automatisme d'extinction du véhicule avait été supprimé.

La détection/surveillance :

Le choix des installations et systèmes de surveillance, de détection et d'alarme a été fait en référence aux normes et règles ainsi qu'aux bonnes pratiques notamment issues de l'exploitation des INB et des tunnels.

Cigéo prévoit la mise en place de systèmes de détection automatique d'incendie d'ambiance, à technologie adressable et à mémorisation des alarmes. Leur conception est conforme à la règle APSAD R7.

Dans les cellules (cellule de manutention des alvéoles MA-VL par exemple), des systèmes de détection automatique d'incendie (détection multi-ponctuelle par aspiration avec centrale d'analyse hors zone procédé) seront mis en œuvre, ce type d'équipement étant largement utilisé et éprouvé. Ils sont complétés

de détection de fumée aux prises d'air, de détection de température et fumées en gaine en amont et aval filtration DNF.

Pour ce qui concerne les galeries, les technologies applicables à des ouvrages de dimensions importantes (grande surface et grande longueur) seront privilégiées ainsi que celles qui facilitent et/ou nécessitent peu de maintenance et qui sont résistantes aux rayonnements ionisants. La technologie de détection retenue est une détection dans l'ambiance des galeries souterraines en exploitation, y compris descenderies (détection multi-ponctuelle par aspiration).

Dans le DOS, il n'était pas envisagé de placer un système de détection dans la partie utile des alvéoles de stockage en l'absence de charge calorifique en dehors des opérations de mise en place des colis. L'utilisation de fibres laser (mises en place dans les installations d'EDF) ou de fibres optiques est désormais envisagée dans l'alvéole de stockage.

L'extinction

Sur les moyens d'extinction, AREVA utilise, dans ses installations de déchets bitumés, un système d'injection mousse (eau + émulseur) à bas foisonnement, qui est le meilleur compromis permettant extinction et aussi refroidissement. Le CEA a mis en place dans l'EIP un dispositif d'extinction fixe (injection de mousse) mis en œuvre par la FLS depuis l'extérieur des alvéoles.

Sur Cigéo, un système d'extinction fixe à mousse haut foisonnement est envisagé dans la cellule de manutention. Dans le DOS, aucun dispositif fixe n'était proposé dans la partie utile de l'alvéole de par l'absence de charge calorifique hors opération de stockage, la limitation de l'intensité et de la durée du feu de l'engin de manutention par conception et la qualification du conteneur de stockage à un feu (celui-ci ne considère pas l'incendie éteint).

La conformité au référentiel technique APSAD R12 est visée. Comme agent extincteur, la mousse haut-foisonnement agit principalement par étouffement sur un départ de feu et permet d'éviter sa propagation. Cet agent extincteur peut être retenu du fait de ses propriétés intéressantes en milieu nucléaire et pour Cigéo :

- Faible quantité d'effluents produits par le noyage de mousse après décantation ;
- Effets de surpression liée à la mise en œuvre de l'agent extincteur et à la création de la mousse, limités ;
- Capacité à éteindre de nombreux type de feux, ou à prévenir la propagation d'un départ de feu par le noyage de mousse du volume ;
- Capacité à s'adapter à des volumes de grandes dimensions ;
- Possibilité de réalimentation-pompier.

La limitation de la propagation du feu et la limitation des conséquences s'appuient principalement sur :

- La sectorisation et le compartimentage ;
- La ventilation ;
- L'intervention.

La sectorisation et le compartimentage :

Des dispositions appropriées doivent empêcher la propagation d'un incendie (flammes, fumées...) d'une zone sinistrée aux autres parties de l'installation. Ce type de disposition, classiquement mis en œuvre dans les INB et autres industries avec un risque d'incendie important, se traduit sur Cigéo par :

- Un secteur de feu, de degré coupe-feu EI 120, confondu avec son secteur de confinement au niveau de l'ensemble « cellule de manutention + alvéole MAVL + local DNF » ;
- Des compartiments pare-flammes E 60, destinés à limiter propagation du feu et des fumées dans l'installation souterraine (galeries et zone de soutien logistique en exploitation) ; les compartiments sont désenfumés et leur longueur est limitée à 800 m linéaire.

Par ailleurs, la conception de Cigéo répond à une exigence forte qui vise à ce que les zones de travaux (zone de chantier et zones réceptionnées en support aux travaux) soient closes et indépendantes de la zone nucléaire. Les réseaux des zones de travaux sont également distincts de ceux de la zone nucléaire. L'extension de la zone nucléaire est donc réalisée de manière discontinue et progressive. La mise en œuvre de cette exigence est par ailleurs confortée par le retour d'expérience de l'accident survenu au WIPP pour lequel cette séparation stricte n'existe pas.

Au cours de l'exploitation, les dispositifs mis en place pour le compartimentage et la sectorisation seront maintenus et surveillés pour éviter leur dysfonctionnement, comme cela a été observé pour le WIPP par exemple où des portes-cloison étaient bloquées en position « ouvertes » au moment de l'incendie.

Les essais sur les colis de stockage :

La liste des essais menés depuis le début du programme bitume est rappelée ci-après :

- 3 essais ISO 834 1 heure sur colis B2.1
 - Essai 1 : Température max en paroi de fût : 160°C / 60°C au centre du bitume pur
 - Essai 2 : Température max en paroi de fût : 131°C / Pas de mesures fiables dans l'enrobé bitumé
 - Essai 3 : Température max en paroi de fût : 147°C / 91°C dans l'enrobé bitumineux à 26 mm de la paroi
- 2 essais feu réel (puissance de 1,5 MW pendant 2 heures) :
 - Essai n°1 : Les températures au sein du colis : entre 84 et 153°C (moyenne à 107°C) sur les parois des fûts. La température maximale dans l'enrobé bitumineux à 26 mm de la paroi est de 111°C.
 - Essai n°2 : Les températures atteintes au sein du colis présentent des niveaux compris entre 98 et 150°C (moyenne à 112°C) sur les parois des fûts d'enrobés bitumineux. La température maximale atteinte dans l'enrobé bitumineux à 26 mm de la paroi est de 113°C.
 - Ecaillage : Le colis avec fibres de polypropylène conserve une meilleure intégrité
 - Manutention : Les deux colis sont manutentionnés au pont après essai feu réel sans dégradation
- 1 essai ISO 834 1 heure sur colis B2.1 réalisé en février 2015 : température max en paroi de fût : 115 °C après 7 à 8 heures (147 °C au niveau du couvercle) / 101 °C dans l'enrobé bitumineux à 26 mm de la paroi après 16 heures
- 2 essais CS4 (clavé et non clavé pas d'écart significatifs) : température de 100 °C non atteinte en peau de fût (88 °C après 5 heures) et température atteinte dans l'enrobé inférieure à 70 °C (69 °C à 26 mm de la paroi après plus de 23 heures).

Le REX d'installations relatif aux scénarios d'incendie pris en compte dans la démonstration de sûreté :

Le rapport de sûreté de l'INB ICEDA qui accueillera (conditionnement et entreposage) les colis de type C1PG (familles EDF-080, 090 et 100 notamment) constitué pour la mise en service considère le scénario incendie du pont exclu. Le scénario d'incendie pris en compte est celui du camion dans le hall de déchargement des déchets.

Pour Orano, des scénarios d'incendie sont présentés pour évaluer la « dangerosité » et la robustesse de l'installation :

- Pour la cellule d'enfûtage de STE3; un scénario d'incendie a été ajouté au rapport de sûreté suite aux échanges tenus dans le cadre du réexamen de sûreté de 2008 ; il retient de manière déterministe (malgré les modalités et précautions du procédé) la sollicitation d'un seul fût d'enrobés bitumineux.
- Pour le hall d'entreposage de STE3, une approche déterministe postule une reprise de réactivité et une combustion au niveau des 9 fûts présents (le nombre correspond au nombre de fûts associés à la dernière coulée).

- Pour les installations d'entreposage de déchets technologiques, un scénario d'incendie est considéré pour lequel un calcul est réalisé en considérant un terme source radiologique global, indépendamment de tout scénario plausible de départ de feu.

Pour le CEA, les analyses des risques d'incendie des installations EIP (fûts de déchets bitumés) et DIADEM (déchets métalliques issus du démantèlement d'installations et déchets d'exploitation) ont fait l'objet d'instructions dans le cadre du réexamen de sûreté de l'EIP 1&2, de la construction de la nouvelle tranche EIP 3&4 et de la construction de DIADEM.

L'installation EIP (Entreposage Intermédiaire Polyvalent) du CEA à Marcoule :

Cette installation accueille les fûts de déchets bitumés et les entrepose dans des alvéoles dont la longueur est de 52 mètres pour 15 mètres de large et 10 mètres de hauteur ; deux alvéoles sont en cours de remplissage et deux nouvelles alvéoles en cours de construction.

Les FEB (fûts d'enrobés bitumineux) sont positionnés dans un surfût entreposés en alvéoles et ne constituent pas des cibles avérées ; il n'y a aucun scénario d'incendie en situation d'entreposage en l'absence de terme source d'agression. Des dispositions ont été retenues à la conception, dans le cadre de la défense en profondeur, telles qu'un système de noyage à la mousse (alvéoles et tunnel de transfert) mis en œuvre, en tant que de besoin, par la FLS. La mise en œuvre de ce système s'inscrit dans une logique déterministe qui tient compte de l'infaisabilité d'une intervention au contact. Ce système est reconduit dans le cadre de l'extension EIP (alvéoles 3 et 4)

Il a été examiné également les scénarios potentiels qui coupleraient les FEB avec un agresseur thermique conséquent tel que l'incendie d'un ensemble routier de transport et des engins de manutention dans le sas de déchargement. Ces scénarios ont pu être écartés.

Dans le cadre du réexamen de sûreté, un scénario supplémentaire a été traité. Il concerne le pont de manutention des colis en alvéoles, qui embarque sa motorisation (huile), son alimentation de puissance et de contrôle commande. Il est prévu, pour exclure ce scénario, de mettre en place un dispositif de détection/extinction embarqué.

L'installation DIADEM du CEA à Marcoule :

DIADEM sera une installation présentant peu de risque vis-à-vis de l'incendie, le scénario de référence étant l'incendie d'un ensemble routier dans le hall camion lors d'une opération de déchargement d'un emballage de transport. Le camion passe par le hall, la remorque est dételée pour éloigner la principale source d'incendie liée au tracteur. Une installation d'extinction automatique à mousse est mise en place dans le hall et au niveau du quai de déchargement des emballages de transport. Ce scénario et ses conclusions n'ont pas été remis en cause lors du groupe permanent ; il ne conduit pas à l'agression du colis primaire.

Concernant l'alvéole d'entreposage et la cellule de conditionnement des colis, il n'y a pas de risque particulier, hormis un risque « résiduel » traité lors de l'opération de soudure du colis en cellule.

Dans le cadre de la révision des études de risque d'incendie et afin d'intégrer les évolutions de conception, une attention particulière est portée au processus de transfert des colis au moyen d'un lorry jusqu'à la phase d'accostage en cellule.

L'installation STE3 d'Orano à La Hague

Le référentiel de sûreté dédié à l'installation STE3 fournit les éléments suivants.

Vis-à-vis des fûts de déchets bitumés, le rapport de sûreté rappelle que « *après refroidissement pendant une période d'environ 24h dans les cellules d'enfûtage, on considère que le risque d'inflammation par réaction exothermique est devenu négligeable* ». De plus, il référence des résultats d'essais de combustion « *mettant en évidence qu'une inflammation n'est possible que lorsque la température de l'enrobé est de l'ordre de 300°C et que lorsqu'un phénomène de brassage énergétique interne est mis en jeu. Cela implique que la communication d'un incendie d'un feu d'enrobé à un autre n'est pas plausible* ». Il n'existe pas de sources de chaleur importante et entretenue (« *la combustion du bitume n'est pas auto-entretenu* »). En outre, il n'y a pas de risque de propagation du feu depuis la cellule d'enfûtage vers les bâtiments

d'entreposage (via la présence de dispositions de deuxième et troisième niveau de la défense en profondeur).

De plus, une note relative au « refroidissement des enrobés bitume STE3 en cellule d'enfûtage » permet de confirmer, sur la base d'une démarche d'instrumentation de fûts au moyen de thermocouples, « l'absence de réaction exothermique lors du refroidissement » ; phénomène confirmée par ailleurs, par des mesures microcalorimétriques.

Au niveau de la cellule d'enfûtage, les mesures d'exploitation et les dispositions de maîtrise des risques d'incendie concourent à contenir ce risque. Néanmoins, l'étude d'un scénario enveloppe d'incendie a été demandé au titre de la défense en profondeur par l'ASN (engagement n°21 pris lors de la tenue du Groupe Permanent à savoir « *Dans la prochaine mise à jour du rapport de sûreté de l'installation STE3, l'étude d'un scénario enveloppe d'incendie et d'explosion en cellule d'enfûtage et l'estimation des conséquences associées seront présentés. Les différentes hypothèses prises en compte dans ce scénario seront justifiées, en particulier le nombre de fûts de déchets bitumés impliqués et le coefficient d'épuration. Les dispositions visant à vérifier la valeur de ce dernier seront également présentées.* »). Les hypothèses retenues sont :

- Le nombre de fût dont le terme source est mobilisé est de 1 ;
- Les calculs de rejets ne tiennent pas compte des moyens d'extinction pour le scénario enveloppe d'une durée de 100 minutes ; en outre, un scénario vraisemblable est aussi proposé en considérant l'extinction par injection de halon 30 minutes après la détection et confirmation du feu (la durée totale prise en compte est de 40 minutes) ;
- Le fût déborde dans la lèchefrite ;
- La filtration est maintenue et un facteur global de rétention de 10^{-5} est retenu.

L'impact des rejets n'excède pas 1 mSv.

Au niveau des halls d'entreposage, le scénario d'incendie mobilisant les fûts de déchets bitumés retient un nombre de 9 fûts possibles (et de manière pénalisante au vu des principes d'exploitation retenus pour écarter tous risques). Ce nombre est associé au procédé dont les opérations se font par lot de 9 fûts (carroussel lors d'une opération de bitumage ou chariot de transport pour transfert vers le hall d'entreposage). Les conséquences estimées dans le cas le plus défavorable (à la clôture et selon météo) n'excèdent pas 1 mSv.

Par ailleurs, le référentiel de sûreté justifie (en termes d'agressions des fûts ou d'auto allumage du bitume) la suffisance des dispositions de maîtrise des risques liés à l'incendie présentes, au regard des modalités de production des fûts qui intègrent aussi des dispositions pour se prémunir, in fine, du risque d'inflammation du bitume (notamment un moyen fixe d'extinction).

La différence de configuration entre un hall où les fûts sont entreposés en l'état et Cigéo où les fûts sont mis dans un conteneur de type CS4 dont les essais au feu montrent que le conteneur joue un rôle efficace de protection passive en situation d'incendie.

Le REX du WIPP :

L'installation du WIPP est un centre de stockage géologique dans une formation de couches de sel dont la partie souterraine est située à 655 mètres de la surface. Elle accueille deux catégories de déchets :

- Des déchets peu irradiants conditionnés en vrac dans des fûts ou autres conteneurs, mis en place dans des chambres de stockage ;
- Des déchets irradiants stockés dans des puits aménagés dans les parois des chambres de stockage et tunnels de liaison.

Quatre puits relient la zone souterraine à la surface : le puits d'entrée d'air, le puits de transfert des colis, le puits de gestion du sel et du personnel et le puits d'évacuation de l'air vicié.

Deux accidents sont survenus en 2014, le premier le 5/2/2014 est l'incendie du camion de transport du sel excavé qui s'est déroulé dans la zone nord, le deuxième le 14/2/2014 est un relâchement radioactif au niveau du puits d'évacuation (détection de contamination dans une chambre de stockage suite à une

séquence de réactions exothermiques induisant un emballement thermique dans un colis de déchets). L'enquête a conclu qu'il n'y a pas de lien entre les deux accidents.

Les principaux enseignements tirés de ces événements pour Cigéo sont les suivants :

- La maîtrise de la qualité des colis stockés de leur conditionnement à leur mise en stockage grâce au processus d'acceptation des colis (spécifications d'acceptation des colis, programme de contrôle chez le producteur de déchets et à réception...) ; en effet, pour le type de déchets incriminés, la procédure de reconditionnement et de traitement amont des déchets était inadaptée, une matrice robuste pour les déchets au sein des colis est nécessaire, formant la première barrière de confinement ;
- L'identification d'un programme de maintenance et son suivi tout au long de l'exploitation pour limiter l'occurrence des départs de feu et les défauts de maintenance ne permettant pas l'utilisation des dispositions de maîtrise des risques prévues en conception et pour la démonstration de sûreté (inadéquation du système de ventilation, insuffisamment testé et maintenu) ;
- La séparation de la zone nucléaire et de la zone travaux rendant ces deux zones closes et indépendantes. Les réseaux des zones de travaux sont distincts de ceux de la zone nucléaire ainsi que les flux (personnels, engins, ventilation, électricité, eau...). Ainsi, des fumées issues d'un incendie côté travaux ne peuvent se répandre jusqu'aux alvéoles de stockage.
- La mise en place d'un programme de formations, d'entraînements et d'exercices réguliers du personnel, des services de secours internes et extérieurs visant une performance optimisée des différents intervenants en cas de situations dégradées, incidentelles et accidentelles ; une culture de sûreté est à instaurer pour tous les intervenants au sein de l'installation ;
- La mise en place de moyens de secours adaptés aux risques et répartis judicieusement dans l'installation ;
- L'analyse exhaustive des risques et la complétude des scénarios pour disposer des meilleures informations pour le pilotage des installations notamment en situations dégradées, incidentelles et accidentelles : procédures de pilotage de la ventilation par exemple.

Annexe 2 :

Le colis de stockage CS4

Caractéristiques et performances du CS4

Le colis de stockage (CS4 pour les déchets bitumés) est constitué de colis primaires (les fûts d'enrobés bitumineux : FEB) et d'un conteneur de stockage (CtS 4 pour les déchets bitumés).

L'Andra est maître d'oeuvre de la conception et du développement des CtS.

D'une manière générale, le conteneur de stockage doit (cf page 80 du DOS Cigéo) :

- Permettre le transfert et la manutention des colis primaires, de la surface jusqu'à l'alvéole ;
- Etre gerbable ;
- Permettre de récupérer les colis primaires MA-VL ;
- Etre durable (i.e. résistant à toute forme d'agressions chimiques interne et externe) ;
- Contribuer à la maîtrise de la sous-criticité ;
- Protéger les colis primaires des agressions (chute, collision) et contre l'incendie ;
- Confiner les substances radioactives non gazeuses (non dissémination) ;
- Permettre l'évacuation des gaz de radiolyse et leur extraction par la ventilation ;
- Prendre en compte les contraintes d'environnement souterrain : limitation des masses et des volumes ;
- Etre fabricable industriellement en série.

Le conteneur de stockage retenu pour les fûts d'enrobés bitumineux (FEB) est de forme parallélépipédique et constitué de béton fibré avec des fibres de polypropylène.

L'épaisseur des parois (20 cm) a été retenue pour apporter une protection thermique en cas de feu externe.

Le conteneur participe également à la fonction de confinement :

- Une capacité de rétention des substances radioactives en cas de chute inférieure à 2,30 mètres : 10^{-2} ;
- Une capacité de rétention en situation d'incendie : 10^{-1} .

Les performances thermiques ou de confinement sont qualifiées par des essais.

Le colis de stockage est un EIP (élément important pour la protection), c'est-à-dire qu'il est un élément nécessaire à la démonstration de sûreté et à ce titre, il fait l'objet de règles de conception et de fabrication définies et contrôlées. En particulier, les critères suivants sont contrôlés pour les conteneurs :

- Contrôle qualité des constituants (conformité commande, fiches techniques produits) ;
- Vérification du positionnement des armatures (enrobage minimum) ;
- Vérification des propriétés du béton à l'état frais ;
- Contrôle d'aspect (fissuration, bullage, éclat) ;
- Contrôles dimensionnels et géométriques ;
- Contrôles des propriétés mécaniques à l'état durci sur éprouvette.

Essais et études menées sur le CS4

Une campagne de mesures a été menée avec l'Ineris pour vérifier la fonction d'évacuation des gaz à l'intérieur des colis de stockage. A cette occasion, une mesure de pression interne a été réalisée.

Plusieurs configurations ont été testées.

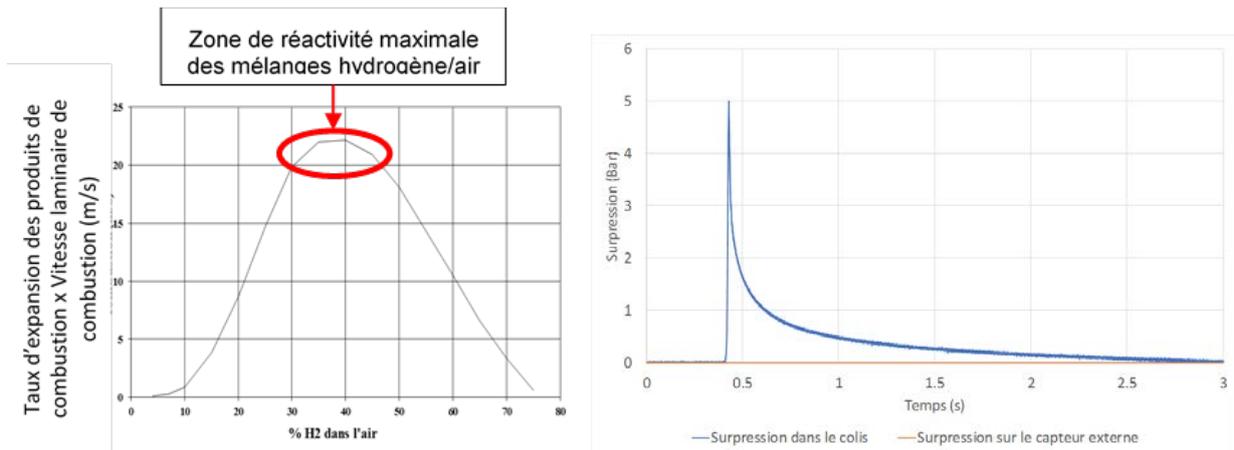
Séquence		1	2	3	4		
Couvercle		Vissé	Vissé	Clavé	Clavé		
Débit d'injection de He dans le colis (NmL/h)		11,5	500	11,5	2 000	5 000	10 000
Régime étudié		Permanent	Permanent	Permanent	Transitoire		
Durée du régime transitoire (jours)		5	5	91	-	-	-
Concentration en He (%)		0,024	0,90	0,45	de 0 à 5	de 5 à 14	de 14 à 42
Pression relative moyenne interne (Pa)		0	0	0	65	190	330
Quantité He mesurée par face (%)	Interface conteneur/couvercle	98	98	50	Non mesuré		
	Faces latérales	1	0,9	29			
	Couvercle	0,8	0,8	17			
	Fond	0,2	0,2	3			

Séquence	5
Couvercle	Clavé
Concentration en H ₂ (%)	32,5
Température à l'explosion (°C)	260
Surpression interne	0,5 MPa

Ces mesures ont permis de vérifier l'absence de montée en pression en situation normale ou majorée (production de 100 L/an par colis de stockage pour 40 L/an en référence), que ce soit avec ou sans liant de clavage.

La pression mesurée en cas de relâchement de gaz rapide reste très modérée (de l'ordre de 330 Pa). Aucun dommage mécanique sur le conteneur de stockage n'a été constaté lors de ces mesures.

Enfin, l'essai d'explosion interne (séquence 5) avec un mélange oxygène/hydrogène dans un conteneur de stockage clavé a engendré une surpression de 0,5 MPa (cf. figure ci après)).



Un décollement à l'interface entre le liant de clavage et le corps du contenant a permis l'évacuation des gaz de combustion. Aucun dommage mécanique sur le conteneur de stockage et son liant de clavage n'a été constaté lors de cette explosion (cf. photo ci-après).



Par ailleurs, lors des essais de chute à 2,3 m sur une dalle indéformable, d'incendie ISO 834 d'une heure ou d'explosion interne, les couvercles vissés sont toujours restés en place. Aucune vis n'a subi de déformation plastique.

Au regard de la question de l'applicabilité du REX de l'événement de Saclay en 1977, identifié comme ayant entraîné une éjection de couvercle de l'emballage de transport, des études complémentaires sont envisagées. Il s'agit notamment de déterminer quelles sont les conditions qui pourraient amener à une éjection ou un éventrage du couvercle du CS4 et si ces conditions sont réalistes. En complément des études expérimentales, des simulations seront donc réalisées pour déterminer à quel niveau de pression, en conditions quasi-statique et dynamique, le couvercle s'endommage, voire se désolidarise du corps du conteneur (rupture des vis/inserts).



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
www.andra.fr