

Fontenay-aux-Roses, le 19 décembre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2019-00291**Objet :** Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs - Stockage en l'état des fûts de déchets bitumés dans Cigéo - Maîtrise des risques et principes d'évolution de conception**Réf. :** Lettre ASN CODEP-DRC-2019-043554 du 12 novembre 2019

Par lettre citée en référence, vous sollicitez l'avis de l'IRSN sur la note transmise par l'Andra en juillet 2019 en réponse à l'article 46 du décret du 23 février 2017 établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), qui demande à l'Andra un rapport d'analyse de l'impact des résultats disponibles relatifs au comportement physico-chimique et thermique des colis de déchets bitumés sur les conditions d'accueil de ces colis dans Cigéo. A ce titre, vous demandez en particulier d'examiner la démarche retenue par l'Andra pour la définition de scénarios accidentels impliquant des colis de déchets bitumés, les scénarios qui en résultent, les évolutions de conception présentées et les études restant à mener ainsi que leur adéquation avec l'échéance de fin 2020 prévue pour le dépôt de la demande d'autorisation de création de Cigéo.

I. Contexte

Les fûts d'enrobé bitumineux (FEB) sont issus du traitement, dans les installations du CEA/Marcoule depuis 1966 et d'Orano/La Hague depuis 1989, de déchets liquides radioactifs par ajouts de sels de coprécipitation puis bitumage des boues obtenues. Les FEB qui relèvent de la catégorie de déchets dite de moyenne activité à vie longue (MAVL) sont destinés à être stockés dans Cigéo sous forme de colis de stockage (cf. figure 1 en annexe 2 au présent avis).

Les FEB présentent un potentiel de réactions chimiques exothermiques, par réactions d'oxydo-réduction entre sels ou par réactions sel/bitume, qui peuvent être déclenchées suite à un apport d'énergie thermique externe lié par exemple à une situation d'incendie. Ce potentiel pourrait conduire par emballement de ces réactions à une pyrolyse, voire à une inflammation de l'enrobé bitumineux. Ce phénomène, s'il n'est pas maîtrisé, est susceptible d'induire une dissémination importante des radionucléides contenus dans le FEB. La connaissance de la réactivité des FEB à la suite d'un apport d'énergie thermique externe constitue donc un élément essentiel à prendre en compte dans la démonstration de sûreté de leur stockage. Ce sujet a fait l'objet d'un programme d'études quadripartite entre l'Andra, Orano, le CEA et EDF, dont les résultats ont été examinés par l'IRSN dans ses avis n° 2017-00013 du 19 mai 2017 et n° 2018-00207 du 24 juillet 2018.

Adresse courrierBP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France**Siège social**31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Sur la base de ces examens, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a notamment demandé à l'Andra par lettre du 12 janvier 2018 de présenter dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo (DAC), si le stockage en l'état de tout ou partie des colis de déchets bitumés est envisagé, « *des modifications de conception pour exclure 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 ».*

Par lettre du 28 mai 2019, l'ASN a demandé en complément à l'Andra (i) « *de définir et de considérer un scénario d'emballlement et de perte de confinement d'un [FEB] dans un colis de stockage afin d'identifier les dispositions nécessaires pour limiter les conséquences de ce scénario et pour garantir l'absence de propagation de l'emballlement aux colis de stockage voisins* » et (ii) « *de prévoir les dispositions qui permettent, après extinction d'un incendie, de surveiller l'état thermique des [FEB]* ».

En préambule, l'IRSN rappelle que ses précédentes évaluations l'ont conduit à considérer que le stockage en l'état des FEB ne pourra concerner que ceux dont l'éligibilité aura été démontrée sur la base d'une campagne de caractérisation dédiée, les autres déchets devant faire l'objet d'une neutralisation de la réactivité des FEB par traitement.

La note transmise par l'Andra en juillet 2019 constitue un rapport d'étape visant à présenter les évolutions de conception et de gestion des risques envisagées depuis le dépôt du dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo en 2016, ainsi que les études en cours ou prévues, afin de répondre aux demandes de l'ASN précitées. L'Andra précise que la faisabilité technique de ces évolutions de conception est encore à l'étude.

II. Scenarii

L'Andra considère, en appui à l'identification des évolutions de conception pour renforcer la maîtrise des risques liés à la réactivité des FEB, des scenarii dits « de référence » comprenant les événements internes ainsi que les agressions externes les plus plausibles et un scénario dit « extrême » d'emballlement des réactions exothermiques au sein d'un FEB.

S'agissant des scenarii de référence, l'Andra identifie les causes susceptibles de conduire à une augmentation de température significative au niveau des colis de stockage de FEB et retient les incendies situés en cellule de manutention et en partie utile de l'alvéole MAVL. Afin d'évaluer cette augmentation de température, l'Andra construit des courbes de débits calorifiques établies sur la base de la charge calorifique des équipements identifiés à ce stade. Dans ce cadre, l'Andra définit un scénario enveloppe dit « court » de forte intensité dans lequel tous les équipements prennent feu simultanément et un scénario enveloppe dit « long » dans lequel ces équipements prennent successivement feu, **ce qui est satisfaisant sur le plan des principes**. Ces courbes de débits calorifiques permettent *in fine* la modélisation de l'agression thermique des colis de stockage par

l'incendie et notamment la vérification que la température au niveau de l'enrobé bitumé n'atteint pas 100°C. Ceci est cohérent avec les conclusions des dernières évaluations de l'IRSN, à savoir retenir comme base de conception une température seuil de 100°C en peau de colis primaire afin de disposer pleinement des marges de sûreté eu égard à la variabilité des contenus des FEB. Ces scénarii de référence, encore en cours de définition dans le cadre de la phase d'avant-projet détaillé (APD) de Cigéo, **n'appellent en conséquence pas de remarque de l'IRSN à ce stade.**

S'agissant du scénario extrême, l'Andra liste les conséquences potentielles pouvant résulter d'un emballement (cf. figure 2 en annexe 2 au présent avis). Outre l'échauffement du FEB lié à la réactivité et l'inflammation de l'enrobé, des effets de montée en pression du colis de stockage sont mentionnés et conduisent notamment l'Andra à s'interroger sur la possibilité de production de gaz inflammables s'échappant du colis et d'éjection du couvercle du conteneur de stockage. L'Andra prévoit ainsi la réalisation d'essais sur la tenue du conteneur de stockage à un feu interne et de simulations pour déterminer le niveau de pression qui conduirait à l'éjection du couvercle. A cette étape, l'Andra s'appuie sur des résultats existants pour évaluer la capacité du colis de stockage à conserver son intégrité et assurer une fonction de compartimentage en cas d'emballement d'un FEB. Ainsi, dans sa note, l'Andra présente des résultats d'essais de montée en pression du colis de stockage réalisés au stade du dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo et fait état *i*) d'une surpression limitée (400 Pa environ) mesurée dans le colis de stockage lors d'un essai d'évacuation de gaz reproduisant le cas d'une bouffée d'H₂ (débit de 10L.h⁻¹) ainsi que *ii*) de la tenue mécanique du couvercle d'un conteneur de stockage lors d'un essai d'explosion interne (concentration en H₂ de 32,5% dans l'air).

L'IRSN constate le caractère liminaire de la conceptualisation du scénario extrême et approuve la démarche de l'Andra prévoyant d'engager des études et des essais dédiés afin de définir ce scénario, en support à l'identification des dispositions nécessaires de limitation des conséquences, incluant l'absence de propagation de l'emballement aux colis de stockage voisins. A cet égard, l'IRSN souligne que la démonstration de la tenue du couvercle en cas de montée en pression reste à apporter. En effet, les conditions des essais existants liés à la tenue mécanique du couvercle des conteneurs de stockage ne sont pas représentatives d'un scénario d'emballement d'un FEB (gonflement du bitume, dégagements de H₂ et de gaz de pyrolyse, etc.). L'enjeu d'une telle démonstration est mis en exergue par les premiers résultats des calculs exploratoires de propagation thermique dans un alvéole de stockage en l'absence de couvercle présentés par l'Andra en annexe de sa note. Ces calculs montrent que des températures supérieures à 100°C sont atteintes en quelques heures en peau de colis primaire des colis de stockage voisins et que l'absence de propagation de l'emballement (si la tenue mécanique du couvercle n'est pas acquise) n'est pas garantie. En outre, l'IRSN observe que l'impact de l'inflammation de gaz s'échappant du colis de stockage sur les colis voisins au regard de la dynamique de propagation n'a pas fait l'objet d'étude à ce stade. **En conséquence, l'IRSN estime que les éléments permettant de conclure que le colis de stockage conserve son intégrité en cas d'emballement des réactions exothermiques au sein d'un FEB ne sont pas réunis. La réalisation des études et essais prévus par l'Andra est indispensable pour apporter cette démonstration.**

III. Evolutions de conception

L'Andra présente une évolution de l'agencement des colis de stockage des FEB, à présent sur deux niveaux au lieu de trois afin de disposer d'un espace libre en partie haute de l'alvéole (cf. figure 3 en

annexe 2 au présent avis) et ainsi permettre la mise en œuvre de dispositions complémentaires visant à renforcer la capacité à surveiller et à intervenir en cas d'événement. Ces dispositions consistent notamment en :

- un système de manutention complémentaire dédié au retrait d'un ou plusieurs colis de stockage en situation accidentelle. Ce système doit permettre un retrait plus rapide de colis de stockage (retrait d'au maximum deux colis avant de retirer un colis de stockage identifié comme suspect) qu'avec le système de référence (pont stockeur) ;
- un dispositif fixe en parois d'alvéole pour la surveillance de la température ambiante autour des colis de stockage par fibres optiques couplé au développement de moyens mobiles de surveillance et de diagnostic (robot équipé d'un bras télémanipulateur, de caméras et d'instruments de mesure) ;
- un système complémentaire d'extinction qui doit pouvoir être acheminé au plus près des colis de stockage (« robot pompier »).

L'IRSN estime que ces éléments sont de nature à améliorer la maîtrise du risque lié à l'incendie dans les alvéoles MAVL de Cigéo. En particulier, l'IRSN souligne les avancées que constituent, sur le plan des principes, les possibilités de surveillance à proximité des colis de stockage et, le cas échéant, de retrait rapide de ces colis. Leur faisabilité technique reste toutefois à démontrer. A cet égard, certaines incertitudes, mises en exergue lors de l'examen du DOS en 2017, demeurent en raison :

- des difficultés inhérentes à la surveillance de déchets stockés dans un alvéole irradiant inaccessible à l'homme de 500 m de long pendant une exploitation séculaire. En particulier, tout en soulignant l'intérêt de mettre en œuvre un dispositif de surveillance continue dans l'alvéole, l'IRSN s'interroge sur la faisabilité de la surveillance par fibres optiques disposées en parois d'alvéole en termes de délais et de sensibilité de détection d'échauffements des colis de stockage (présence de surconteneurs de stockage entravant la détection d'évolutions de la température des colis de stockage en rangée centrale) ;
- des difficultés de mise en œuvre de dispositifs d'extinction avec des capacités adaptées à l'extinction d'un FEB en colis de stockage (i.e. derrière 20 cm de béton).

L'IRSN souligne également que si un système de manutention complémentaire constitue une évolution satisfaisante, l'Andra n'a pas présenté d'élément sur la gestion après leur retrait des colis de stockage pour lesquels une augmentation de la température susceptible de conduire à un emballement des réactions exothermiques aurait été détectée. Cette gestion pourrait conduire à des renforcements d'exigences sur l'alvéole ou à des modifications de sa conception, par exemple si les colis retirés devaient séjourner dans une zone tampon avant d'être évacués en surface.

Pour le reste, l'IRSN relève que les options de conception et en particulier l'architecture de l'alvéole demeurent proches dans leur principe de celles présentées dans le DOS en 2016, la maîtrise des risques, en cas d'incendie non maîtrisé dans des délais courts, reposant en majeure partie sur le colis de stockage. Le colis de stockage assure ainsi, d'une part une fonction de protection thermique des FEB en cas de sollicitation thermique extérieure (scenarii de référence), d'autre part une fonction de compartimentage pour limiter les effets de l'emballement des réactions exothermiques au sein d'un FEB sur les colis de stockage voisins (scenarii extrême). A cet égard, l'Andra indique avoir envisagé

des types de compartimentage autres que le conteneur de stockage actuel (colis de stockage inertes ou parois fixes disposés dans l'alvéole) mais que ceux-ci ne sont pas pertinents pour des raisons notamment de contraintes de manutention, d'enjeux environnementaux et de coût. L'analyse des différents facteurs l'ayant conduit à retenir le conteneur de stockage comme seul dispositif de compartimentage n'est toutefois pas détaillée dans la note qui fait l'objet du présent examen.

L'IRSN rappelle que la démonstration de la capacité de ce conteneur à assurer une fonction de compartimentage en cas d'emballement des réactions exothermiques au sein d'un FEB n'est pas acquise (cf. supra). En outre, l'IRSN souligne que le recours à des exigences associées aux caractéristiques du conteneur de stockage (par exemple, épaisseur augmentée de 12 à 20 cm) pour garantir la fonction de compartimentage confère à la qualité de réalisation de chaque colis de stockage un poids très important dans la démonstration de sûreté de la conception de l'alvéole. A cet égard, la production de plusieurs milliers de conteneurs de stockage nécessaires à la prise en charge de l'inventaire des FEB pourrait s'étaler sur de longues durées compte tenu des évolutions possibles des chroniques de stockage et de l'exploitation séculaire de Cigéo. Le retour d'expérience montre que le maintien de la qualité de dispositifs concernant la sûreté peut être affecté par leur nombre et le temps sur lequel ils doivent être fabriqués ou entretenus (les défaillances de procédures, y compris certaines relatives à la qualité des colis, ayant mené à l'accident en février 2014 au centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (WIPP) situé au Nouveau-Mexique (Etats-Unis) en sont une illustration). De ce point de vue, le fait de ne retenir qu'une seule barrière physique (dans ce cas, le colis) constitue une fragilité au titre de la défense en profondeur qui veut que la défaillance d'une ligne de défense soit palliée par des lignes de défense complémentaires.

En conséquence et compte tenu de l'état d'avancement des études relatives aux principales dispositions de surveillance, d'intervention et de non propagation d'un emballement concourant à la maîtrise des risques liés à l'incendie, l'IRSN n'est pas en mesure de se prononcer à ce stade sur la pertinence des choix de conception retenus à ce stade par l'Andra, en particulier sur celui d'un poids très important donné au conteneur de stockage dans la démonstration de sûreté. En outre, au vu des études restant à mener, l'IRSN estime peu probable que la démonstration de sûreté du stockage des FEB en l'état puisse être apportée à l'échéance de fin 2020 prévue pour le dépôt du dossier en support à la DAC. Néanmoins, l'Andra devra à cette échéance apporter les éléments qui permettront d'évaluer l'accessibilité de la démonstration de la sûreté des options de conception qu'elle retient pour le stockage en l'état des FEB. A cet égard, l'IRSN considère que les demandes de l'ASN formulées dans ses lettres du 12 janvier 2018 et du 28 mai 2019 (cf. supra) restent d'actualité. Dans ce cadre, **l'IRSN considère que l'Andra devra plus particulièrement évaluer, s'agissant de la définition du scénario extrême d'emballement de réactions exothermiques, la surpression maximale générée dans un colis de stockage par un tel emballement en tenant compte de l'ensemble des phénomènes qui peuvent y contribuer et des conséquences possibles de cette surpression sur l'état du colis et de son environnement immédiat. L'Andra devra également produire une appréciation sur la possibilité de fabriquer en grand nombre des colis de stockage suffisamment robustes pour maintenir le niveau le confinement qu'exige la démonstration de sûreté vis-à-vis du scénario d'emballement nouvellement défini.** Ces points font l'objet des recommandations R1 et R2 en annexe 1 au présent avis.

L'IRSN rappelle par ailleurs que de façon générale, les éléments présentés à la DAC devront permettre de statuer sur les choix de conception à qualifier durant la phase pilote. A cet égard, il appartiendra à l'Andra de présenter le phasage de son programme d'études pour démontrer la sûreté du stockage des FEB en l'état dans Cigéo, en explicitant les objectifs associés à la phase pilote vis-à-vis du stockage en l'état des FEB.

IV. Conséquences radiologiques

L'Andra présente une évaluation des rejets et des conséquences radiologiques liés à la perte de confinement d'un colis de stockage de FEB consécutive à un incendie, sans propagation aux colis de stockage voisins (quelques μSv à court terme pour le public situé à 2 km). L'Andra précise que cette évaluation relève « *des études d'avant-projet sommaire [et] n'entre 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* ».

S'agissant des hypothèses retenues par l'Andra pour cette évaluation de conséquences radiologiques, l'IRSN relève en particulier que les facteurs de mise en suspension retenus par l'Andra sont ceux décrits dans la démarche dite « sélective » du guide inter-exploitant (GIE). A cet égard, l'IRSN rappelle que ce guide indique explicitement que son application ne concerne pas les futures installations souterraines de stockage de l'Andra au vu de leurs spécificités. A titre d'illustration, l'IRSN souligne qu'une partie des coefficients de remise en suspension de ce guide ont été établis sur la base d'essais représentatifs d'un accident de perte de réfrigérant primaire dans un réacteur à eau pressurisé. En outre, l'IRSN note que l'Andra retient un facteur de rétention complémentaire des aérosols lié à la capacité de confinement du conteneur de stockage (10^{-2}). A cet égard, l'IRSN rappelle que la tenue mécanique du couvercle du conteneur de stockage en cas d'emballement des réactions exothermiques au sein de l'enrobé bitumé n'a pas été démontrée à ce stade (cf. supra). En l'état, l'IRSN estime donc que l'évaluation des conséquences radiologiques liées à la perte de confinement d'un colis de stockage de FEB consécutive à un incendie menée par l'Andra ne repose pas sur des hypothèses circonstanciées et, en tout état de cause, ne peut permettre de se prononcer sur les enjeux radiologiques associés. L'IRSN insiste sur l'importance d'évaluer convenablement la gravité des conséquences possibles du scénario d'emballement afin d'apporter une réponse appropriée sur les dispositions à prendre pour les réduire.

En conséquence, l'IRSN recommande que l'Andra, dans le cadre de la DAC de Cigéo, justifie et, le cas échéant, révise son évaluation des conséquences radiologiques liées à l'incendie d'un colis de stockage de FEB en alvéole MAVL sur la base d'hypothèses étayées et circonstanciées. Selon les résultats obtenus, l'Andra devra présenter, sur le plan de leurs principes, les lignes de défense supplémentaires qui pourraient être mises en œuvre pour limiter la dissémination de matière radioactive à l'extérieur de l'alvéole et de l'installation ainsi que les conséquences associées. Ce point fait l'objet de la recommandation R3 en annexe 1 au présent avis.

V. Conclusion

En conclusion, l'IRSN considère que la démarche initiée par l'Andra devrait apporter des éléments de réponses aux demandes de l'ASN relatives aux risques liés à l'incendie dans les alvéoles MAVL dédiées aux déchets bitumés en vue de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo. Les évolutions

de conception présentées concourent, sur le plan des principes, à améliorer la maîtrise de ces risques. Toutefois, la démonstration de sûreté n'est pas acquise à ce stade. Aussi, l'IRSN estime que dans le dossier qu'elle prévoit de déposer en support à la DAC, l'Andra devra présenter les éléments permettant de se prononcer sur le caractère accessible de la démonstration de la sûreté des options de conception retenues, dont les éléments appelés par les recommandations R1, R2 et R3 formulées en annexe 1 au présent avis, ainsi que le cas échéant le phasage des travaux nécessaires pour aboutir à la pleine démonstration de la sûreté du stockage des FEB en l'état dans Cigéo.

Pour le Directeur général, par délégation

François BESNUS

Directeur de l'Environnement

Recommandations

L'IRSN recommande que l'Andra, dans le cadre de la DAC de Cigéo :

- R1. présente une définition du scénario extrême d'emballlement de réactions exothermiques au sein d'un FEB qui s'appuie sur une évaluation de la surpression maximale générée par un tel emballlement dans le colis de stockage tenant compte de l'ensemble des phénomènes et conséquences possibles de cette surpression sur l'état du colis et de son environnement immédiat.
- R2. produise une appréciation sur la possibilité de fabriquer en grand nombre des colis de stockage suffisamment robustes pour maintenir le niveau le confinement qu'exige la démonstration de sûreté vis-à-vis du scénario extrême d'emballlement de réactions exothermiques au sein d'un FEB nouvellement défini.
- R3. justifie et, le cas échéant, révisé son évaluation des conséquences radiologiques liées à l'incendie d'un colis de stockage de FEB en alvéole MAVL sur la base d'hypothèses étayées et circonstanciées. Selon les résultats obtenus, l'Andra devra présenter, sur le plan de leurs principes, les lignes de défense supplémentaires qui pourraient être mises en œuvre pour limiter la dissémination de matière radioactive à l'extérieur de l'alvéole et de l'installation ainsi que les conséquences associées.

Figures extraites de la note Andra sur le stockage en l'état des FEB dans Cigéo

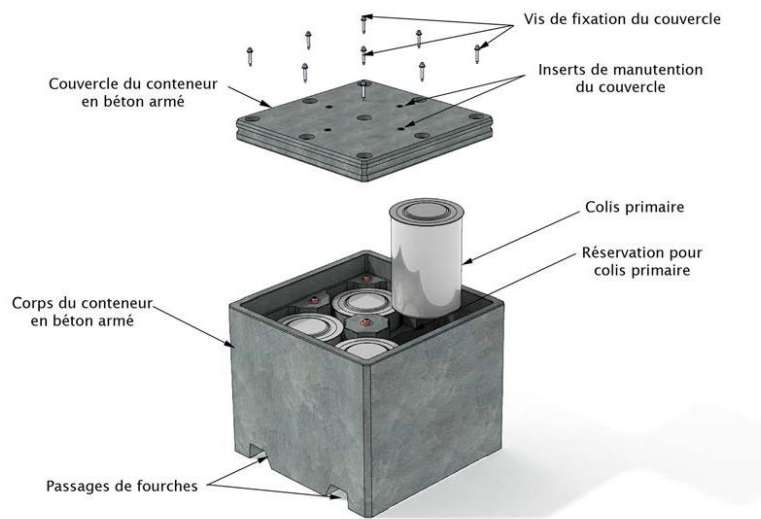


Figure 1 : Schéma de principe d'un colis de stockage de déchets bitumés

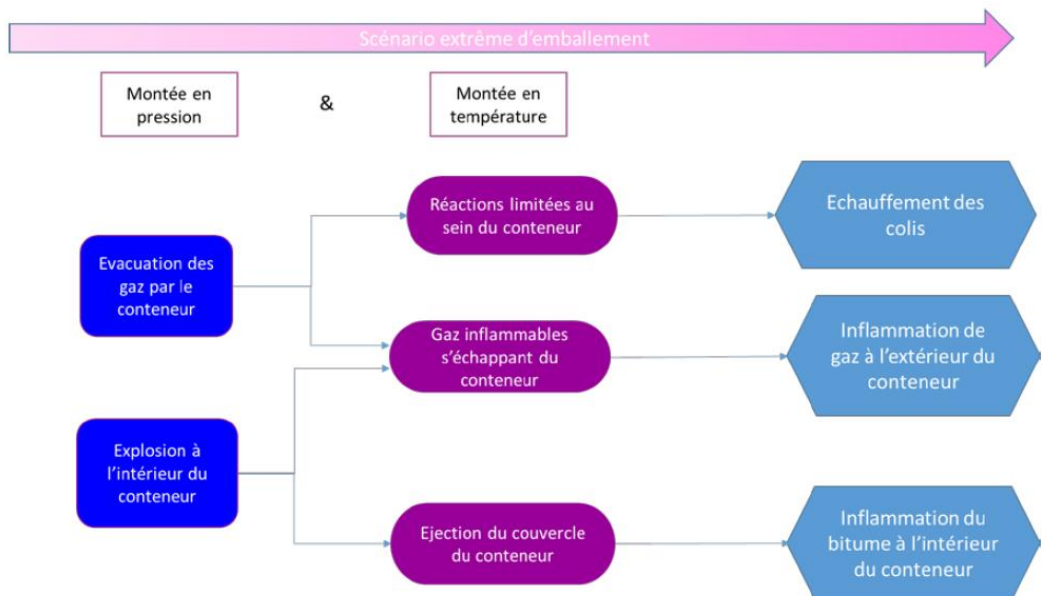


Figure 2 : Phénomènes et conséquences potentielles d'un emballement de FEB

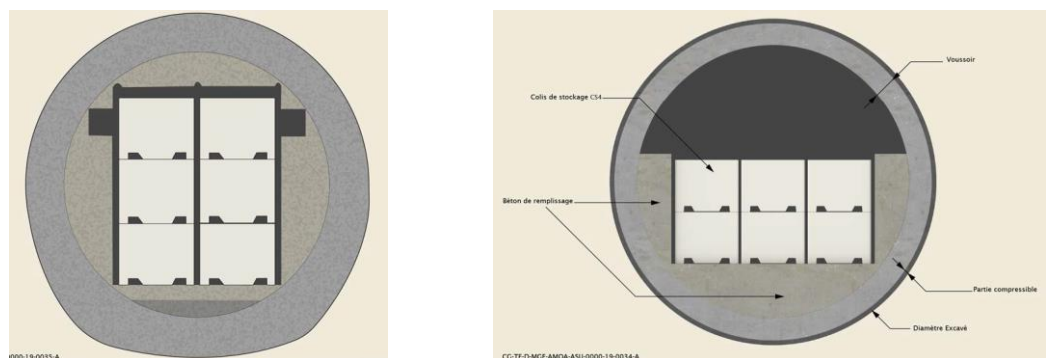


Figure 3 : Remplissage des alvéoles dédiées aux colis de stockage des déchets bitumés au stade du DOS (à gauche) et proposition à l'étude (à droite)

