



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Modalités de transport des colis de déchets bitumés depuis le site de Marcoule - CEA

24 avril 2020

Eric Fillion

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr

SOMMAIRE

- ▶ **Objet et contexte**
- ▶ **Cadre réglementaire**
- ▶ **Exclusions techniques**
- ▶ **Données d'entrée :**
 - Connaissances des bitumes
 - Programmes de gestion des déchets : flux et hypothèses de transports
 - Horizons temporels et schéma d'évacuation
- ▶ **Part des colis transportable en IP2 : classement des FEB au regard des critères de la réglementation transport**
 - Classement des FEB en 2035
 - Autres optimisations envisageables et transport sous « utilisation exclusive »
- ▶ **Retour d'Expérience des transports de bitumes de Marcoule vers le stockage CSA**
- ▶ **Retour d'Expérience du conditionnement des déchets bitumes pour stockage au CSA**
- ▶ **Part éventuel de colis transportable en type B générique**
 - Critère thermique des colis de boues bitumées de Marcoule
 - Prise en compte des effets de l'irradiation interne
 - Conclusions : sûreté et disponibilité à l'horizon 2045-2050
- ▶ **Conclusion : recherche d'un optimum global dans la gestion des filières**



Rapport du CEA au titre de l'article 47 du décret portant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018 (publié le 30 Juin 2018) : Transportabilité des colis de déchets bitumés de Marcoule vers les stockages Andra

- ▶ Etude des modalités de transport de tous les colis de bitumes de Marcoule, qu'ils soient de catégorie FAVL ou de catégorie MAVL. La preuve de leur transportabilité est apportée dans les deux scénarios :
 - i) celui de deux stockages FAVL et MAVL distincts ou
 - ii) celui où tous les colis seraient stockés à Cigéo, avec les colis MAVL dans l'inventaire de référence de Cigéo et les colis FAVL dans l'inventaire en réserve de Cigéo.

Données d'inventaires

- MAVL : Programme Industriel de Gestion des Déchets (PIGD) version E de novembre 2016. Document quadripartite Andra-Areva-CEA-EDF
- FAVL : Inventaire national catalogue des familles (2015) : Colis d'enrobés bitumineux (F9-4-x)



- ▶ **Inventaire de réserve de Cigéo** : article D.542-90 (CdE) : *«L'inventaire à retenir par l'Andra pour les études et recherches conduites en vue de concevoir le centre de stockage prévu à l'article L.542-10-1 de ce même code comprend un inventaire de référence et un inventaire de réserve. L'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique...»*
- ▶ Article n°40 de l'arrêté PNGMDR précise « ... iv. L'intégration à titre conservatoire de certains déchets FA-VL dans les réserves (... les déchets d'enrobés bitumineux FA-VL [non traités] ...) de l'inventaire de Cigéo».
- ▶ Proposition Andra de types et de quantités de déchets à inclure dans l'inventaire de réserve de Cigéo (Andra DG/17-0128 du 21 juin 2017 : article 56) : **inclut la totalité des bitumes FAVL de Marcoule** et précise que *«... la mise en œuvre des évolutions de conception nécessaires pour effectivement accueillir ces substances dans le centre de stockage, devra, le cas échéant, faire l'objet le moment venu de procédures d'autorisation adéquates ...»*.
- ▶ **Analyse de l'Andra** [note DISEF/DIR/18-0060] remise à l'ASN en avril 2018: **«Enjeux de sûreté après fermeture autour d'un concept de stockage à faible profondeur pour la gestion de déchets de type FAVL»** : Précise que : **«La coupure radiologique entre enrobés bitumineux FA-VL et MA-VL résulte de l'histoire ; il s'agit de déchets aux mêmes caractéristiques, présentant un continuum en termes d'activité, celle-ci restant faible au regard des autres déchets MA-VL»**. **Ce continuum avait déjà été analysé par l'Andra** (SUR NT AMES 07-0057 « Etude des caractéristiques physiques, radiologiques et chimiques des bitumes de Marcoule les moins actifs » 11/2007)

Exclusions techniques :

► Les éventuels transports liés à une hypothétique filière de traitement

- transport interne ou externe vers une (ou deux) hypothétique(s) future(s) usine(s) de traitement des bitumes (en absence de définition des éléments techniques dimensionnant un tel scénario : nature du traitement, flux objectifs, mode de conditionnement initial nécessaire au traitement, compatibilité des matériaux d'emballage, compléments de colisage, localisation des installations réceptrice, intérêt technico-économique, gain de sureté, etc.) ;
- transport des résidus d'un tel traitement hypothétique, conditionnés ou non

→ Le traitement des enrobés bitumés amènerait à redéfinir les conditions de transport après traitement

► Le cas des transports internes dans le périmètre de l'INBS CEA Marcoule :

- tels qu'actuellement réalisés lors du désentreposage des colis des casemates (après dépose des fûts dans des sur-fûts inox) vers leur nouveau lieu d'entreposage

→ Transports internes autorisées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire Défense : emballage DC6 dont le modèle de colis est homologué sur le site de Marcoule

- Pour les fûts d'enrobés bitumineux en cours de production :

- Le transfert interne à l'installation STEL (Station de Traitement des Effluents Liquides de Marcoule) comprenant à la fois l'atelier de bitumage et une casemate d'entreposage
- Le transfert vers l'atelier CDS pour conditionnement en colis agréés CSA par l'Andra (avant expédition sur voie publique au centre de stockage de l'Aube)

Programme Industriel de Gestion des Déchets (PIGD) pour Cigéo

- ▶ **PIGD = inventaire margé des colis de déchets + ordonnancement et flux prévisionnels de livraison des colis vers le Centre industriel de stockage géologique de déchets radioactifs, Cigéo**
- ▶ **Travail collaboratif et itératif entre les producteurs et l'Andra**
 - Les données d'entrée concernant l'inventaire des colis de déchets et leurs modalités de livraison (transport) sont de la responsabilité des producteurs.
 - Ces données d'entrée sont portées à la connaissance de l'Andra pour planifier et mettre en cohérence les moyens industriels à développer pour Cigéo.
 - Première version 01/2012 (indice A) = données d'entrée aux études d'**esquisse** du projet de stockage géologique + évaluation (CNE + ASN avec IRSN et GPD)
 - Version 01/2014 (indice D) = donnée d'entrée aux études **d'Avant-Projet Sommaire** de Cigéo
 - Dernière version 11/2016 (indice E) = donnée d'entrée aux études **d'Avant-Projet Détaillée** de Cigéo

Hypothèses de chroniques de livraison au stockage FAVL : A titre prospectif

- ▶ **Hypothèse d'ouverture d'un stockage FAVL à l'horizon de 2032-2036** (Andra DG/17-0163 du 22/11/2017) + **conception modulaire et déploiement progressif** de plusieurs plateformes exploitées successivement :
 - Les colis de déchets bitumés de Marcoule pourraient être reçus à **l'horizon 2045-2050**
 - Chronique volontariste de livraison des colis FAVL pourrait se résumer à environ **600 colis de 4 fûts par an sur une quinzaine d'années**
- ▶ A titre de précaution: colis FAVL tous dans **l'inventaire de réserve de Cigéo**

Hypothèse 2035 comme échéance commune d'ouverture des deux stockages

- ▶ **Planning fin de désentreposage des casemates de Marcoule : horizon 2050**
- ▶ **Pour Cigéo**, la fin de la Phase Industrielle Pilote de Cigéo en 2036 est un objectif calendaire sans marge et sans aléa du planning de référence. **La livraison pour stockage de colis de déchets bitumés de Marcoule est envisagée à l'horizon 2045-2050** dans l'hypothèse d'une évolution de la conception des alvéoles MAVL pour stockage des colis de bitume de Marcoule par 4 en conteneur CS4 conçus par l'Andra
- ▶ Pour Cigéo, le planning de référence du projet prévoit la construction puis la **mise à disposition de l'installation de déchargement des emballages à déchargements horizontaux** au-delà de la Phase Industrielle Pilote, **vers 2050**. Or si des transports de type IP2 pour des colis de déchets bitumés de Marcoule devaient être mis en œuvre, ils nécessiteraient l'usage du bâtiment dédié aux déchargements horizontaux. Cette restriction s'imposerait aussi pour l'ensemble des colis de déchets bitumés FAVL de l'inventaire en réserve
- ▶ **Pour un stockage FAVL**, la fin de la séquence 2032-2036 indiquée par l'Andra pour la mise en actif au plus tôt d'un stockage FAVL constitue une hypothèse optimiste : Ensuite, la mise en œuvre pleinement opérationnelle d'une **plate-forme accessible aux colis de bitume n'est, là encore envisageable qu'à l'horizon 2050**
- ▶ **2035 de manière pénalisante** : point de vue de la sûreté des transports et de la radioprotection, compte tenu du spectre radiologique des fûts d'enrobés bitumineux

- ▶ **Classement des FEB au regard des critères de la réglementation transport :**
 - Vieillessement du spectre radiologique des boues bitumées au **1er juin 2035**, en tant qu'échéance au plus tôt pour prise en charge dans l'un des stockages ;
 - Les 61 338 FEB considérés sont tous les FEB entreposés à Marcoule ;

- ▶ **90 % des fûts d'enrobés bitumineux peuvent être conditionnés en colis de type CBFK-B (par 4 et sans assemblage) pour être transportés depuis Marcoule en 2035 (en conteneur ISO 20 ft)**

- ▶ **Environ 5 % des FEB restantes peuvent aussi être transportés en tenant compte de l'assemblage par 4 de FEB différentes (en conteneurs blindés, sous utilisation exclusive)**

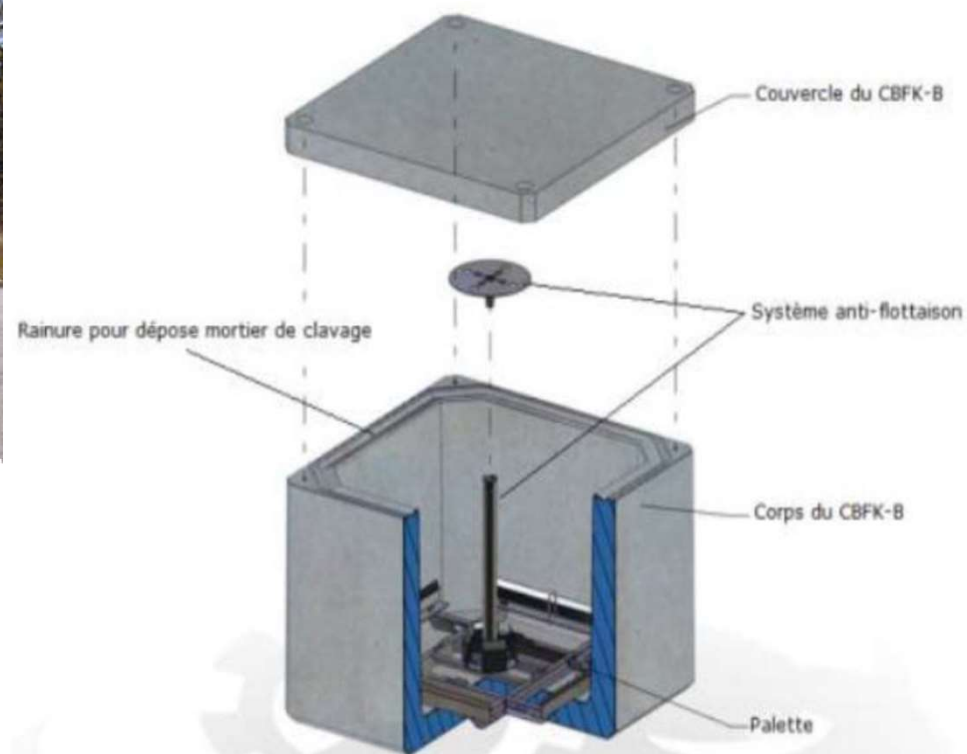
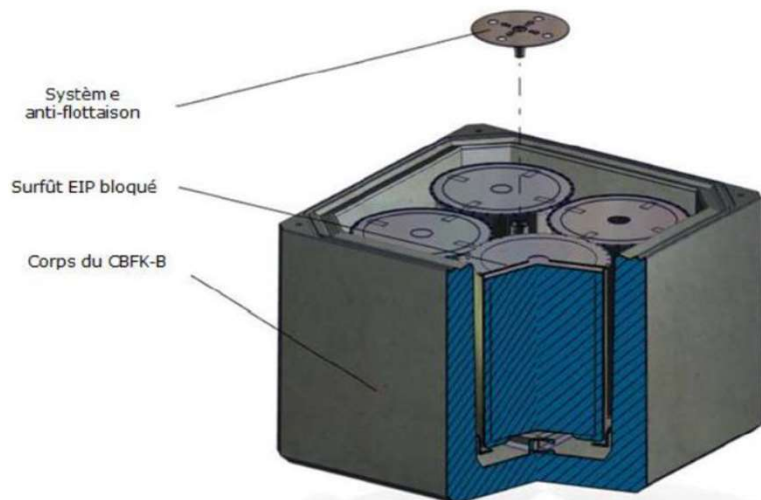
- ▶ **Parmi les autres FEB, un transport en emballage de type B, constitue un schéma prudent en 2035, qui tient compte de critères très pénalisants**
 - La totalité des transports en emballage de type B concernerait **uniquement des colis MAVL à destination de Cigéo**. En 2035, il s'agirait au maximum de **moins de 400 trajets** en RT-100 (ROBATEL : concept RT-100[®] pour 10 FEB) ou 600 trajets en TN-833 (TNI : concept TN-833[®] avec aménagement interne à 2 niveaux de 3 FEB surfûtés en 380L)
 - Il n'y aura donc aucun transport de ce type vers le futur stockage FAVL de l'Andra

- ▶ **Horizon réaliste 2050-2065 : un nombre de transport en colis de type B très limité**

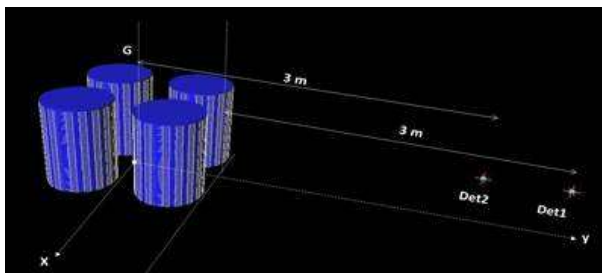
Conteneurs cubiques en béton fibre : CBFK et CBFK-B avec 4 sur-fûts inox de 380L EIP bloqués



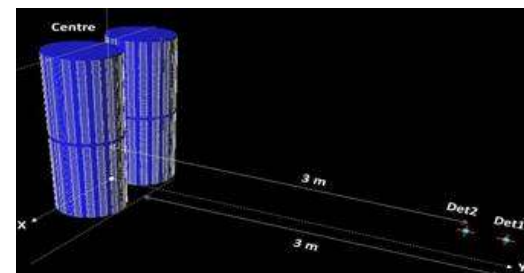
*fibres métalliques
du béton fibre*



- *Système anti-flottaison*
- *Blocage des 4 sur-fûts 380L inox*
- *Clavage du couvercle boulonné*



*Configuration de calcul
très pénalisante*



De nombreuses hypothèses pénalisantes :

- ▶ Simulations matière nue avec perte d'intégrité totale de la géométrie
- ▶ Vieillessement du spectre radiologique des boues bitumées au 1er juin 2035
- ▶ Simulations sans assemblage : pour chaque FEB, un calcul avec 3 jumeaux numériques fictifs pour occuper les 4 places du colis : critère pour chaque FEB pris individuellement
- ▶ Matière fissile comptabilisée sans exclure l'U5 appauvri (spectres UNGG)
- ▶ Simulations sans protections radiologiques complémentaires des conteneurs IP2



1. Introduction de fûts en CBFK

2. Immobilisation par injection d'un mortier et fermeture du CBFK, puis,

3. déplacement du colis pour entreposage le temps nécessaire au séchage du mortier

- ▶ Opérations industrielles actuelles de constitution de colis CBFK à Marcoule : Exemple pour 5 fûts de déchets radioactifs dont 1 à 3 peuvent être des fûts de déchets bitumés (agrément Andra) production actuelle en fûts inox de 220L.
- ▶ Transport sur voie publique de ces colis d'enrobés de boues bitumées de catégorie FMA-VC, qui sont évacués depuis le site du CEA Marcoule vers le CSA, en colis de transport de type IP2



Essais de chute d'un CBFK pour sa qualification IP2

- ▶ **Attestations de conformité au type IP2 délivrées pour les transports sur route effectués sous la responsabilité du CEA :**
 - Colis CBFK et en tant qu'emballage de transport
 - Colis CBFK-B en tant qu'emballage de transport
- ▶ **pour des matières radioactives solides LSA-I ou LSA-II non fissiles ou fissiles exceptées**

Divers chargements : 4 fûts STEMA, 4 sur-fûts EIP 380L contenant des fûts de relargage ou contenant des fûts d'enrobés bitumes, 5 fûts de 220L dont 1 à 3 FEB Qualité Produits, etc.



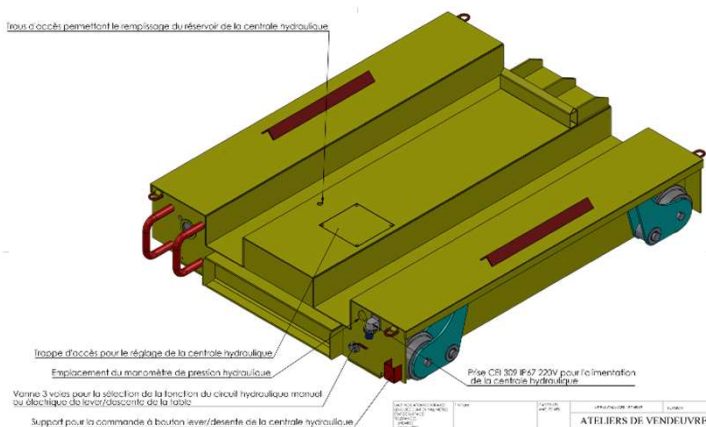
Exemple : Manutention, chargement pour transport avec table hydraulique électrifiée

Opérations de manutention et de transport des colis considérés (colis cubiques en bétons-fibres, colis pré-bétonnés à enveloppes métalliques et colis cylindriques bétons) sont :

- ▶ couramment mises en œuvre depuis des décennies
- ▶ conformes aux normes récentes les plus strictes en matières de transport / manutention



► Illustration : *manutention, chargement et transport standard* (savoyarde)

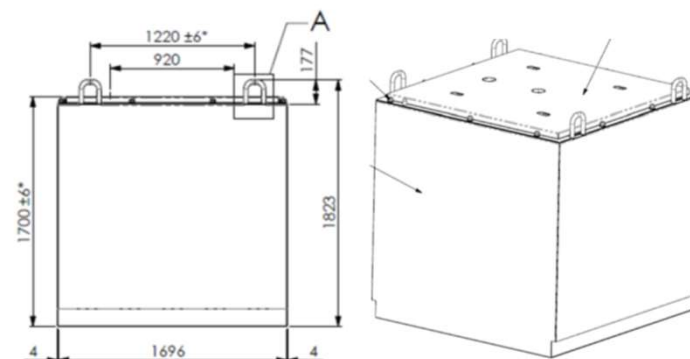


► Illustration : *table hydraulique électrifiée du caisson de transport* (voir photos 1/2)

Agréments par l'Andra : Processus dynamique d'autorisations au fur et à mesure des colis de déchets agréés pour le CSA : agréments pour des colis similaires :

- ▶ Agrément 12K pour fûts de relargage conditionnés en conteneurs cubiques en béton-fibres métalliques boulonnés (CBFK-B) pour 4 sur-fûts EIP de 380L avec 4 fûts de relargage
- ▶ Agrément 12S – Fûts 380L produits par l'installation STEMA et conditionnés par 4 en conteneurs CBFK-B
- ▶ Agrément 12G - Fûts d'enrobés bitumineux et fûts de déchets technologiques hétérogènes immobilisés dans un conteneur CBFK
- ▶ Agrément père 12B - Déchets irradiants en BIR (boîte intermédiaire renforcée) mise en conteneur CBFK

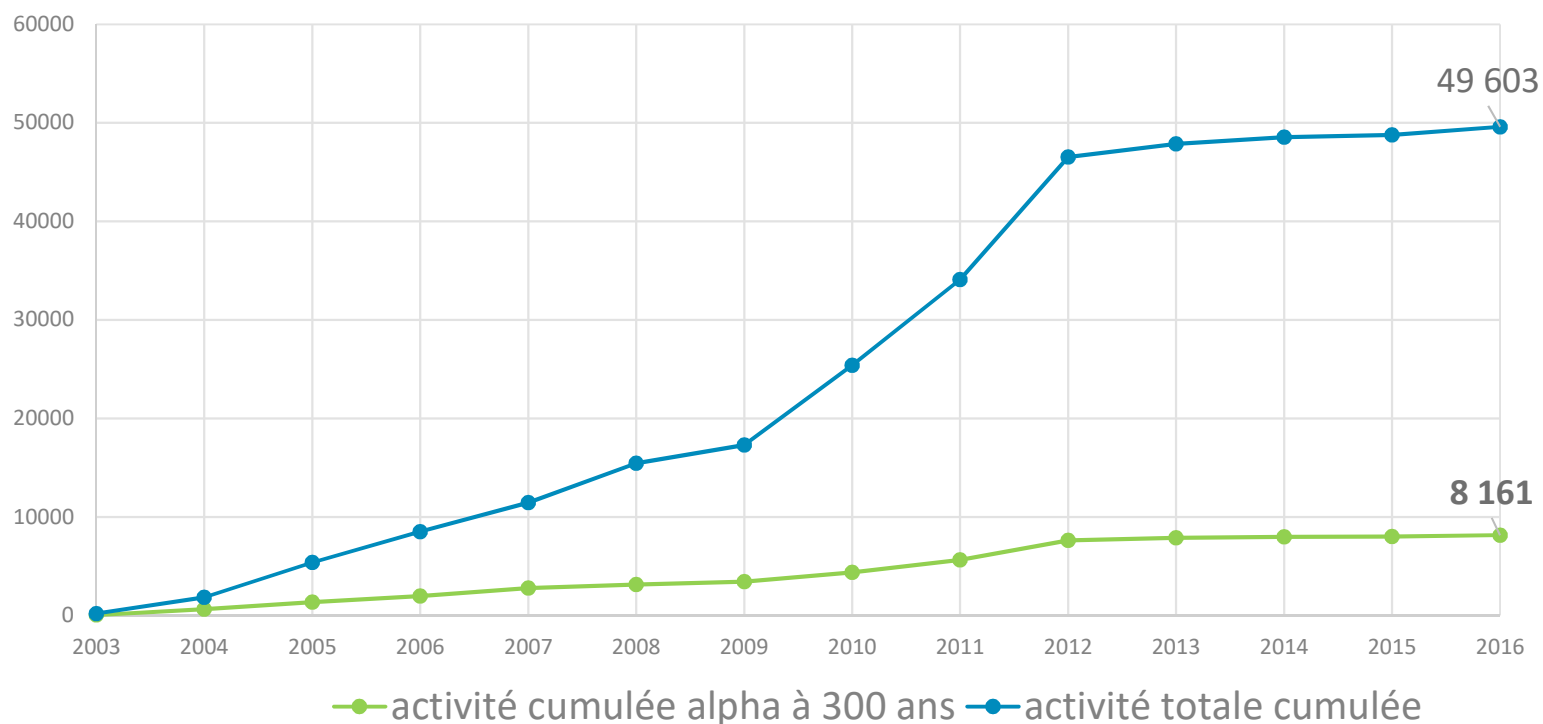
Nouveaux agréments : Familles de colis relatives aux déchets hétérogènes immobilisés dans un caisson métallique 5 m³ à enveloppe interne confinante (nouveau mortier confinant)



- ▶ **En 15 années de livraisons au CSA de l'Andra (à fin 2017) : aucun écart lié aux fûts de déchets bitumés n'a été constaté** (Pour des colis pourtant soumis à un haut niveau de contrôle qualité colis)
- ▶ Les seuls constats concernent la problématique générique des coques béton, dont les CBFK, avec la **présence de petites fissurations de dimensions proches de celles des tolérances spécifiées des discontinuités** inévitables dans un matériau hétérogène
- ▶ **En 2003, l'agrément initial de l'Andra accordait une autorisation pour un seul fût inox de 200L d'enrobés bitumineux, produits à la STEL sous assurance qualité produit, par CBFK, avec 4 autres fûts de déchets non bitumés**
- ▶ **Après instruction d'une demande d'extension et prise en compte du retour d'expérience pour améliorer les pratiques, l'Andra a autorisé en 2007 le remplissage d'un CBFK avec 3 fûts d'enrobés bitumineux et deux autres fûts contenant d'autres natures de déchets**
- ▶ **Ainsi, pendant la décennie suivante, les colis CBFK ont été constitués avec de 1 à 3 fûts de déchets bitumés.**
- ▶ **Au total plus de 640 FEB de Marcoule ont été stockés au CSA à fin 2017**

De 2003 à fin 2017 : 640 FEB de Marcoule ont été stockés au CSA

Activités des FEB stockés au CSA en CBFK (GBq)



Pour mémoire : le stockage au CSM de 4649 fûts de déchets bitumés de Marcoule (produits entre 1966 et 1979) a été réalisé en toute sûreté, parmi le stockage d'environ 105 000 m³ de déchets du CEA sur les 530 000 m³ de déchets stockés au CSM

Les colis CBF constituent un standard industriel pour le conditionnement des déchets des grands producteurs français (EDF, Orano et CEA) et leur acheminement est maîtrisé pour le stockage au CSA de l'Andra

Ces opérations standardisées de transports sont réalisées industriellement sans aucun incident significatif depuis des décennies depuis Marcoule et La Hague

Ce processus est mis en œuvre continuellement depuis de nombreuses années sous le contrôle permanent des deux autorités de sûreté nucléaire, civile et défense, chacune dans son domaine de prérogative :

- ▶ **L'ASND contrôlant le fonctionnement de l'atelier de conditionnement de ces colis (CDS) et la production des FEB à la STEL (tout comme l'ASN à La Hague), ainsi que les transports internes dans le périmètre INBS de Marcoule et les opérations d'entreposage en casemate 14 et dans les alvéoles EIP pour les FEB reprises**
- ▶ **L'ASN contrôlant les transports de ces colis sur voie publique vers le CSA, les opérations de manutention et de gestion et de stockage au CSA**

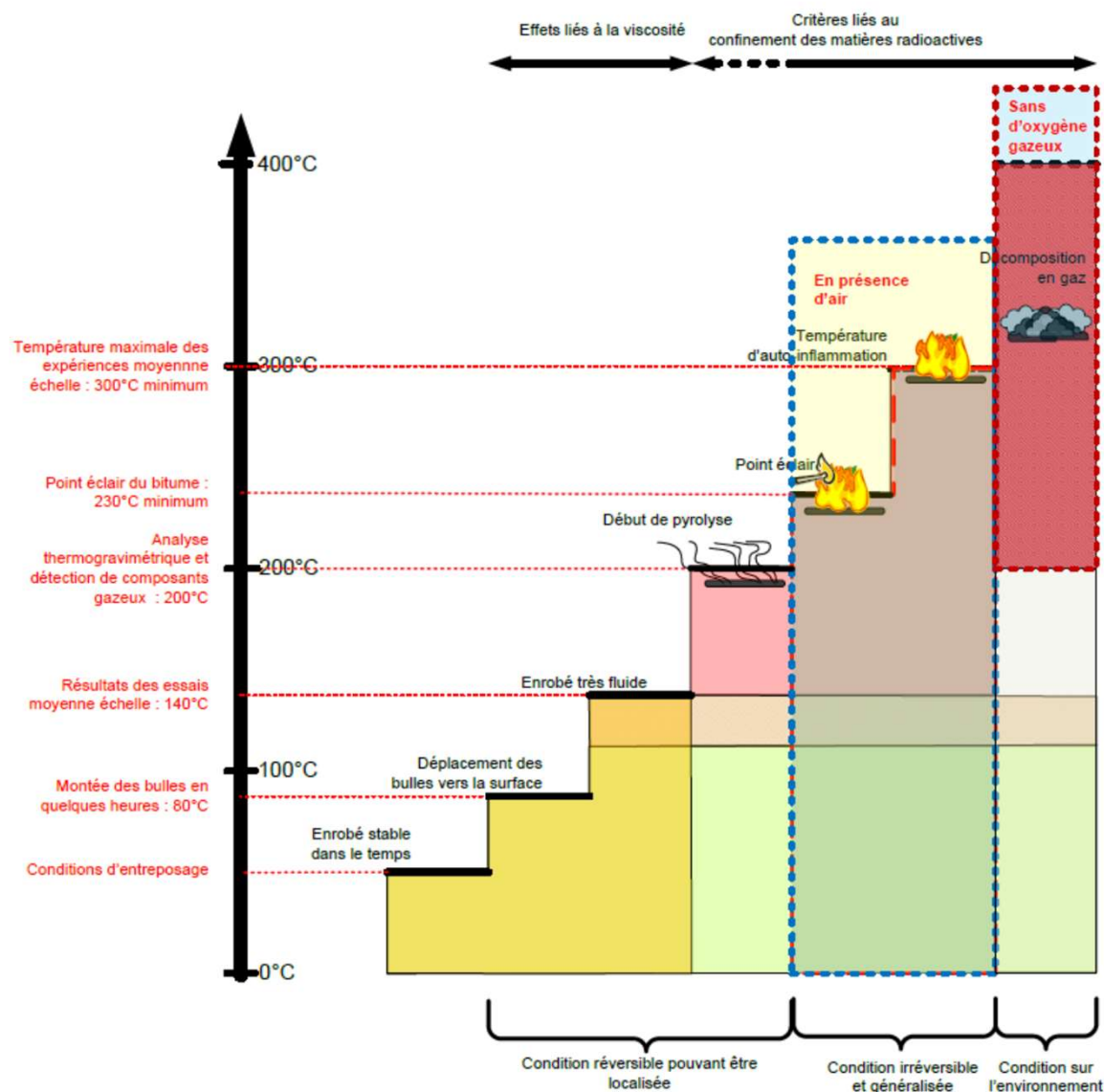
en accord avec les référentiels de sûreté des installations

- ▶ **Flux résiduel (MAVL) depuis le CEA Marcoule après 2050: au maximum un millier de fûts**
 - Le transport de ces colis (qui ne seraient pas éligibles à une solution robuste et économique du type IP2) nécessiterait la mise en œuvre **d'un colis de type B**
 - Les modèles de colis de ce type sont développés sur un **marché international par des concepteurs spécialisés**
 - Ils font l'objet d'un processus d'autorisation **rigoureux et assez long**
- ▶ L'un des concepts d'emballage, dont l'adaptation a été **étudiée pour le transport des colis de déchets bitumés de Marcoule, est le TN-833[®] conçu par TN International** :
 - Ce concept a fait l'objet d'un **avis positif du Groupe Permanent d'experts pour le Transport** de matières radioactives et fissiles à usage civil, le 28 juin 2011. Cet avis est relatif à la conformité aux exigences applicables aux colis de type B(U) chargés de matières fissiles, pour le transport routier et ferroviaire, du modèle de colis TN-833[®]
 - Le **contenu défini pour ce modèle de colis est composé de fûts d'enrobés de déchets bitumés produits dans l'atelier STE3** de La Hague (fûts « STE3 »)
- ▶ Dans le cadre de ses études de faisabilité, le CEA a étudié et défini d'autres alternatives avec d'autres concepteurs : Le CEA dispose ainsi d'un **premier panorama du parc d'emballages nécessaire au respect des cadences du PIGD** pour l'ensemble des natures de colis de déchets dont il est détenteur
 - Les concepts d'emballages les plus récents et jugés les plus pérennes pour les autorités ont été identifiés
 - Entre autres, un concept plus capacitif pour les FEB de Marcoule a été étudié par le CEA avec le concepteur ROBATEL (concept RT-100[®])

- ▶ **Spécificités des FEB de Marcoule** (pour le transport en emballage de type B comparativement à ceux utilisées pour le développement du concept TN-833®) :
 - Une **masse de bitume réduite** : le concept envisagé par le concepteur de l'emballage, pour le CEA concerne 4 ou 6 fûts callés avec un aménagement interne spécifique (au lieu de 12 dans le cas étudié en GP pour Areva – devenu Orano Cycle)
 - Un **critère thermique plus élevé** que celui de **100°C** retenu en 2011 par la société TNI pour les bitumes STE3 de La Hague, puisque le CEA retient sur le fondement des études les plus récentes (2014-2018) un critère de sûreté de **180°C** toute incertitude comprise pour les fûts de déchets bitumés à la STEL de Marcoule

- ▶ **Il y a donc trois facteurs favorables en 2018** :
 - un aménagement interne avec 4 à 6 sur-fûts inox de 380 L contenant donc au total 4 à 6 fûts de 210 L pour Marcoule (remplissage moyen des fûts de 70% d'enrobé bitumé en volume) à comparer aux 12 Colis primaires de 210 L de bitumes de La Hague
 - un **critère de sûreté de 180°C** issus des travaux récents du CEA, travaux publiés pour soutenir les analyses de sûreté des FEB Marcoule, lors des opérations de reprise, en transport interne en DC6, en entreposage dans les EIP, en transports externes puis en stockage
 - une **absence de réactivité thermique en dessous de 150°C** pour les FEB produits à la STEL de Marcoule et une réactivité thermique détectable avec les outils de mesures micro-calorimétriques entre 150 et **200°C** mais cependant **sans impact en termes d'énergie d'auto-échauffement**

- ▶ Sans oxygène gazeux, décomposition en gaz jusqu'à 400°C
- ▶ En présence d'air, pas d'auto-inflammation en dessous de 300°C
- ▶ Début de pyrolyse localisée : critère physique de 200°C et une marge de sûreté de 20°C est retenue
- ▶ Le critère thermique retenu par le CEA est de 180°C (marge de sûreté comprise)





Colis de stockage béton instrumenté, contenant 4 Fûts métalliques d'enrobés de boues bitumées de 250kg chacun (gauche). Vue de détail de l'enrobé dans un fût (droite)



Chambre d'essai feu avec le colis de stockage contenant les 4 fûts d'enrobés (gauche). Essai feu réel agressant le colis de stockage (droite)

A l'échelle 1 réelle, feu de plus de 1000°C pendant 2 heures :

- ▶ le colis assure une protection thermique efficace des 4 FEB face à l'onde de chaleur. La température des FEB n'atteint pas plus de 120°C, très ponctuellement en certains points des faces externes de leur enveloppe métallique
- ▶ Dans la masse, la température reste toujours inférieure à 80°C
 - Aucun endommagement des enrobés n'a lieu, ni auto-échauffement ni auto-inflammation : les fûts d'enrobés restent intègres physiquement
 - Le conteneur béton reste confinant et manutentionnable post-incendie
 - Des études ont été également conduites avec un conteneur de stockage à l'épaisseur renforcée de béton (20 cm) conduisant à réduire encore plus la température ponctuelle à l'intérieur du conteneur, à une valeur n'excédant alors pas 70°C

Les essais de chauffe jusqu'à 300°C à l'échelle de 2kg d'enrobés montrent que :

- ▶ la température à cœur peut atteindre 250°C
- ▶ Pour autant, **aucune composition d'enrobé bitume ne s'est auto-échauffée ni auto-enflammée dans ces conditions**
- ▶ Cette réponse confirme les données historiques des dossiers de sûreté des exploitants nucléaires, qui considèrent une **température d'auto-inflammation supérieure à 300°C**

- ▶ **Le caractère isolant de l'enrobé explique les forts gradients de température interne : La faible diffusivité thermique de l'enrobé induit la très faible vitesse de propagation du front de chaleur vers l'intérieur**
 - Une sollicitation brutale externe à 100°C durant 80 minutes conduit à l'atteinte d'une température à cœur de seulement 50°C pour un cylindre de 55 mm de rayon
 - Les processus physiques de transfert de chaleur sont identifiés : ils sont **uniquement par conduction de l'ambiante jusqu'à 110°C**. Ce mode de transfert thermique reste prépondérant tant que la viscosité n'a pas chuté fortement pour des températures supérieures à 140°C et qu'un gradient de température vertical s'opposant à la gravité n'a pas été créé

- ▶ La **rétenction des bulles d'hydrogène** formées dépend de l'équilibre entre le taux de production de gaz et la vitesse d'échappement des bulles. Cet équilibre se caractérise par un gonflement de l'enrobé correspondant à **l'hydrogène gazeux piégé sous forme de bulles. La production de gaz est liée à l'importance de l'irradiation interne**
- ▶ La vitesse d'échappement dépend de la diffusion de l'hydrogène dans l'enrobé et de la **vitesse de migration des bulles**
- ▶ La présence de bulles d'hydrogène, et donc d'un milieu diphasique modifie les échanges thermiques internes par conduction. **Cette influence disparaît si toutes les bulles contenues s'échappent du volume**
- ▶ Ceci se produit en **environ 1 heure dans le cas d'un enrobé STEL chauffé à une température de 110°C. Cette température est nettement inférieure aux températures liées aux réactions chimiques** et inférieure aux températures de référence pour les changements de caractéristiques physiques de l'enrobé
 - Il y a donc **découplage entre l'échappement des bulles initialement présentes et les phénomènes de réactions exothermiques** lors d'une sollicitation d'un fût d'enrobé de boues bitumées actives par un incendie externe
 - Les transferts de masse dans l'enrobé interviennent également quand **la majorité des bulles initialement présentes se sont échappées**

Les résultats acquis (2013-2018) fondent les conclusions de sûreté suivantes :

- ▶ **La puissance dégagée** par les réactions exothermiques des enrobés industriels, dans la gamme de températures 50°-200°C, est faible et **systématiquement inférieure à 5 mW/g**
- ▶ **Une puissance inférieure ou égale à 5mW/g garantit l'absence d'auto-échauffement de l'enrobé sur la plage de température de l'ambiante jusqu'à 200°C**
- ▶ **Le maintien à 180°C d'enrobés, pendant une durée d'une journée, n'est pas capable de conduire à un auto-échauffement**
- ▶ **Pour une configuration des colis de 4 FEB par conteneur béton**, les essais d'incendie à l'échelle réelle montrent que la sollicitation thermique sur l'enrobé de boues bitumées est limitée à 120°C, de façon ponctuelle en certains points. Cette température est bien en deçà de la température maximale de 300°C de sollicitation atteinte lors des essais de comportement à moyenne échelle, qui n'a pas démontré de processus d'auto-inflammation. **Ainsi, il existe une marge de sûreté très conséquente d'au-moins 100°C.**

- ▶ **La disponibilité d'un emballage de type B permettant de réaliser les transports vers Cigéo à l'horizon 2045-2050 sera atteignable industriellement**
- ▶ Le CEA se garde la possibilité de mutualiser l'utilisation, la fabrication ou la conception de certains emballages avec Orano et EDF ou de choisir ou concevoir ses propres emballages
- ▶ **Le choix définitif des emballages de référence sera fonction de la stratégie d'aménagement des installations expéditrices et des infrastructures de transport, dont découlent les capacités des emballages et aussi l'optimum des coûts d'ensemble de la filière**
- ▶ **L'éventuelle mutualisation sera étudiée en tenant compte du petit flux additionnel que constituerait le transport des colis non IP2 depuis Marcoule** : En particulier, la limitation de masse de l'emballage, pour un flux réduit, pourrait amener à privilégier le développement d'un emballage de plus petite capacité

Retour d'expérience : Le CEA a par exemple réalisé en mars 2017, le retour d'un fût d'enrobés bitumineux (FEB échelle 1 actif) de Marcoule qui avait été transporté à Cadarache (INB Chicade) il y a une quinzaine d'années. Ce transport a été effectué avec un caisson IP2 contenant un emballage RD16, car le RD16 n'était plus agréé comme château de transport voie publique

Conclusion : Recherche d'un optimum global dans la gestion des filières

- ▶ La disponibilité d'un modèle de colis de transport de type B au-delà de 2050 pour gérer les quelques derniers transports de FEB vers Cigéo ne présente aucune difficulté perceptible actuellement
- ▶ Ces quelques transports viendraient vraisemblablement après et en complément des autres nombreux transports en IP2 déjà effectués vers les centres de l'Andra, au CSA puis au FAVL et à Cigéo dans le module de déchargement horizontal pour optimiser dans sa globalité la gestion des déchets du CEA
- ▶ Dans tous les cas, le CEA, se doit de garantir :
 - la **qualité scientifique de la démonstration** dans les différentes instructions contribuant aux **prises de décision** (reprise des déchets et mode d'entreposage, éventuel traitement des déchets, conditionnement en colis, transport des colis, mode de stockage des colis) ;
 - la préservation de l'argent public, **qui implique des solutions proportionnées aux enjeux**. Aussi, si la conception existante des colis, de leurs transports et des stockages, s'avère suffisante pour maîtriser l'ensemble des risques, la mise en œuvre de ces solutions de gestion devrait être décidée. Cette préservation des moyens mobilisables milite pour des prises de décisions opérationnelles, car les repousser amènerait à poursuivre de multiples voies en parallèle ce qui est aussi source de dépenses
- ▶ Enfin, les flux des transports vers l'ensemble des stockages devront aussi faire l'objet d'une optimisation globale. Ainsi, si le ferroutage peut ne pas s'avérer pertinent pour le flux des transports vers l'un des centres de stockage de l'Andra, la massification des flux peut permettre d'accroître l'attractivité de ce mode de transport

- ▶ **Pour le CEA une grande majorité des colis de transport seront des colis IP2 et transportables suivant des pratiques déjà couramment mises en œuvre actuellement et disposant d'un retour d'expérience industrielle avéré**
 - Cette conclusion repose évidemment sur l'hypothèse d'une stabilité des exigences définies dans la réglementation transport actuelle
 - Cette conclusion repose sur l'hypothèse pénalisante de transports réalisés en 2035 pour l'ensemble des fûts d'enrobés bitumineux, or l'hypothèse réaliste à l'horizon 2050
 - De plus, une fois les stockages disponibles, les limitations des capacités de désentreposage contraindront les flux annuels de transports: 62 000 fûts donneraient lieu à 15 500 colis de 4 fûts qui nécessiteront de maintenir un flux de transport de plus de 775 colis par an pendant 20 ans, entre Marcoule et les stockages

- ▶ Aussi, considérant que **les transports des colis constitués s'étaleront plus vraisemblablement sur deux décennies après 2050**, le respect des débits de dose résultant essentiellement du Césium dans le spectre de tels colis, permettra de dé-catégoriser la plupart des colis actuellement catégorisés en type B non fissile
- ▶ **Le CEA dispose de l'ensemble des éléments permettant d'anticiper les actions nécessaires pour :**
 - préparer les transports au-delà de 2035 de colis de boues bitumées vers les stockages
 - Permettre, après reprise des fûts d'enrobés bitume, soit de transférer les colis dans les entreposages de Marcoule, soit de les expédier directement vers les stockages



Merci de votre attention

Mise à jour : 16 avril 2020

CEA/DES/DDSD

Crédit photos : CEA

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr