



PNGMDR 2016-2018 Art. 48-2

EVALUATION COMPAREE DES DIFFERENTS MODES DE GESTION ENVISAGES POUR LES DECHETS BITUMES

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

A. Tribout-Maurizi (CEA), C. Alameda Angulo
(Orano), D. Larrauri (EDF), V. Wasselin (Andra)

GT PNGMDR

24 avril 2020



- **Demande règlementaire**
- **Contexte**
- **Procédés de traitement des enrobés bitumés**
- **Scénarios intégrés de gestion des enrobés bitumés :**
 - avec traitement des enrobés bitumés
 - avec stockage en l'état des enrobés bitumés
- **Bilan et perspectives**

■ PNGMDR 2016-2018 - Art. 48 :

- Après avis de l'ASND et de l'ASN sur le rapport CEA remis en 2015 sur l'option de traitement thermique des enrobés bitumineux, le CEA poursuit les études de recherche et développement relatives aux modes de traitement et de conditionnement des enrobés bituminés (FA-VL et MA-VL), combinant notamment des procédés chimiques et thermiques. Pour le 30 juin 2018, le CEA remet aux ministres chargés de l'énergie, de la sûreté nucléaire et de la défense un rapport d'avancement de ces travaux.

Rapport MOA/Cab.AG/18-119 du 29/06/2018

- Le CEA, Areva, EDF et l'ANDRA remettent pour le 31 décembre 2019 aux ministres chargés de l'énergie, de la sûreté nucléaire et de la défense un rapport d'évaluation technique, économique et de sûreté comparant les différents modes de traitement et de conditionnement envisagés pour les déchets bitumés (stockage géologique et solutions alternatives). Cette étude intègre toutes les étapes de la gestion du déchet ainsi que l'impact des différents choix sur la conception et le dimensionnement de CIGEO : transport, sûreté en entreposage et en phase d'exploitation, impacts environnementaux, impacts radiologiques à long terme.

Rapport CEA/Orano/EDF/Andra du 28/02/2020

- L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ces rapports.

■ Rapport CEA émis en 2015 en réponse à la demande art. 19 du PNGMDR 2013-2015 : « *Evaluation technico-économique d'un procédé de traitement d'enrobés de boues bitumées par incinération-vitrification* »

- Evaluation basée sur un procédé de type SHIVA,
- Pas de faisabilité technologique démontrée, des verrous majeurs à lever.

■ Avis ASN CODEP-DRC-2016-034029/ASND/2016-00930 :

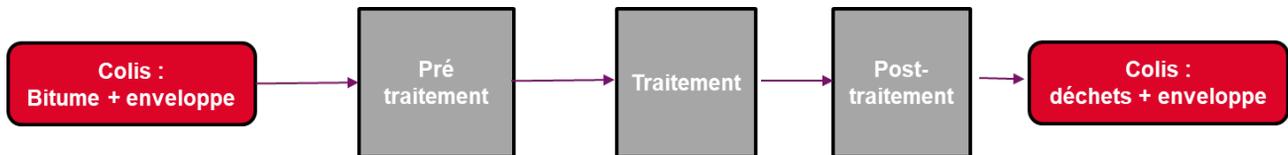
- Pas d'obstacle rédhibitoire à la mise en œuvre industrielle d'un procédé thermique pour le traitement de déchets radioactifs organiques,
- Poursuivre les études relatives aux modes de traitement et de conditionnement FEB (FAVL et MAVL), combinant notamment des procédés chimiques et thermiques, et à l'industrialisation d'un procédé d'incinération/vitrification des colis d'enrobés bitumés .

■ Avis ASN n°2018-AV-0300 sur le DOS de Cigéo :

- « *La recherche de la neutralisation de la réactivité chimique des colis de déchets bitumés doit être privilégiée. En parallèle, des études visant à modifier la conception pour exclure le risque d'emballage de réactions exothermiques doivent être conduites.* »

■ Rapport CEA MOA/Cab.AG/18-119 émis en juin 2018 : « *Etat d'avancement des travaux sur des scénarios prospectifs de traitement et conditionnement des déchets d'enrobés bitumineux* » (GT PNGMDR du 18/11/19)

■ Travail d'analyse de type multicritères, avec des experts de spécialités diverses, en quadripartite CEA/Orano/EDF/Andra, sur des briques technologiques et des filières (assemblages de briques) :



■ Trois filières identifiées comme présentant le meilleur potentiel :

- concassage à froid - incinération - vitrification,
- concassage à froid - combustion - vitrification ou cimentation,
- concassage à froid - vaporeformage – cimentation.

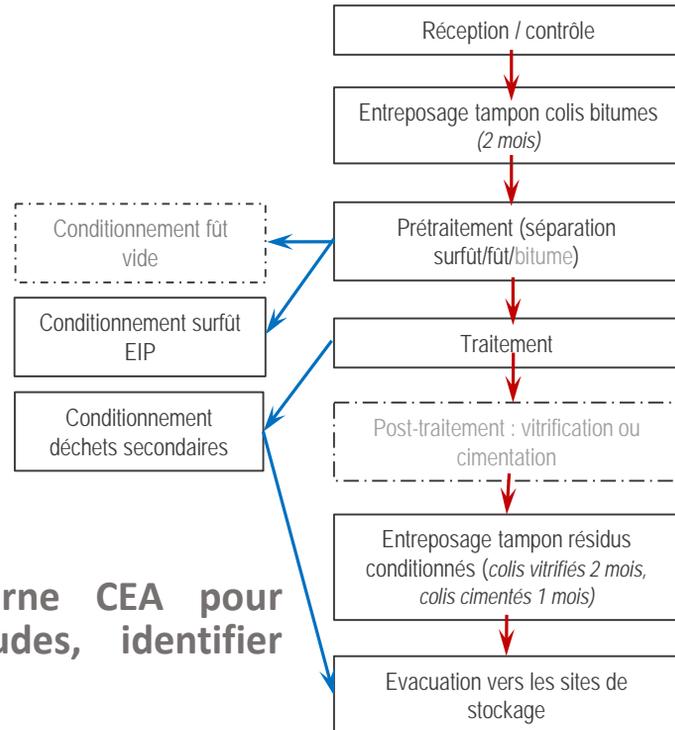
■ Evaluer les trois filières identifiées, depuis la reprise des fûts en entreposage jusqu'au stockage des résidus et des déchets induits

PROCEDES DE TRAITEMENT DES ENROBES BITUMES

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

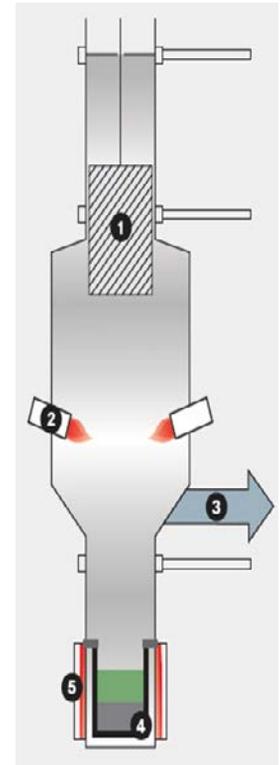
- Périmètre : traitement de la totalité de l'inventaire bitumes, 75 000 fûts
- Etudes d'ingénierie de niveau pré-faisabilité (pilotage CEA) :

- Localisation La Hague ou Marcoule
- 20 à 30 ans de traitement
- Vitrification (filières 1 et 2) :
 - FCV de 2
 - Production de colis type CSD
- Cimentation (filières 2 et 3) :
 - Taux d'incorporation 10 ou 15% massique de sels
 - Production de colis 500L



- Revue technique d'experts interne CEA pour évaluer la robustesse des études, identifier incertitudes et points durs

- Prétraitement nécessaire pour assurer une incinération complète : découpe par jet haute pression azote liquide type Nitrojet
- Incinération haute température requise pour décomposer les sulfates
- Faible quantité de métal → induction HF dans le verre (can céramique)
- Colis retenu : CSD+ de V_{ind} 370 L contenant 185L de verre
- Produit : vitrifiât avec inclusion de métaux
- Fonctionnement batch en une seule étape après pré-traitement
- Traitement des gaz inspiré de PIVIC
 - Gestion de la volatilité du Cs
 - Cendres réinjectées dans le procédé
 - Effluent liquide riche en Na_2SO_4

Chambre
d'introductionChambre
de combustion
(plasma à oxygène)Module de fusion
(four à induction)

75 000 FEB

Réception / contrôle

Entreposage tampon colis bitumes

Surfûts vides

Extraction fût du surfût

Découpe à froid type Nitrojet et préparation de paquets avec fritte de verre

Intro/accostage des cans préchargés en fritte de verre

Incinération/fusion/vitrification

Post combustion

Refroidissement

Filtre

Refroidissement can

Chargement du colis CSD+ et soudage / CNC / DED

Entreposage aval

35 000 colis de verre

Denox

THE

Effluents liquides

Lavage des gaz

Recyclage périodique cendres récupérées (Cs)

■ Analyse technique

Incertitudes	Points forts
Cadence Nitrojet Cadence incinération/vitrification Application du procédé PIVIC aux bitumes, nucléarisation Traitement des gaz Suivi matières	Pas de séparation fût/bitume Confinement Gestion de la criticité REX PIVIC Maintenance facilitée par modularité

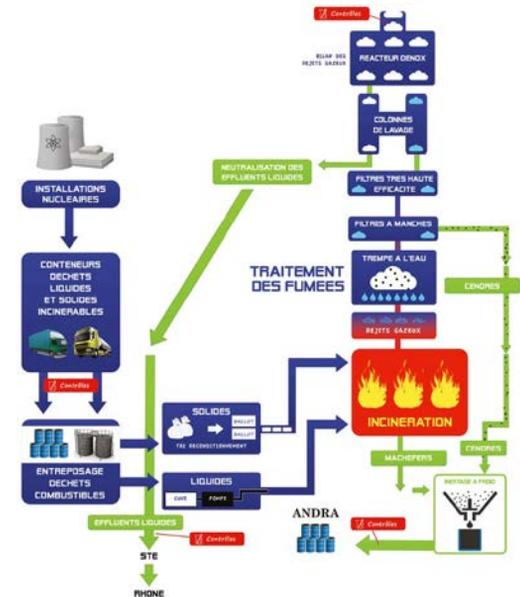
■ Besoins de R&D

- Développement du procédé de découpe des fûts
- Faisabilité et performance de l'incinération-vitrification
- Faisabilité et performance du traitement des gaz
- Définition et qualification colis et matrice

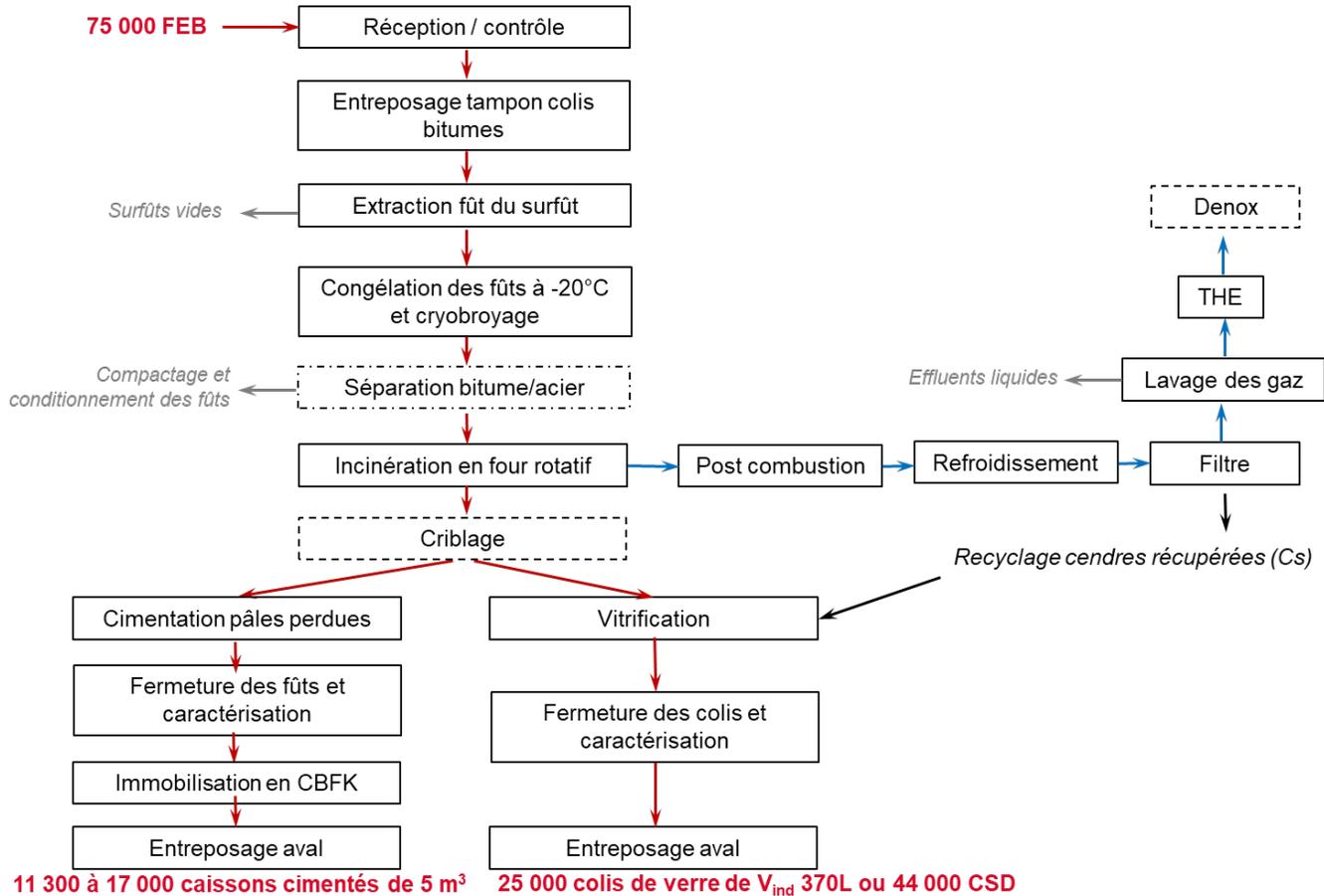
**Principaux enjeux :
nucléarisation et capacité**

Développement et qualification > 15 ans

- **Prétraitement nécessaire pour assurer une incinération complète**
 - Cryobroyage
 - Etape éventuelle de séparation métal/bitume (tamisage)
- **Incinération en four rotatif continu < 800°C**
 - Traitement thermique par excès d'air
 - Récupération éventuelle des morceaux de fûts par criblage en sortie four
- **Vitrification in can, 1100 à 1300°C : production de colis de verre de V_{ind} 370L (contenant 270 L de verre) ou CSD**
- ou
- **Cimentation à pales perdues ou type Centraco**
 - Assemblages nécessaires pour atteindre le taux d'incorporation cible et acceptabilité en stockage de surface de type CSA
 - Fûts de 500L mis par 4 en CBFK
- **Traitement des gaz**
 - Cendres riches en Cs réinjectées dans le procédé
 - Effluent liquide riche en Na_2SO_4



Exemple Centraco



■ Analyse technique

Incertitudes	Points forts
<p>Prétraitement (dispersion)</p> <p>Diagramme temps (cadences des opérations et chasse matière / criticité)</p> <p>Transfert vers le four d'un produit congelé</p> <p>Comportement du bitume collant dans le four</p> <p>Taux d'incorporation (cimentation)</p> <p>Traitement des gaz</p> <p>Suivi matières</p>	<p>Découplage des fonctions incinération / conditionnement</p> <p>REX industriel (conventionnel et FA)</p>

■ Besoins de R&D

- Développement du procédé de cryobroyage des fûts
- Faisabilité et performance de l'incinération
- Développement du procédé de fusion ou cimentation
- Faisabilité et performance du traitement des gaz
- Définition et qualification colis et matrice

Principaux enjeux :
faisabilité et
dimensionnement

Développement et qualification > 15 ans

L'alimentation nécessite une séparation du métal et une granulométrie < mm

- Performance cryobroyage jugée insuffisante + séparation non faisable
- Choix d'une liquéfaction à $T < 120^{\circ}\text{C}$: autoclaves + transfert et pulvérisation

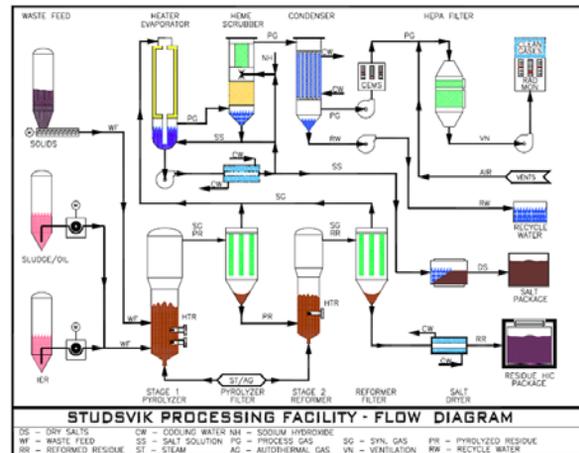
Grillage des fûts et récupération des cendres résiduelles (cimentées)

Réacteur de vaporeformage en lit fluidisé

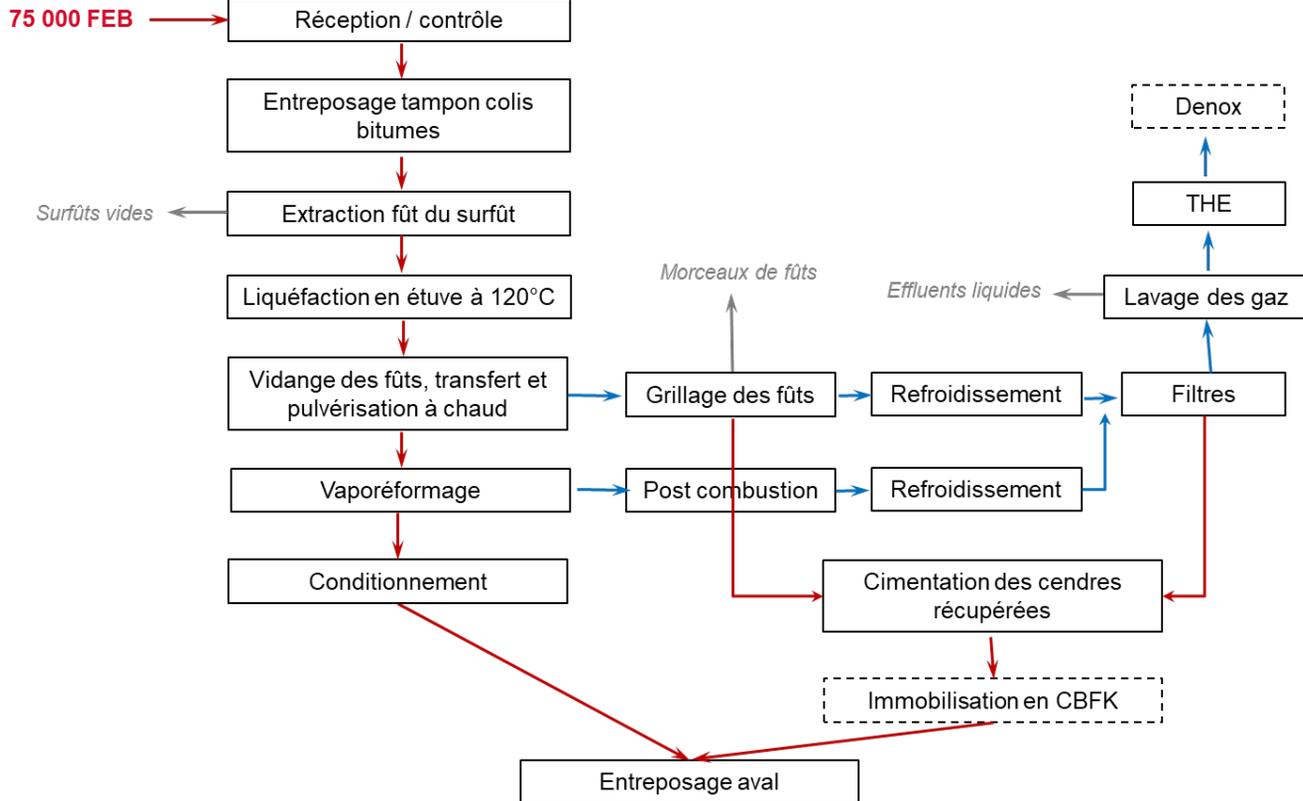
- Réaction endothermique sous vapeur d'eau
- Production d'un résidu à définir (hyp 70% de la masse initiale d'enrobé)

Conditionnement du résidu de vaporéformage

- Ajout d'additifs en quantité limitée → hyp 60% de taux d'incorporation



Exemple THOR (Studsvik) : Traitement de déchets solides finement divisés et injection en lit fluidisé (REI, charbons actifs, boues...) et de liquides aqueux ou organiques



25 000 fûts de 500 L
Et 800 caissons cimentés de 5 m³

■ Analyse technique

Incertitudes	Points forts
Démonstration de sûreté liquéfaction Transferts et nucléarisation Définition du procédé VP Nature et quantité du colis final Traitement des gaz Gestion de la criticité Cadences des opérations	Production d'un résidu nécessitant un faible apport de réactif complémentaire, directement compatible au stockage Réaction endothermique

■ Besoins de R&D importants pour définir le procédé et en démontrer la faisabilité

Faible niveau de maturité

■ Pas de point rédhibitoire identifié, mais un niveau d'incertitudes important :

- Introduction d'un produit divisé dans un procédé chaud,
- Comportement du bitume en température,
- Traitement des gaz,
- Maintenance et exploitation en enceinte blindée.

*besoins de R&D et
qualification > 15 ans*

■ Niveau d'études insuffisant pour évaluer un impact environnemental

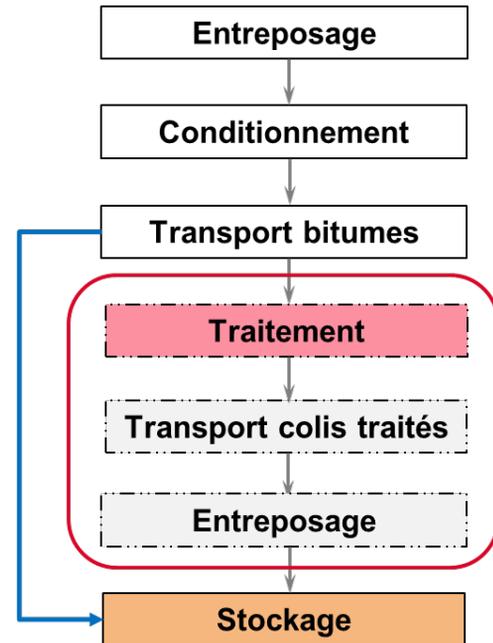
- Principaux risques : criticité, confinement, radiolyse
- Rejets gazeux : CO₂, gaz nitrés et sulfatés, activité résiduelle,
- Effluents liquides,
- Déchets secondaires.

■ En cohérence avec les conclusions de la revue externe :

- *« La maturité technique du dossier est encore très modeste et ne permet pas de démontrer aujourd'hui la faisabilité industrielle de cette neutralisation »*
- *« Il semble toutefois improbable que la mise en service d'une telle installation de neutralisation de la réactivité des déchets bitumés puisse intervenir avant 2040 »*

SCENARIOS INTEGRES DE GESTION

- Objectif : évaluation des différentes voies de gestion des enrobés bitumés depuis l'entreposage sur le site de production, jusqu'au stockage, en l'état ou après traitement
- Périmètre : l'ensemble des enrobés bitumés
 - 42 000 FEB MAVL (inventaire de référence de CIGEO)
 - 33 000 FEB FAVL (inscrits à l'inventaire de réserve de CIGEO)
 - Evolution possible de cette répartition
- Critères d'évaluation :
 - Maturité technique
 - Sûreté et impact environnemental
 - Coût



1 seule usine de traitement

■ Bilan des colis à stocker après traitement :

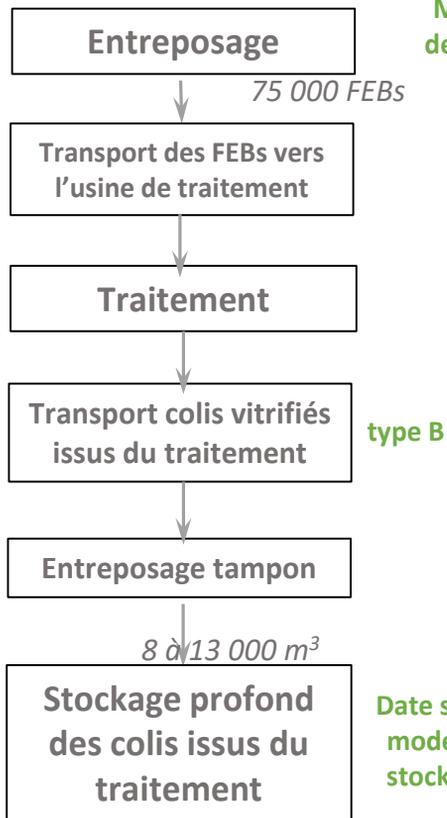
Exutoire	Filière 1	Filière 2 cimentation	Filière 2 vitrification	Filière 3
Stockage profond	13 000 m ³		8 000 ou 9 200 m ³	15 000 m ³
Stockage surface de type CSA	2 150 m ³	62 000 ou 91 000 m ³	6 000 m ³	10 000 m ³
TFA	2 500 m ³	2 500 m ³	2 500 m ³	2 500 m ³

■ Déchets cimentés : stockage en surface type CSA voire stockage sub-surface (type FAVL)

■ Déchets vitrifiés : stockage en zone MAVL et/ou en intercalaires en zone HA
1 à 4 alvéoles *sans alvéole supplémentaire*

■ Différentes variantes possibles selon taux d'incorporation, géométrie du colis, mode de stockage...

VITRIFICATION



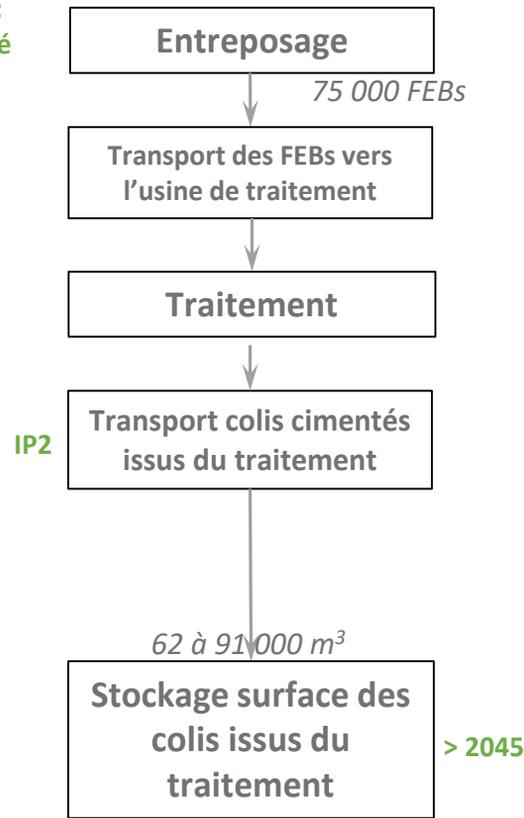
Marcoule et La Hague :
des conditions de sûreté
maîtrisées

En emballage type B,
atteignable
industriellement

20 à 30 ans

Date selon
mode de
stockage

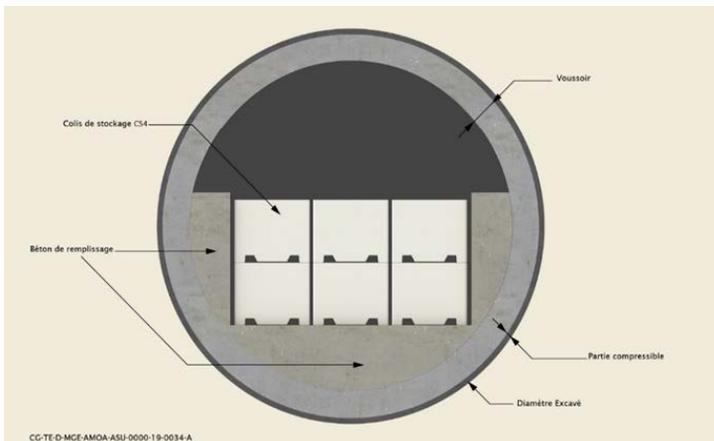
CIMENTATION



De nombreux scénarios possibles... et une diversité de chroniques

■ Stockage des FEB MAVL dans Cigéo

- Dans le cadre de la démonstration préliminaire de sûreté associée au dossier de DAC
- Etude d'options de conception renforcées visant à exclure le risque d'emballement de réactions exothermiques, y compris avec des hypothèses pénalisantes



Dispositions complémentaires pour faciliter détection et intervention

7 à 8 alvéoles



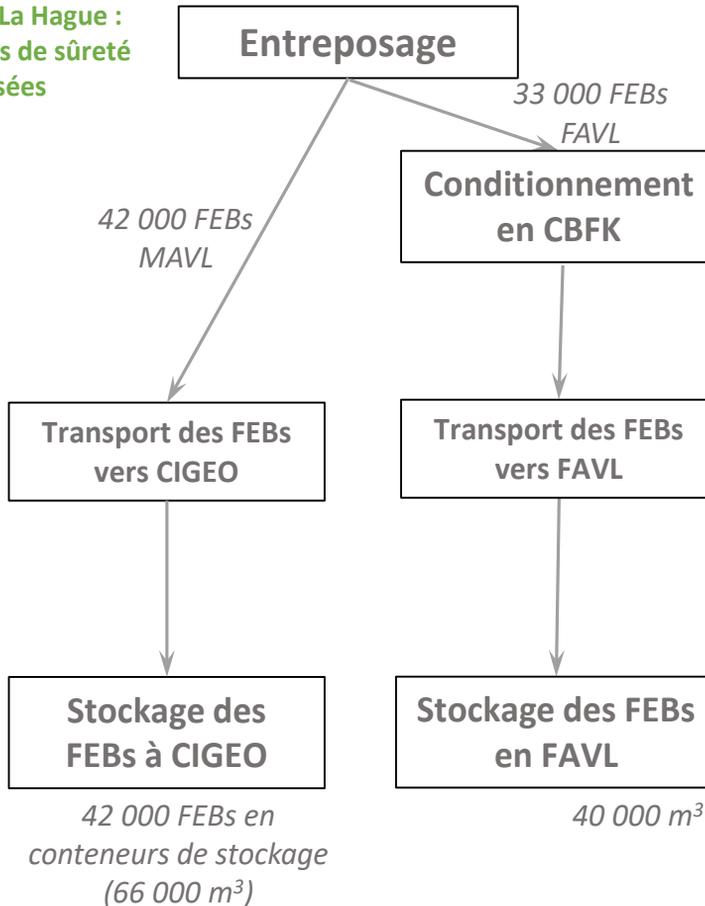
Réf Andra « Stockage en l'état des fûts de déchets bitumés dans Cigéo – Maîtrise des risques et principes d'évolution de conception », juillet 2019

Démarche de sûreté éventuellement ajustée en fonction des résultats futurs de caractérisation du comportement des déchets bitumés

Marcoule et La Hague :
des conditions de sûreté
maîtrisées

En emballage type B,
atteignable
industriellement

> 2050



*Scénario avec répartition
Inventaire National 2018*

En IP2

Etudes en cours
Concept de réalisation
adapté aux spécificités
des déchets bitumés
(depuis la surface ?)
> 2040

■ Des niveaux de maturité différents :

- Incertitudes sur la faisabilité industrielle du procédé de traitement, avec des besoins de R&D significatifs et une mise en service postérieure à 2045
- Etudes de conception CIGEO à poursuivre en lien avec les compléments de connaissance sur le comportement des enrobés bitumés
- Projet de stockage des déchets FAVL à un stade préliminaire

■ Le niveau des études du traitement rend difficile une comparaison exhaustive des aspects sûreté et impact environnemental

- Même en l'absence de quantification, le traitement accroît l'exposition et les rejets

■ En valeur brute, le poste de coût majoritaire est dans tous les cas le traitement → l'analyse économique préliminaire, tous segments confondus, est en faveur du stockage en l'état

■ Mais en valeur actualisée, l'analyse économique est peu discriminante compte tenu des incertitudes sur les évaluations et les chroniques

■ Connaissance des colis

- Programme complémentaire sur le comportement des enrobés
- Consolidation de l'inventaire FAVL CEA, en lien avec l'Andra

■ Traitement : quelles orientations selon le nombre de fûts à traiter ?

- Pour le traitement d'une fraction importante des enrobés bitumés, le lancement d'un programme conséquent de R&D serait à prévoir, pour évaluer la faisabilité industrielle d'un procédé qui serait préférentiellement de type thermique
- Pour le traitement d'un flux nettement réduit :
 - *Opportunité d'autres procédés mieux adaptés → réexaminer la pertinence d'un procédé de traitement chimique*

■ Stockage en l'état des enrobés bitumés

- Poursuite des études de conception dans le cadre de la DAC
- La conception qui sera finalement retenue devra s'appuyer sur les résultats futurs de caractérisation du comportement des déchets bitumés (avec un éventuel ajustement de la démarche de sûreté du stockage)
- Poursuite du projet de stockage en sub-surface (FAVL)