

Entité propriétaire [REDACTED]

Type doc NT NOTE TECHNIQUE

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT [REDACTED] – IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé - Le 25/05/2018

Signataires :			
	Nom	Entité	Visa
Rédacteur	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
Vérificateur	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
Approbateur	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

Avertissement

Conformément au dernier alinéa du I de l'article 8 du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié, relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives, "*l'exploitant peut fournir sous la forme d'un dossier séparé les éléments dont il estime que la divulgation serait de nature à porter atteinte à des intérêts visés au I de l'article L. 124-4 du code de l'environnement*".

Sur le présent document ont été retirés les éléments de nature à porter atteinte aux intérêts protégés par la loi.

**COMPORTEMENT LONG TERME
(CLT) DU CSD-C SUIVANT
[REDACTED] - IMPACT DES DEBRIS
DISSOLVEUR**

Date : [REDACTED]		
Nom	Dpt.	Visa
Approbateur : [REDACTED]	DSE	
Vérificateur : [REDACTED]	DRDP	
Rédacteur : [REDACTED]	DRDP	

Diffusion	
Confidentielle	Document à usage exclusif des destinataires
Limitée	Diffusion limitée à
Normale	Diffusion aux destinataires et au sein d'AREVA NC sans autorisation préalable de l'émetteur

1 OBJECTIF

Le but de cette note est :

- de répertorier les différents matériaux et matières constituant le colis standard de déchets compactés CSD-C, le modèle de relâchement des radionucléides associés à ces constituants, ainsi que les comportements sur le long terme de ces constituants au cours des différentes phases du stockage (Figure 1),
- d'estimer l'impact de l'ajout des débris dissolvant dans les CSD-C vis-à-vis du comportement long-terme au stockage.

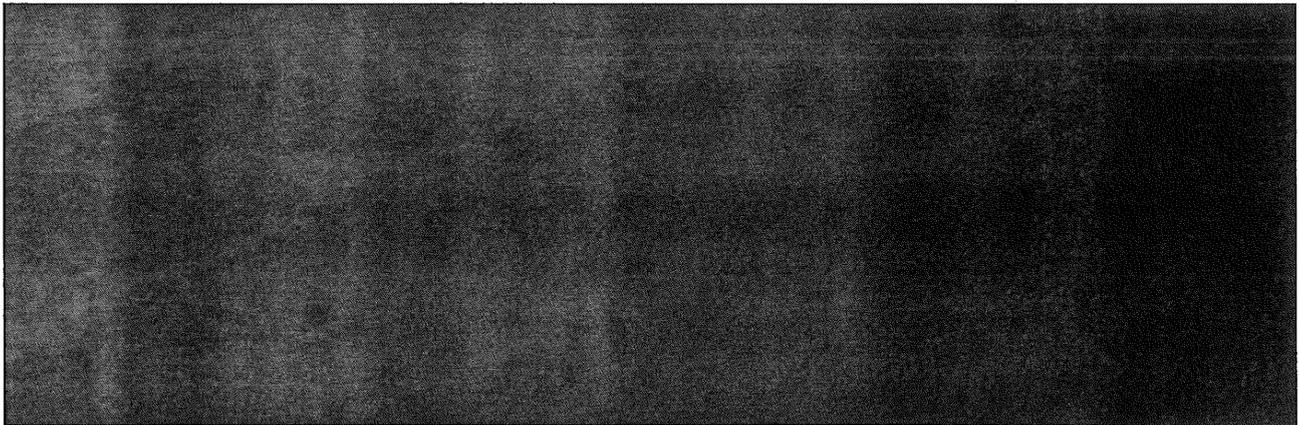


Figure 1 : Différentes phases du projet de stockage des déchets nucléaires CIGEO

2 RAPPEL DES CONSTITUANTS DES COLIS CSD-C

Les constituants des colis CSD-C, ainsi que les modèles de relâchement des radionucléides (RN) associés à ces constituants retenus aujourd'hui (détaillés au § 5) sont synthétisés dans le Tableau 1.

Les constituants de ce tableau, hormis les constituants d'origine « enveloppe de CSD-C » entrent dans la catégorie des déchets MA-VL (moyenne activité à vie longue) car ils présentent une activité moyenne supérieure au million de Becquerels par gramme et contiennent des radionucléides avec des périodes élevées [7].

AREVA NC

Tour AREVA - 92400 Courbevoie - France - Tél. : +33 (0)1 34 96 60 00

Siège social : Tour AREVA - 1, place Jean Millier - 92400 Courbevoie - France

SA AU CAPITAL DE 100 259 000 EUR - 305 207 169 RCS NANTERRE

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé

Référence :	1974 v 1.0
Révision :	PAGE 2/16
Numéro de projet :	
Diffusion	1 - Diffusion normale

**AREVA
BUSINESS GROUP AVAL
NOTE TECHNIQUE**



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

**Tableau 1: Récapitulatif des différents constituants
qui seront potentiellement présents ou constituant le colis CSD-C**

Origine des constituants	Détail des constituants	Matériaux et matières	Modèle de relâchement des radionucléides
Assemblage combustible (structure)	Coques (majoritairement tronçons de longueur [redacted] mm) Produites par cisailage de la gaine	<ul style="list-style-type: none"> o [redacted] lequel a évolué au cours du passage en réacteur : o Présence d'une couche de [redacted] répartie sur les surfaces du [redacted] : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Face interne (épaisseur [redacted] µm) ▪ Face externe (épaisseur [redacted] µm) o Matières Fissiles Résiduelles (MFR) 	<p>Congruent avec la corrosion du [redacted]</p> <hr/> <p>Labile</p> <hr/> <p>Labile</p>
	Embouts ¹	[redacted]	Congruent avec la corrosion de [redacted]
	Élément de structure	[redacted]	Congruent avec la corrosion de [redacted]
Etape procédé (cisailage, dissolution, rinçage coques et embouts)	Fines de cisailage (∅ [redacted] mm) et éclats ([redacted] < ∅ < [redacted] mm)	Fragments de gaine irradiés [redacted]	Labile
	Fines de dissolution dont Précipités [redacted]	<ul style="list-style-type: none"> • Composés du combustible insolubles [redacted] • [redacted] hydraté dans le réseau cristallin [redacted] 	Labile
Déchets particuliers	Déchets dissolvant (issus du nettoyage dissolvant)	Eclats et fines de cisailage ([redacted] %wt) liés à des précipités [redacted] ([redacted] %wt)	Labile
	Déchets technologiques	Déchets [redacted] métalliques (équipements de procédé constitués à : [redacted] % [redacted] et [redacted] % [redacted])	Labile car uniquement de la contamination surfacique
	Peinture	Matière organique / hydrogénée	Labile avec risque de complexation
	Joint de filtre [redacted] ²	Matière organique / hydrogénée	
Fabrication du CSD-C	Corps, couvercles et pastilles respirantes	[redacted]	Labile car uniquement de la contamination surfacique
	Etui	Virole = [redacted] Fonds = [redacted]	
	Étiquette	Matière organique / hydrogénée	Labile avec risque de complexation

¹ Embouts = pièces massives auxquelles sont attachés des tronçons de gaine vides de longueur variable (cheveux) suite aux opérations de cisailage

² Le filtre [redacted] a pour fonction de filtrer les effluents de rinçage des coques dans R1 et T1.

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Valide - Le 25/05/2018

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
 IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé - Le 25/05/2018

3 TERME SOURCE DU CSD-C [3]

3.1 Terme source radiologique

D'une façon générale, trois grandes familles de radionucléides sont à considérer dans les déchets de structure et les déchets technologiques :

- Les **produits d'activation (PA)** dans les différents éléments d'alliages constituant l'assemblage combustible sont répartis dans la masse des matériaux ;
 - Les PAS (produits d'activation des structures) présentent des périodes courtes, excepté pour de l'inventaire en PAS (qui dépend des teneurs en impuretés et en éléments d'alliages considérés pour les différents matériaux), **peuvent être considérés comme constitutif des CSD-C.**
 - Une part relativement faible des PAI (produits d'activation d'impuretés du combustible) se retrouve sous forme de contamination surfacique des coques,
- les **produits de fission (PF)**:
 - implantés par recul de fission dans la face interne de la gaine,
 - contenus dans les dépôts et résidus après les opérations de traitement ;
- les **actinides (noyaux lourds NL)** qui sont des éléments du combustible qui ont été entraînés lors des opérations de traitement (dissolution / rinçage).

L'inventaire radiologique du terme source est détaillé dans le dossier de connaissances [2]. Parmi les radionucléides envisagés pour l'inventaire en stockage, sont considérés comme étant potentiellement gazeux

3.2 Terme source chimique

Le terme source chimique correspond aux matières organiques et à l'eau potentiellement contenues dans les colis de déchets compactés CSD-C (Tableau 2). Cette eau est limitée par l'étape de séchage des constituants de l'étui avant compaction.

Tableau 2 : Informations sur les matières organiques et à l'eau potentiellement présentes dans les CSD-C [7]

Matériaux hydrogénés	Constituant	Présence dans un CSD-C	Quantité pénalisante retenue par CSD-C	Quantité de chlore
Jointes issus des filtres		Jointes de g chacun maximum		% massique soit g maxi
Peinture (fût ECE uniquement)		Environ g par fût ECE, et par extrapolation sûreté par CSD-C		g dans les g de peinture
Étiquettes		Étiquettes d'environ g chacune (~ g)		gCl / kg étiquette soit mg maxi

³ C'est-à-dire produit en réacteur

Référence : ██████████ 1974 v 1.0
Révision : PAGE 4/16
Numéro de projet : ██████████
Diffusion 1 - Diffusion normale

**AREVA
BUSINESS GROUP AVAL
NOTE TECHNIQUE**



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT ██████████ -
IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

Matériaux hydrogénés	Constituant	Présence dans un CSD-C	Quantité pénalisante retenue par CSD-C	Quantité de chlore
Eau associée au précipité ██████████	Eau constitutive du précipité (██████████ %wt) + Eau libre (██████████ %wt)	- ██████████ kg de précipités entraînés avec les coques - ██████████ kg de précipités présents dans les ██████████ L du pot de débris	Total de ██████████ g d'eau retenu pour le calcul de dégagement d'H ₂ de radiolyse	Aucune

4 COMPORTEMENT AU STOCKAGE DU TERME SOURCE DU CSD-C

La période d'exploitation de Cigéo est aujourd'hui estimée à environ ██████████. La fin de la phase d'exploitation est suivie par une fermeture progressive du stockage selon différents niveaux. Le comportement des constituants d'un CSD-C au cours du stockage va dépendre du milieu environnant :

- Pendant la durée d'entreposage et d'exploitation du stockage (considéré en milieu sec car c'est une phase ventilée) la température et l'hygrométrie seront contrôlées. Le comportement en corrosion atmosphérique est représentatif de cette phase.
Le colis conserve tous ses composants (galettes compactées empilées dans un conteneur en ██████████). L'enveloppe extérieure n'est au contact que de l'atmosphère du lieu de "stockage". Les trois types de phénomènes possibles et étudiés pendant cette phase sont :
 - le relâchement des radionucléides gazeux au sein des galettes,
 - la radiolyse des matériaux hydrogénés,
 - la corrosion de l'enveloppe du conteneur.
- Après la fermeture du stockage ██████████, l'humidité relative augmente progressivement ██████████ au sein de l'alvéole, la saturation totale de l'alvéole devant être atteinte en une durée de l'ordre ██████████. La saturation totale des alvéoles en eau conduira au relâchement du contenu chimique et radiologique du colis à une température inférieure à ██████████ °C.
Après fermeture, ██████████ les termes sources chimique et radiologique des colis seront évalués à partir du comportement du déchet à la lixiviation en solution cimentaire. Les phénomènes possibles et étudiés sont :
 - le relâchement de produits de dégradation hydrosolubles ██████████,
 - le relâchement des radionucléides,
 - la corrosion.

Le relâchement de radionucléides dépend donc essentiellement de trois phénomènes : la radiolyse, la lixiviation et la corrosion, ces phénomènes étant interdépendants.

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Valide - Le 25/05/2018

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT - IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé - Le 25/05/2018

4.1 Phénomène de radiolyse et conséquences associées (exploitation et fermeture du stockage)

De très faibles quantités de matériaux hydrogénés (maximum [] g d'eau et [] g d'organiques dont [] g d'élément []) sont susceptibles d'être entraînées avec les coques et embouts (détails présentés dans le Tableau 2 au § 3.2).

La dégradation sous irradiation de ces matériaux hydrogénés a deux conséquences majoritaires :

- La production de gaz de radiolyse. Les risques induits [] sont liés :
 - aux phénomènes de corrosion [],
 - et aux phénomènes d'inflammation (dû à l'H₂ pour lequel un risque d'explosion existe pour des concentrations volumiques comprises entre [] et []). Les pastilles respirantes qui équipent le CSD-C assure la diffusion de l'hydrogène en dehors du CSD-C et la maîtrise de ce risque
- La production de substances appelées Produits de Dégradation Hydrosolubles (PDH). Ces PDH peuvent avoir un impact :
 - sur la corrosion []
 - et sur la complexation de ces substances avec les matières fissiles (§ 4.1.2).

Compte-tenu des faibles quantités de substances organiques dans un CSD-C ([] g versus ~ [] kg de []), les conséquences des produits d'irradiation seront limitées.

4.1.1 Produits gazeux issus de la radiolyse

Les dégagements gazeux, résultat de la radiolyse des substances organiques et de l'eau, se présentent sous deux formes :

- un dégagement [] provenant de la radiolyse des []. La quantité de [] dans un CSD-C est très faible (~ []) et pourrait conduire à une production maximale de [] pour le cas pénalisant de []. Le peu de [] produit réagit avec le matériau de la virole des étuis et forment [] qui restent dans le CSD-C (effet [] décrit au § 4.3.3.3 de la référence [9])
- un dégagement d'H₂ qui peut avoir deux origines :
 - la radiolyse des matières organiques et de l'eau résiduelle présente dans le CSD-C,
 - la réaction de corrosion de [] avec les parois de la virole des étuis de compactage (suivant la réaction : []).

Le débit de production totale d'hydrogène calculé à t₀ (date de production du CSD-C) pour le cas enveloppe⁴ est de [] puis ce débit décroît rapidement dans le temps (Figure 2) [2]. Cette rapide décroissance du débit d'hydrogène s'explique par la contribution prépondérante de [] aux temps courts, les [] à l'origine de cet [] sont consommés en quasi-totalité dans les [] premières années de l'entreposage.

A partir de cette date, la production d'hydrogène est majoritairement liée à la radiolyse directe de l'eau résiduelle présente dans les CSD-C. Cette eau résiduelle est en effet limitée à l'eau des précipités [] grâce à l'étape de séchage du contenu des étuis avant compactation, et le peu

⁴ Configuration du CSD-C pour le cas enveloppe : [] g d'organiques (répartis en [] g peinture, [] g étiquettes, [] g []) et [] kg de précipités [] [correspondant à entraînement nominal [] + [] pot débris], pour un combustible de taux de combustion [] GW/t (UOX1'max) dont l'enrichissement [] est de [] % et pour un temps de refroidissement de [] ans [2].

Référence : ██████████ 974 v 1.0	AREVA BUSINESS GROUP AVAL NOTE TECHNIQUE		
Révision : ██████████			PAGE 6/16
Numéro de projet : ██████████			
Diffusion 1 - Diffusion normale			
COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT ██████████ - IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR			

d'hydrogène produit est essentiellement recombinaé avec l'oxygène de l'air. La quantité d'hydrogène ainsi produite est non détectable [mesure inférieure à ██████████].

Le CSD-C satisfait donc largement le critère de production d'hydrogène à respecter pour l'acceptabilité au stockage (██████████), la production totale d'hydrogène à la date supposée de mise en stockage étant de l'ordre de ██████████.

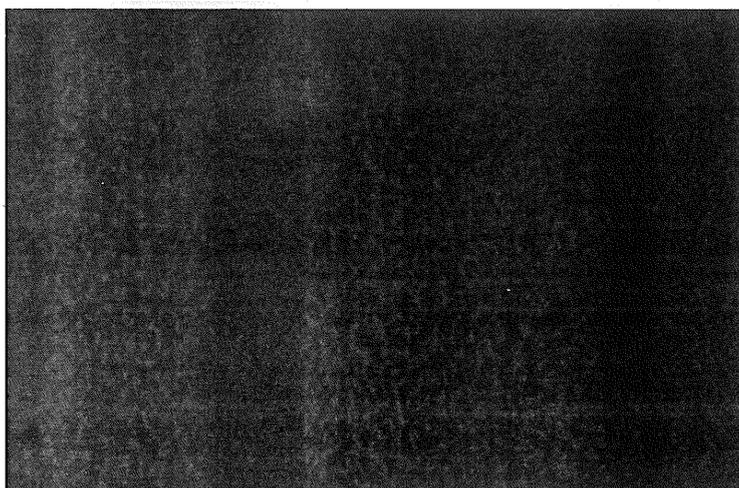


Figure 2 : Evolution de la production d'hydrogène au cours du temps à partir de t_0 (date de production du CSD-C) pour un CSD-C enveloppe produit selon la spécification ██████████

Les CSD-C étant équipés de pastilles respirantes, la plus importante part d'hydrogène produit serait donc évacuée par la ventilation au cours de l'entreposage et de l'exploitation du stockage de l'alvéole.

4.1.2 Produits de dégradation hydrosolubles (PDH)

Une partie des produits dégradés par la radiooxydation des matières organiques est non gazeuse. Il s'agit d'espèces oxydées de faible masse molaire, pouvant être solubles dans l'eau, et par conséquent, pouvant être libérées lorsque le polymère entre en contact avec l'eau (phases après fermeture du stockage).

La quantité de matières organiques dans un CSD-C étant faible (█████ g maxi pour une masse moyenne de coques en ████████ de l'ordre de █████ kg), la quantité de PDH est très faible [de l'ordre de █████ g si les █████ g d'organiques sont assimilés à de █████⁵, tandis que la masse ████████ est de █████ g]. En quantité aussi faible, la présence ████████ est sans impact sur le comportement long terme du CSD-C car :

- o ████████ présente une bonne résistance à la corrosion ████████ (§ 4.3.2).
- o Le relâchement d'actinides au cours du stockage par complexation avec les PDH est très réduit (§ 4.2.1).

⁵ Des données pour les gants à base ████████, (matériau du joint du filtre ████████) fait état d'une fraction massique soluble égale à █████% quel que soit le type d'irradiation, tandis que la concentration maximale en acides carboxyliques (espèces potentiellement complexantes des actinides) ne représente que ████████ la fraction soluble.

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Le 25/05/2018 - Etat Valide

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT - IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

4.2 Phénomènes de lixiviation (fermeture du stockage)

4.2.1 Lixiviation des PDH

Les phénomènes qui interviennent lors du contact entre le polymère dégradé et la solution de lixiviation⁶ sont :

- la mise en équilibre du polymère en solution, [REDACTED]
- la diffusion des espèces hydrosolubles [REDACTED]
- l'hydrolyse du polymère oxydé.

Ces phénomènes peuvent intervenir à différentes échelles de temps suivant les phénomènes de diffusion, la nature du polymère irradié [REDACTED], ainsi que la réactivité des espèces dans l'eau.

Une fois mise en solution, une fraction des PDH, celle contenant une fonction [REDACTED], sont susceptibles de complexer les actinides. Le complexe radioactif formé est connu pour avoir une vitesse de migration dans l'argile⁷ plus importante par rapport à celle d'un radionucléide non complexé. Le risque de dissémination d'activité dans l'environnement « accélérée » peut cependant être écarté dans la configuration du CSD-C [REDACTED] :

- La quantité de PDH complexant est très faible (< [REDACTED] g si les [REDACTED] g d'organiques sont assimilés à de [REDACTED]⁸). Cette complexation des actinides par les PDH est, de plus, en compétition avec d'une part, la complexation des actinides [REDACTED] et d'autre part la neutralisation des [REDACTED].
- La dissémination reste contenue. En effet, le Pu est mobilisé par [REDACTED]⁹ sur [REDACTED] mètres pour une échelle de temps [REDACTED] (tandis que les alvéoles de stockage sont situées à [REDACTED] de profondeur). Cet [REDACTED] n'est pas présent dans un CSD-C et ne peut pas être formé par les constituants d'un CSD-C.
- les actinides sont peu solubles en milieu eau cimentaire et en milieu argileux d'une part, et d'autre part ils sont essentiellement piégés dans des réseaux cristallins (Matières Fissiles Résiduelles entraînées et précipités [REDACTED]), ce qui les rend très peu disponibles pour une complexation.

⁶ Eau cimentaire représentative de l'eau du site de stockage ayant percolé à travers une épaisseur importante de béton

⁷ L'emplacement du site de stockage profond CIGEO a été choisi pour les caractéristiques favorables de sa formation géologique, notamment pour la couche argileuse épaisse et régulière. Les [REDACTED] radionucléides d'intérêt retenus par l'ANDRA se répartissent en trois grandes familles d'éléments en termes de solubilité et de sorption en milieu argileux :

- Les radionucléides « mobiles » dont la solubilité est élevée et la sorption en milieu argileux est faible ou nulle [REDACTED] ;
- Les radionucléides « moyennement mobiles » dont la solubilité est élevée et la sorption en milieu argileux forte comme pour le [REDACTED] ;
- Les radionucléides « très peu mobiles » dont la solubilité est faible et la sorption en milieu argileux forte [REDACTED].

⁸ Des essais sont en cours pour l'identification des différents PDH produits par irradiation et pour obtenir les énergies d'activation des réactions de complexation avec les acides.

⁹ [REDACTED] le plus impactant sur la mobilité du Pu



COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
 IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

Les relâchements d'actinides au cours du stockage par complexation avec les PDH peuvent donc être considérés comme non quantitatifs et sans impact sur le comportement long terme pour un colis CSD-C.

4.2.2 Comportement du précipité au stockage

a confirmé que dans le modèle de relâchement du CSD-C¹⁰, un modèle labile a bien été retenu pour le précipité.

n'a pas engagé d'études relatives au comportement à long terme des résidus en situation de stockage, et a transmis à les éléments de réponse apportés à dans le cadre de l'instruction des Dossiers d'Options de Sûreté de l'INB Cigéo concernant la mobilité du Pu, lié ou non au précipité, en milieu cimentaire. Ces éléments de réponse sont les suivants :

« La solubilité du a été principalement étudiée en milieu extrêmement acide, ne dispose donc pas de données explicites en milieu cimentaire. Cependant, peut évaluer le comportement de ce composé et du Pu associé en supposant sa dissolution totale en milieu cimentaire. En s'appuyant sur les études de solubilité/spéciation dans les matériaux cimentaires () et en considérant individuellement le comportement de chaque élément, la concentration en solution (en équilibre avec la phase dominante correspondante) peut être estimée comme suit :

Elément	Csat (en mol/kg)	Phase solide contrôlant la solubilité

L'intervalle de valeurs de Csat¹¹ englobe les valeurs relatives aux états de dégradation des matériaux cimentaires.

Indépendamment de la stabilité du en milieu cimentaire, il apparaît que, dans ce milieu, le Pu est contrôlé par la solubilité du à des concentrations très faibles de l'ordre de mol/kg.

Ces éléments permettent de conclure qu'en l'état actuel des connaissances, le plutonium associé au ne peut pas se retrouver sous forme totalement soluble en milieu cimentaire.

Concernant la présence de précipité, il n'y a pas d'éléments rédhitoire vis-à-vis du stockage en termes de composition chimique des dépôts, de leur activité ou de leur comportement. »

¹⁰ La liste des matériaux pour lesquels un modèle labile a été retenu pour les CSD-C produits selon la spécification (famille du), est précisée dans le document Andra référence de "Comportement des déchets en stockage - Modèles de relâchement des radionucléides pour les différentes familles de colis".

¹¹ Csat est la valeur de référence de solubilité des radionucléides dans l'eau porale de l'argile du centre de stockage (valeur issue de calculs d'équilibre considérant les conditions aqueuses jugées les plus représentatives

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Le 25/05/2018 - Etat Valide

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT - IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

25/05/2018 - Le 25/05/2018 - Etat Validé - Edition GEIDE du 25/05/2018

Le modèle tout labile permet donc la détermination de l'impact au stockage, de manière raisonnablement enveloppe, des quantités de précipités (au maximum kg de précipités).

4.3 Phénomène de corrosion

4.3.1 Corrosion des métalliques en phase d'entreposage et d'exploitation du stockage

En milieu dit « sec », la corrosion de l'enveloppe du conteneur du CSDC en condition atmosphérique ne peut résulter que de la **présence simultanée** d'un film d'eau et d'espèces gazeuses « corrosives ». Le terme espèces corrosives englobe l'oxygène, les produits de radiolyse de l'air humide et les générées par dégradation radiolytique des organiques présents. **En absence d'eau ou en absence d'espèces gazeuses agressives, aucune corrosion significative n'est à craindre** (§ 4.3 de la référence [7]).

Les conditions d'entreposage des CSD-C correspondent à des conditions de corrosivité très faible. Le refroidissement des CSD-C est réalisé par un système de ventilation équipant l'entreposage. Un système de régulation assure :

- Une humidité relative maximale inférieure à %,
- Une température minimale supérieure à °C.

L'efficacité du système de filtration de l'air entrant conduit à une présence extrêmement faible de polluants atmosphériques.

Sur la base de tous les éléments de corrosion étudiés à ce jour, l'évaluation globale des risques de corrosion interne du conteneur, dans la configuration d'un CSD-C, conduit à conclure à un risque de corrosion négligeable. En effet :

- L'absence d'eau résiduelle¹² ne favorise pas la formation d'un électrolyte aqueux ;
- Le matériau du conteneur est résistant vis-à-vis de la corrosion atmosphérique même en présence d'espèces liées à la radiolyse de l'air humide (§ 4.3.3 et § 4.3.4 de la référence [7])
- La quantité potentiellement générée par les est très faible (g d'élément pour les organiques chlorés présents).
- Le potentiellement généré par les conditionnés dans un étui constitué par de , réagit immédiatement avec cet pour former . En effet, l'essai technologique mettant en jeu et un matériau comme , dans des conditions où une corrosion est possible, a bien mis en évidence un effet efficace de , piégeant le et protégeant [7].

En conclusion, la potentialité qu'une teneur suffisante de atteigne la paroi de l'enveloppe du CSD-C et se solubilise pour remettre en cause l'intégrité de du conteneur n'est pas significative. Le caractère confinant du colis CSD-C vis-à-vis des éléments solides est maintenu dans les phases d'entreposage et de

¹² A noter que l'eau citée dans le Tableau 2 est de l'eau associée aux précipités - qui n'est pas disponible sous forme liquide.

Référence : ██████████ 1974 v 1.0
Révision : ██████████ PAGE 10/16
Numéro de projet : ██████████
Diffusion 1 - Diffusion normale

**AREVA
BUSINESS GROUP AVAL
NOTE TECHNIQUE**



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT ██████████ -
IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

stockage ventilées et aucun relâchement des radionucléides n'est attendu dans ces phases de vie du colis.

Ce bon comportement du CSD-C en entreposage est vérifié via les observations faites dans le cadre du programme de surveillance des colis CSD-C entreposés dans l'atelier ECC (références [9] et [10]).

De plus, lors du désentreposage des CSD-C pour retour vers les clients ██████████, tous les colis sont inspectés ██████████ dans l'atelier DRV. Lors de ces contrôles portant sur ██████████ colis à fin ██████████ (soit environ ██████████% des colis produits sur ACC), aucune trace de corrosion n'a été décelée. Ceci est cohérent avec les conditions d'entreposage sur ECC (humidité inférieure à ██████████% et absence de polluants).

4.3.2 Corrosion des métalliques en phase de fermeture du stockage

Après fermeture des alvéoles de stockage ██████████, les matériaux métalliques vont se corroder conduisant potentiellement au relâchement :

- de H₂ sorbé pour les déchets de structure, les déchets technologiques et les enveloppes ██████████ (la quantité produite est considérée négligeable),
- des radionucléides localisés dans la masse ou déposés sous forme de couches d'oxydes ou de dépôts en surface du matériau pour les déchets ██████████.

Dans les conditions de stockage long terme en milieu insaturé et saturé, un milieu « eaux cimentaires » ██████████ est considéré en contact avec l'ensemble des éléments présents dans les CSD-C. Les données disponibles sur la corrosion en conditions de stockage MA-VL montrent que (§ 5.4 de la référence [7]):

- la vitesse de corrosion ██████████ en eau cimentaire peut être considérée comme négligeable ; la corrosion ne dépend ni de la nature de l'alliage considéré, ni de son historique en réacteur,
- la vitesse de corrosion ██████████ en milieu cimentaire est très faible, inférieure à ██████████ nm/an, et ne dépend pas de la nature de l'alliage considéré,
- les milieux cimentaires imposent aux ██████████ un pH ██████████ qui place le ██████████ dans son domaine de passivité ; l'oxyde stable qui le protège limite sa vitesse de corrosion à des valeurs faibles (██████████ μm/an),
- le revêtement des étuis ██████████ subit une dissolution lente dans le milieu considéré ██████████.

Enfin, l'influence d'un couplage ██████████ ne modifie pas significativement la vitesse de corrosion intrinsèque de chaque élément ██████████ pris indépendamment.

Les valeurs de relâchement des radioéléments retenues pour les colis CSD-C sont donc extrêmement faibles (Tableau 3) pour les ██████████ ayant un pouvoir confinant. Le modèle retenu par la ██████████, et les fines et éclats est le modèle labile [6] bien que la vitesse de dissolution de la ██████████ en eau cimentaire soit de ██████████ nm/an (§ 4 de la référence [7]).



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
 IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

Tableau 3 : Valeurs retenues pour les paramètres associés au relâchement des colis de déchets compactés (modèle basé sur la corrosion) [6]

Valeurs retenues pour les paramètres associés au modèle de corrosion des éléments					Matériau pour lesquels un modèle labile est retenu
Vitesse de corrosion		Epaisseur			
					<ul style="list-style-type: none"> • Contamination surfacique • Fines et éclats

5 MODELES DE RELACHEMENT DES RADIONUCLEIDES (RN)

Le relâchement des radionucléides hors des déchets dépend de leur localisation au sein ou en surface des déchets, et des vitesses de corrosion les radionucléides activés.

5.1 Relâchement congruent à la corrosion des matériaux

Les matériaux pour lesquels des performances de confinement de long terme peuvent être attribués (vitesses de corrosion extrêmement faibles, nm/an -§ 4.3 et Tableau 3) sont [5] :

-
-
- qui bien qu'il représente un faible pourcentage massique des matériaux de structure, contient une part non négligeable de l'activité

5.2 Relâchement selon un modèle labile

Les radionucléides piégés au sein de sont susceptibles d'être relâchés en stockage [3]. Par manque de connaissances sur l'état en sortie de réacteur et sur le transfert des radionucléides, le modèle de relâchement retenu est le modèle labile [3].

Les radionucléides qui ne sont pas inclus au sein d'un matériau massif, ou qui sont inclus dans un matériau dont l'altération n'est pas considérée comme suffisamment lente et maîtrisée sont considérées comme labiles et immédiatement disponibles à l'arrivée de l'eau [4]. Le relâchement de la partie labile dépend ainsi de son état physico-chimique et des conditions d'environnement extérieur (nature et renouvellement de l'eau). Les constituants pour lesquels le modèle labile est retenu sont :

-

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé - Le 25/05/2018

6 CAS DES DEBRIS DISSOLVEUR

6.1 Origine des débris dissolvreur

Les « débris dissolvreur » proviennent de leur récupération dans les dissolveurs des ateliers T1 et R1 (débris récupérés avec ou sans rinçage) et sont constitués principalement :

- o des éclats de (fines de cisailage ou morceaux de coques de la gaine) - environ % de la masse totale de débris
- o de précipité (environ % de la masse totale).

6.2 Gestion des débris dissolvreur

Le Tableau 4 synthétise les différents modes de remplissage de fûts ayant déjà été réalisés à l'ACC, ainsi que le mode de remplissage proposé pour résorber l'inventaire de débris dissolvreur.

Tableau 4 : Quantité de précipités présent dans les débris dissolvreur en fonction du mode de remplissage des fûts à destination d'ACC

Origine	Mode de remplissage de fût ECE	Mode de remplissage de fûts navette	Mode de remplissage proposé pour résorber l'inventaire de débris dissolvreur
Recyclage	kg	kg	kg
Débris dissolvreur	kg maximum (maximum g Pu)	kg	kg maximum (équivalent g Pu)

Depuis, ASN a autorisé AREVA à conditionner en CSD-C les fûts ECE contenant des débris dissolvreur de façon éparsée et/ou en pot (volume maximal de litres de débris par fût ECE) par la décision du modifiée et complétée par la décision ASN n° du.

6.3 Impact des débris dissolvreur sur le comportement long terme au stockage

Les « débris dissolvreur » n'apportent aucune espèce chimique nouvelle, uniquement un apport supplémentaire dans les CSD-C de débris issus du nettoyage de dissolvreur augmentant l'inventaire chimique particulièrement, et en fines & éclats.

6.3.1 Impact des débris dissolvreur sur la radiolyse et le dégazage

La radiolyse des débris dissolvreur se résume à la radiolyse de l'eau apportée par les précipités.

L'estimation de production d'hydrogène à t_0 d'un combustible est de NL/h/g d'eau associée au. Le Tableau 5 récapitule les contributions du dans la production d'hydrogène pour différentes configurations.



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
 IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

Tableau 5 : Débit d'hydrogène à t_0 correspondant à la radiolyse de l'eau du (calculé pour un combustible UOX3)

	CSD-C conventionnel (entraînement nominal)	pot de L maxi de débris dissolvant	CSD-C issu de fût ECE (nominal + 1 pot de débris)	Solution proposée (nominal + kg)
Quantité de	kg	kg	kg	kg
Quantité d'eau correspondante	g	g	g	g
Débit d'hydrogène	NL/h	NL/h	NL/h	NL/h
	NL/an	NL/an	NL/an	NL/an

La contribution à t_0 de l'eau des précipités dans la production totale d'hydrogène d'un CSD-C est faible (de l'ordre de %) en comparaison du débit total d'hydrogène enveloppe (NL/an [2] et § 4.1.1).

Cette contribution de l'eau, si elle devient majoritaire avec le temps et l'épuisement rapide en , reste négligeable à t_0 avec un débit d'hydrogène de NL/an/colis [dans le cas enveloppe⁴] à comparer au critère d'acceptabilité au stockage (NL/an/colis primaire). Dans les proportions proposées, les débris dissolvant ajoutés n'ont pas d'impact sur la radiolyse du CSD-C.

6.3.2 Impact de la lixiviation

Les données partagées par l' (§ 4.2.2) indiquent que le plutonium associé ne peut pas se retrouver sous forme totalement soluble en milieu cimentaire. La migration du Pu avec les PDH est donc peu probable.

Le modèle de relâchement labile associé aux précipités et aux fines/éclats permet de réaliser une estimation raisonnablement enveloppe de l'impact au stockage des débris dissolvant supplémentaires introduits,

- dans le cas du conditionnement du contenu des pots de débris déjà autorisé (kg maximum de précipités)
- ou selon les modalités proposées pour le conditionnement des débris entreposés (kg maximum de précipités).

6.3.3 Impact de la corrosion

Etant donné que les débris ne contiennent aucune espèce ou corrosive, les vitesses de corrosion des constituants actuellement en vigueur ne seront pas affectées.

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Validé - Le 25/05/2018

Référence : ██████████ 1974 v 1.0	AREVA BUSINESS GROUP AVAL NOTE TECHNIQUE		
Révision : ██████████			PAGE 14/16
Numéro de projet : ██████████			
Diffusion 1 - Diffusion normale			
COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT ██████████ - IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR			

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Valide - Le 25/05/2018

7 CONCLUSION

La répartition du terme source radiologique et chimique, ainsi que le comportement sur le long terme des différents constituants du CSD-C sont connus. La quantité de matière organique potentiellement présente dans les CSD-C produits selon la spécification ██████████ Rév.03 [1] est extrêmement réduite ██████████ grammes par CSD-C).

Les risques potentiels associés à ces colis durant les différentes phases de l'installation de stockage en projet (phase d'exploitation ventilée et phases après fermeture des alvéoles de stockage), sont maîtrisés :

- Le débit d'hydrogène de radiolyse est très inférieur à l'exigence à laquelle le colis primaire doit se conformer afin de pouvoir être accepté à Cigéo en vue de son stockage (██████████ NL/an/colis primaire), et ce même pour un colis pénalisant ██████████,
- Le caractère confinant de l'enveloppe du CSD-C en ██████████ vis-à-vis des risques de corrosion est maintenu pendant toutes les phases (d'entreposage et de stockage) ventilées. Ce caractère confinant est attesté par les observations faites dans le cadre du programme de surveillance des CSD-C.
- La complexation des radionucléides avec les matières hydrosolubles ██████████ est limitée compte-tenu des faibles quantités en présence, et de la compétition avec d'autres phénomènes ██████████,
- Les vitesses de corrosion des constituants ██████████ dans lesquels sont présents les radionucléides activés sont connues et très faibles ██████████ dans la phase postérieure à la fermeture du stockage. Le relâchement des produits d'activation a donc une cinétique très lente et congruente avec la corrosion,
- L'hypothèse de modèle labile, pour les produits de fission et la matière fissile entraînée, les fines / éclats de cisailage et les fines de dissolution, ainsi que pour les précipités ██████████, permet de réaliser une estimation raisonnablement enveloppe de l'impact au stockage de ces constituants.

L'introduction de débris dissolvant dans les fûts de coques et embouts dans des proportions limitées ne remet pas en cause la spécification CSD-C ██████████ et ne modifie pas substantiellement le comportement au stockage et son impact. Ce cas est d'ailleurs couvert par celui des CSD-C produits à partir de fûts ECE contenant ██████████ kg de précipités ██████████, conditionnement ayant fait l'objet d'une autorisation de l'ASN en ██████████.

COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT [REDACTED] -
IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR

8 REFERENCES

- [1] [REDACTED] « Spécification du colis CSD-C »
- [2] [REDACTED] « Dossier de connaissance des colis CSD-C produits selon la spécification [REDACTED] »
- [3] Dossier [REDACTED] référencé [REDACTED] (HAVL [REDACTED]) « Comportement des déchets en stockage - Modèles de relâchement des radionucléides pour les différentes familles de colis »
- [4] [REDACTED] référencée [REDACTED] « Dossier de synthèse sur le comportement à long terme des colis : Dossier opérationnel « CSD-C » [REDACTED] »
- [5] [REDACTED] référencée [REDACTED] « Dossier de synthèse sur le comportement à long terme des colis : Dossier de référence phénoménologique « CSD-C » [REDACTED] »
- [6] Document technique [REDACTED] référencé [REDACTED] « Modèle de relâchement retenus pour les déchets MA-VL pour les évaluations de sûreté après fermeture de Cigéo »
- [7] [REDACTED] référencée [REDACTED] « Dossier de synthèse sur le comportement à long terme (CLT) des colis CSD-C »
- [8] [REDACTED] « CSD-C obturé-Production de gaz »
- [9] [REDACTED] « Présentation du programme de surveillance des CSDC »
- [10] [REDACTED] CSD-C « Surveillance des CSDC témoins Etat des lieux [REDACTED] »
- [11] Décision [REDACTED] de l'ASN du [REDACTED] modifiant la décision [REDACTED] du [REDACTED] pour permettre la production de colis standards de déchets compactés (CSD-C) à partir de fûts ECE contenant des résidus issus des opérations de rinçage des dissolveurs.

Référence :	1974 v 1.0
Révision :	PAGE 16/16
Numéro de projet :	
Diffusion	1 - Diffusion normale

**AREVA
BUSINESS GROUP AVAL
NOTE TECHNIQUE**



**COMPORTEMENT LONG TERME (CLT) DU CSD-C SUIVANT -
IMPACT DES DEBRIS DISSOLVEUR**

TABLE DES MATIERES

1	OBJECTIF.....	1
2	RAPPEL DES CONSTITUANTS DES COLIS CSD-C.....	1
3	TERME SOURCE DU CSD-C [3].....	3
3.1	Terme source radiologique.....	3
3.2	Terme source chimique.....	3
4	COMPORTEMENT AU STOCKAGE DU TERME SOURCE DU CSD-C.....	4
4.1	Phénomène de radiolyse et conséquences associées (exploitation et fermeture du stockage).....	5
4.1.1	<i>Produits gazeux issus de la radiolyse.....</i>	5
4.1.2	<i>Produits de dégradation hydrosolubles (PDH).....</i>	6
4.2	Phénomènes de lixiviation (fermeture du stockage).....	7
4.2.1	<i>Lixiviation des PDH.....</i>	7
4.2.2	<i>Comportement du précipité [] au stockage.....</i>	8
4.3	Phénomène de corrosion.....	9
4.3.1	<i>Corrosion des métalliques en phase d'entreposage et d'exploitation du stockage.....</i>	9
4.3.2	<i>Corrosion des métalliques en phase de fermeture du stockage.....</i>	10
5	MODELES DE RELACHEMENT DES RADIONUCLEIDES (RN).....	11
5.1	Relâchement congruent à la corrosion des matériaux.....	11
5.2	Relâchement selon un modèle labile.....	11
6	CAS DES DEBRIS DISSOLVEUR.....	12
6.1	Origine des débris dissolvreur.....	12
6.2	Gestion des débris dissolvreur.....	12
6.3	Impact des débris dissolvreur sur le comportement long terme au stockage.....	12
6.3.1	<i>Impact des débris dissolvreur sur la radiolyse et le dégazage.....</i>	12
6.3.2	<i>Impact de la lixiviation.....</i>	13
6.3.3	<i>Impact de la corrosion.....</i>	13
7	CONCLUSION.....	14
8	REFERENCES.....	15

Edition GEIDE du 25/05/2018 - Etat Valide - Le 25/05/2018