



CEA/DAM/DMNP

DO 28 22/03/18



18SSTT000223

difusé le : 22/03/18

1/20-

STRATEGIE DE GESTION DES DECHETS TRITIÉS INCINÉRABLES

Nombre de pages : 20

SOMMAIRE

GLOSSAIRE - DEFINITIONS	3
1. CONTEXTE	5
2. SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION ET AUTORISATION DE REJET.....	6
2.1 ENTREPOSAGE DES DECHETS SOLIDES TRITIÉS DU CENTRE CEA DE VALDUC.....	6
2.1.2 Autorisation de rejet.....	6
2.1.2 Spécifications d'acceptation des déchets tritiés purs.....	7
2.2 INCINERATEUR CENTRACO – SOCODEI.....	7
2.2.1 Autorisation de rejet.....	7
2.2.2 Spécifications d'acceptation	8
2.3 STOCKAGE DE DECHETS	9
2.3.1 Centre de Stockage de l'Aube (CSA).....	9
2.3.1.1 Limites réglementaires	9
2.3.1.2 Spécifications d'acceptation.....	9
2.3.2 Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (CIRES).....	9
2.3.2.1 Activité totale en tritium acceptable sur le Centre.....	9
2.3.2.2 Spécifications d'acceptation.....	10
3. INVENTAIRE DE DECHETS TRITIÉS.....	10
3.1 NATURE DES DECHETS.....	10
3.2 CLASSIFICATION DES DECHETS TRITIÉS	10
3.3 DECHETS TRITIÉS PURS INCINÉRABLES DU CEA DAM.....	11
3.4 DECHETS D'ITER.....	12
4 HYPOTHESES DE FLUX D'EVACUATION VERS LES EXUTOIRES.....	13
4.1 SCENARIO DE REFERENCE : STOCKAGE APRES ENTREPOSAGE DE DECROISSANCE (SC0).....	13
4.2 SCENARIOS ALTERNATIFS.....	13
4.2.1 Incinération après entreposage de décroissance (SC1).....	13
4.2.2 Incinération directe des déchets tritiés (SC2).....	13
4.2.2.1 Déchets de Valduc.....	13
4.2.2.2 Déchets d'ITER.....	13
4.2.3 Stockage direct des déchets tritiés (SC3).....	14
4.2.3.1 Déchets de Valduc.....	14
4.2.3.2 Déchets d'ITER.....	14
5 CALCULS D'IMPACT	14
5.1 ESTIMATION DES ACTIVITES EN FONCTION DES SCENARIOS.....	14
5.2 ESTIMATION DES IMPACTS.....	15
5.2.1 Estimation des impacts sur les centres d'entreposage.....	15
5.2.2 Estimation des impacts au CSA.....	15
5.2.3 Estimation des impacts à Centraco.....	16
5.3 RESULTATS	16
5.3.1 Scénario de référence SC0 : stockage après entreposage de décroissance.....	16
5.3.1.1 SC0-H1 (1 fût par colis de stockage).....	16
5.3.1.2 SC0-H2 (3 fûts par colis de stockage).....	17
5.3.2 Scénario SC1 : Incinération après entreposage de décroissance.....	17
5.3.3 Scénario SC2 : incinération directe des déchets tritiés.....	18
5.3.4 Scénario SC3 : stockage direct des déchets tritiés.....	18
6 DISCUSSION ET CONCLUSION	19

GLOSSAIRE - DEFINITIONS

ANDRA :	Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs
ASN :	Autorité de Sûreté Nucléaire
ASND :	Autorité de Sûreté Nucléaire Défense
ATM :	Atelier Tritium de Marcoule
BAG :	Boîte A Gants
Bq :	Becquerel ; unité d'activité : 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.
CDE :	Cessation Définitive d'Exploitation
CEA :	Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
CENTRACO :	Incinérateur industriel de déchets de faible activité
CIGEO :	Centre Industriel de stockage GEOlogique (stockage profond des déchets HA et MA-VL)
CNE :	Commission Nationale d'Evaluation
CSA :	Centre de Stockage de l'Aube (déchets FMA-VC)
CSM :	Centre de Stockage de la Manche (déchets FMA-VC)
CIRES :	Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (déchets TFA)
DAM :	Direction des Applications Militaires
DGEC :	Direction Générale de l'Energie et du Climat
EDT :	Entreposage de Déchets Tritiés
FMA-VC :	déchets de Faible et Moyenne Activité à Vie Courte
HTO :	Tritium sous forme d'eau tritiée
OPECST :	Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
PNGMDR :	Plan National pour la Gestion des Matières et Déchets Radioactifs
SCI :	Stockage sous Couverture Intacte
SCR :	Stockage sous Couverture Remaniée
SOCODEI :	Société en charge de l'exploitation de l'incinérateur CENTRACO
TFA :	déchets de Très Faible Activité (voir classification en page 10)
VC :	déchets dits à Vie Courte dont la radioactivité provient majoritairement de radionucléides qui ont une période inférieure à 31 ans
VL :	déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans

Substance radioactive : substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

Matière radioactive : substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Déchets radioactifs : substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

Déchets radioactifs ultimes : déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

Déchets HA : déchets de Haute Activité destinés au stockage en couche géologique profonde. L'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de Bq par gramme (Exemple pour le CEA : Verres Atelier de Vitrification de Marcoule).

Déchets MA-VL : déchets de Moyenne Activité à Vie Longue destinés au stockage en couche géologique profonde. L'activité de ces déchets est de l'ordre du million au milliard de Bq par gramme (Exemple pour le CEA : déchets anciens de l'usine UP1).

Déchets FA-VL : déchets de Faible Activité à Vie Longue provenant soit du démantèlement des réacteurs de première génération à uranium naturel gaz (exemple pour le CEA : empilements des réacteurs UNGG G1, G2 et G3 de Marcoule), soit d'activité de traitement de minerais riches en uranium ou en thorium. Cette catégorie de déchets comprend aussi certains colis de déchets anciens issus de l'usine UP1.

Déchets FMA-VC : déchets de Faible et Moyenne Activité à Vie Courte stockés au centre de stockage de l'Aube (Exemple pour le CEA : fûts de déchets d'exploitation) ; l'activité de ces déchets se situe entre quelques centaines et un million de Bq par gramme.

Déchets TFA : déchets de Très Faible Activité issus de l'exploitation, de la maintenance et du démantèlement des installations ; l'activité de ces déchets est inférieure à cent Bq par gramme.

Entreposage : opération consistant à placer les déchets à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée dans l'attente de les récupérer pour les traiter ou pour les évacuer vers leur exutoire ultime (étape intermédiaire de la gestion des déchets).

Stockage : opération consistant à placer les déchets dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect de l'environnement (étape ultime de la gestion des déchets).

1. Contexte

Face à l'absence d'exutoire pour la plupart des déchets tritiés, la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, prévoit dans le cadre de la mise en place du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) « la mise au point pour 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium permettant la réduction de leur radioactivité avant leur stockage en surface ou à faible profondeur ».

La solution alors proposée en 2008, au titre de la gestion à long terme des déchets tritiés a été la mise en œuvre de plusieurs bâtiments d'entreposage de déchets tritiés pour décroissance radioactive pouvant aller jusqu'à 50 ans avant transfert vers un centre de stockage de l'Andra. Les déchets devenaient alors, à l'issue de cette période d'entreposage, compatibles des critères d'acceptation des sites de stockage. Le dossier a donc été élaboré en considérant les spécifications d'acceptation en tritium des stockages en vigueur en 2008. Ces conclusions ont été validées par l'Autorité de Sécurité Nucléaire en 2009 et, depuis, reprises par le PNGMDR.

La mise en application par l'Andra, 6 ans plus tard, de nouvelles spécifications d'acceptation plus contraignantes en tritium des stockages CIREs et CSA a un impact direct sur la durée d'entreposage des colis de déchets : avec ces spécifications, certains colis devront être entreposés sur des périodes plus longues pour décroissance radioactive.

Pour proposer des solutions adaptées à tous les types de déchets inventoriés, les déchets ont été distribués en différentes catégories. La catégorisation des déchets est fonction de l'activité en tritium et du taux de dégazage des colis de déchets. Six grandes familles de déchets tritiés, ont ainsi été définies dans le dossier d'orientation de 2008 :

- les déchets tritiés de très faible activité ;
- les déchets purs peu dégazants
- les déchets tritiés purs dégazants ;
- les déchets alpha tritiés ;
- les déchets irradiants tritiés contenant des radionucléides à vie courte (IR-VC) ;
- les déchets irradiants tritiés à vie longue (IR-VL).

Actuellement, le CEA/DAM est le principal producteur de déchets tritiés, entreposés sur le site. Par contre, le CEA ne produit pas de déchets tritiés irradiants à vie longue ; ils seront majoritairement produits par ITER après 2030.

Compte tenu de cette diversité, une conception modulaire des installations a été jugée nécessaire pour s'ajuster aux risques inhérents à chacune de ces catégories.

Les dates prévisionnelles de mise en service de nouvelles capacités d'entreposage à Valduc sont présentées dans le tableau suivant :

FAMILLE DE DECHETS TRITIÉS	BATIMENT D'ENTREPOSAGE	DATE PREVISIONNELLE DE MISE EN SERVICE
Tritiés purs peu dégazants	Bât. purs peu dégazants Tranche 1	Mise en service à Valduc en 2012
	Bât. purs peu dégazants Tranche 2	2024
	Bât. purs peu dégazants Bis	2037
Tritiés purs dégazants	Bât. purs dégazants	2035
Alpha/Tritiés dégazants	Bât. Alpha tritiés	2022
Irradiants tritiés avec radionucléides à vie courte	Bât. IR VC	2035

La majorité des déchets tritiés de très faible activité sont envoyés au CIREs. Une faible part de ces déchets de très faible activité nécessite un entreposage de quelques années avant évacuation en stockage. Ils sont entreposés en fûts dans le bâtiment d'entreposage de déchets tritiés purs peu dégazants.

A chaque famille de déchets tritiés est donc associé un concept d'entreposage d'une durée suffisamment longue pour permettre la décroissance de l'activité tritium des colis et leur prise en charge dans des centres de stockages de l'Andra actuels ou futurs.

Les déchets dont l'activité et le taux de dégazage dépassent les seuils acceptables en entreposage pour permettre leur exploitation (10 TBq/Colis et 55 MBq/jour/colis, respectivement) sont traités thermiquement. Ils deviennent ainsi compatibles avec un entreposage de décroissance.

Actuellement, l'incinération des déchets tritiés n'est pas dans l'éventail des solutions de gestion des déchets tritiés en France. Au Royaume-Uni, cette solution est pourtant préconisée avant les solutions de stockage. Actuellement, quatre incinérateurs de déchets radioactifs y sont exploités. Cette filière permet de réduire les volumes de 95% et les cendres sont stockées. Les critères d'acceptation dépendent de l'installation d'incinération et peuvent aller jusqu'à 100 GBq/fût pour le tritium.

Le PNGMDR a donc sollicité le CEA et Socodei en lien avec l'Andra pour une étude comparative sur le plan de la protection des personnes, de la sécurité et de l'environnement, de différentes solutions de gestion des déchets tritiés comprenant l'incinération, l'entreposage et le stockage direct. En réponse, nous proposons d'évaluer, pour un inventaire de déchets tritiés incinérables déjà produits (CEA Valduc) et futurs (CEA Valduc et ITER), les rejets produits au cours du temps par les trois solutions de gestion :

- l'incinération,
- l'entreposage puis le stockage lorsque les déchets respectent les spécifications d'acceptation actuelles des centres de stockage en exploitation,
- et le stockage direct.

Dans un premier chapitre, nous rappellerons les autorisations des rejets et les spécifications d'acceptation des différents exutoires envisagés.

Par la suite, les inventaires de déchets existants ou futurs seront précisés. Pour que les trois filières soient comparables, seul le cas des déchets solides incinérables a été pris en compte.

Les scénarios envisagés pour ces études comparatives sont présentés. Pour chacun de ces scénarios, les calculs de rejet et de dose à l'exutoire sont exposés.

2. Spécifications d'acceptation et autorisation de rejet *Entreposage des déchets solides tritiés du centre CEA de Valduc*

2.1.2 Autorisation de rejet

L'arrêté du 3 mai 1995 fixe les limites annuelles de rejet du centre de Valduc. Le centre de Valduc a une autorisation de rejets gazeux tritiés de 1850 TBq par an et n'a pas d'autorisation de rejet d'effluents tritiés. Environ 25% de ces rejets sont attribués aux entreposages de déchets tritiés (Figure 1).

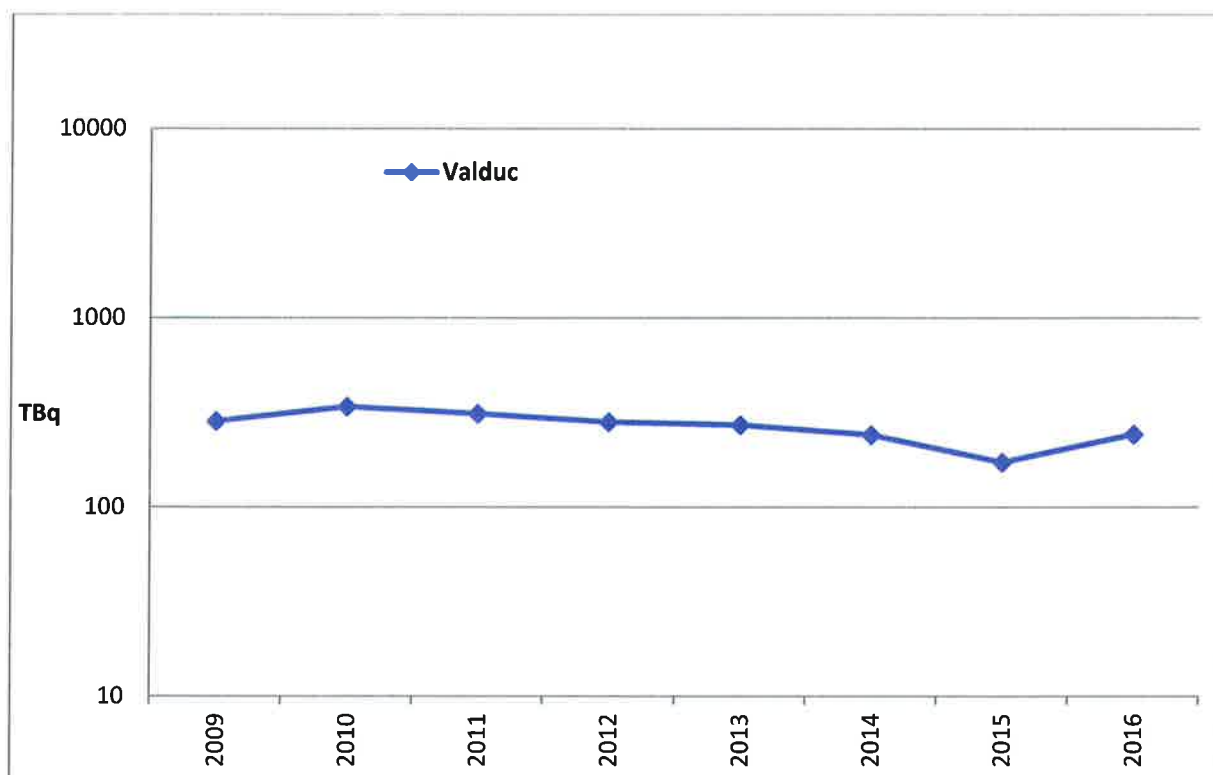


Figure 1 : Rejets atmosphériques de Tritium à Valduc en TBq par an de 2009 à 2016

2.1.2 Spécifications d'acceptation des déchets tritiés purs

Les déchets solides tritiés sont entreposés dans l'un des bâtiments d'entreposage actuellement exploités en fonction du taux de dégazage mesuré selon la norme NF-M60-327 de 2008.

Les déchets liquides sont interdits.

Les déchets solides sont emballés dans une enveloppe soudée en vinyle puis conditionnés en fûts de 200 litres, eux même protégés par une housse vinyle. Les fûts jaunes sont en acier noir peints de 1,5 mm d'épaisseur.

Pour être entreposés dans un des bâtiments de Valduc, le taux de dégazage journalier de chaque fût doit être inférieur à 55,5 MBq/J/fût. Au-dessus de cette valeur, les déchets sont traités thermiquement par fusion pour les déchets métalliques et par étuvage pour les déchets organiques. Ainsi, les déchets une fois traités deviennent compatibles avec un entreposage.

Les déchets conditionnés en fûts jaunes sont entreposés dans un des bâtiments d'entreposage en fonction de l'activité en tritium (A3H) et du taux de dégazage en tritium (D3H) :

- les déchets tritiés purs peu dégazants (A3H < 660 GBq/fût et D3H < 3,56 MBq/fût/jour) ;
- les déchets tritiés purs dégazants (A3H < 10 000 GBq/fût et D3H < 55,5 MBq/fût/jour).

2.2 Incinérateur CENTRACO – Socodéi

2.2.1 Autorisation de rejet

L'autorisation de rejet de CENTRACO (installation nucléaire de base n°160) fait l'objet d'un arrêté publié en 2012¹. L'activité rejetée en tritium à l'atmosphère par la cheminée, sous forme gazeuse ou d'aérosols solides, ne doit pas excéder 6 TBq par an et 1,4 TBq par mois.

L'activité en tritium des effluents liquides rejetés ne doit pas excéder 2 TBq par an et 0,47 TBq par mois ; l'activité maximale de ces effluents est de 2 MBq/l.

¹ Arrêté du 10 août 2012 portant homologation de la décision n° 2012-DC-0314 de l'ASN

Depuis 2009, le niveau d'activité tritium rejeté dans l'atmosphère ne dépasse pas 1 TBq. Depuis 2013, c'est 1 à 2 % de l'activité tritium rejeté par le centre de Marcoule.

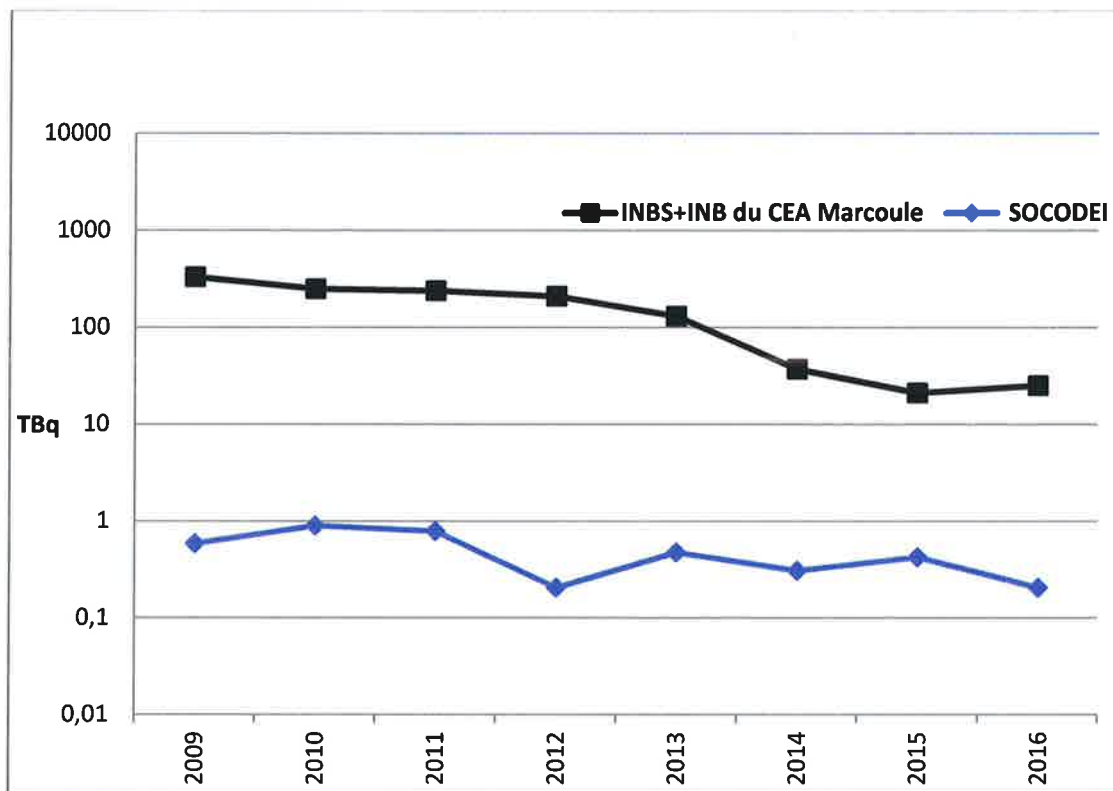


Figure 2 : Rejets atmosphériques de Tritium à Marcoule en TBq par an de 2009 à 2016

2.2.2 Spécifications d'acceptation ²

Les déchets solides incinérables doivent être conditionnés en fûts plastiques pour être directement introduits dans l'incinérateur. Les déchets conditionnés en fûts métalliques peuvent être reconditionnés en fûts plastiques par CENTRACO. L'activité en tritium des déchets ne doit pas dépasser 20 000 Bq/g. Si l'activité en tritium est comprise entre 20 000 et 40 000 Bq/g, un dossier particulier est instruit pour vérifier l'impact sur l'installation. Par ailleurs, l'installation n'est pas autorisée à détenir plus de 2 g de tritium.



Figure 2 : Incinérateur CENTRACO

² Conditions d'acceptation des déchets dans l'unité d'incinération de CENTRACO CTO 000 ST 0066 de 2014

2.3 Stockage de déchets

Le guide 2008 de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) fixe une valeur guide de 10 000 Bq par litre pour la potabilité d'une eau de boisson contenant du tritium. Cette valeur prend en compte une contrainte de dose de 0,1 mSv/an pour le consommateur qui utiliserait cette eau. Cette contrainte de dose est cohérente avec la contrainte de dose retenue pour apprécier l'impact à long terme d'un centre de stockage qui est fixée à 0,25 mSv/an, soit une fraction de la dose maximale admissible pour le public (1 mSv/an). Mais un tel critère de potabilité n'est en pratique pas utilisé en France pour définir les conditions d'exploitation d'une installation nucléaire. Sur le plan réglementaire, ce sont les autorisations de rejets des installations qui déterminent les conditions de fonctionnement.

2.3.1 Centre de Stockage de l'Aube (CSA)

2.3.1.1 Limites réglementaires

Les autorisations réglementaires du Centre limitent les rejets gazeux canalisés à 0,05 TBq/an, et les rejets liquides à 0,005 TBq/an.

Par ailleurs, les autorisations du Centre limitent à 4 000 TBq la quantité totale de tritium acceptable en stockage pour l'ensemble des colis.

2.3.1.2 Spécifications d'acceptation

L'activité en tritium par colis est limitée à 50 GBq pour l'ensemble des colis, à l'exception des fûts de 200 L à compacter pour lesquels la limite est fixée à 1 GBq/colis.

Le taux de dégazage journalier du tritium sous les différentes formes chimiques gazeuses, rapporté au tonnage du colis, est limité à $2 \cdot 10^5$ Becquerel par tonne et par jour ($2 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Les colis qui présentent une activité massique supérieure à la limite maximale d'acceptabilité pour le tritium ($2 \cdot 10^5 \text{ Bq/g}$) ne peuvent pas être pris en charge au CSA.



Figure 3 : Centre de stockage de l'Aube (CSA)

2.3.2 Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (CIRES)

2.3.2.1 Activité totale en tritium acceptable sur le Centre

Pour respecter ses objectifs environnementaux, l'Andra se fixe une limite d'activité totale stockée sur le centre pour le tritium de 15 TBq.

2.3.2.2 Spécifications d'acceptation

Les spécifications du CIRES limitent à 1 000 Bq/g l'activité maximale des déchets en tritium, lorsque le tritium est le seul radionucléide en présence dans les déchets.

Lorsque d'autres radionucléides sont présents, une règle de calcul s'applique et fixe, en pratique, la limite en tritium à une valeur plus basse.

Ponctuellement, une activité massique plus élevée d'un facteur 10 est acceptée pour un colis unitaire, à condition qu'à l'échelle d'un ensemble de colis la limite demeure respectée.



Figure 4 : Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (CIRES)

3. Inventaire de déchets tritiés

3.1 Nature des déchets

Les déchets produits sont principalement de nature métallique ou organique. Les déchets métalliques sont divisés en deux catégories :

- les déchets dits de 1^{ère} barrière correspondent à des parties de procédé ayant été en contact direct avec le tritium gaz (tuyauteries, vannes, capacités, ...) et qui, par là même, sont fortement actifs et dégazants. Ils nécessitent un traitement thermique avant conditionnement ;
- les déchets dits de 2^{ème} barrière, qui n'ont pas été en contact direct avec le tritium et qui confinent les équipements de la 1^{ère} barrière.

L'exploitation des installations génère également des déchets organiques, des déchets minéraux, des déchets liquides aqueux et organiques (huiles, solvants, liquides scintillants utilisés pour les analyses, panneaux de boîtes à gants, gants...).

3.2 Classification des déchets tritiés

On classe les déchets tritiés en fonction de leur activité et de leur taux de dégazage en tritium :

- déchets de très faible activité en tritium : ce sont des déchets qui sont légèrement marqués en tritium et qui ont séjourné dans des zones contaminantes ou à risque de contamination faible ; dans tous les cas, leur activité spécifique en tritium est inférieure à 1 000 Bq/g ;
- déchets de faible activité en tritium catégorisés « peu dégazants » : ce sont des déchets issus généralement de la seconde barrière de confinement du tritium ou des déchets ayant été traités. Lorsqu'ils sont conditionnés en fûts, ils ont un taux de dégazage tritium journalier inférieur à 3,56 MBq/j/fût ;

- déchets de moyenne activité en tritium catégorisés « dégazants » : ce sont des déchets technologiques issus de l'exploitation des procédés tritium qui pour certains ont subi un traitement. Lorsqu'ils sont conditionnés en fûts, ils ont un dégazage tritium journalier compris entre 3,56 MBq/j/fût et 55,5 MBq/j/fût ;
- déchets de forte activité en tritium : ils nécessitent un traitement (tri, découpe et fusion pour les déchets métalliques par exemple) ou un conditionnement spécifique pour atténuer le taux de dégazage s'il est supérieur à 2,2 GBq/j/fût ; une fois traités, ces déchets deviennent « peu dégazants ».

Certains déchets tritiés contiennent des radionucléides à vie courte autres que le tritium (déchets tritiés irradiants à vie courte - IRVC) ou à vie longue (déchets tritiés irradiants à vie longue – IRVL). Ces déchets tritiés mixtes peuvent être peu dégazants ou dégazants en tritium. Ces déchets tritiés sont aussi appelés « déchets tritiés mixtes ».

3.3 Déchets tritiés purs incinérables du CEA DAM

Dans cette étude, les déchets mixtes tritiés du CEA/DAM ne sont pas des déchets incinérables et ne sont donc pas pris en compte.

Par ailleurs, seuls les déchets solides organiques incinérables tritiés sont pris en compte ; en effet, les 3 000 litres d'huile tritiée entreposés sur le site de Valduc ont une activité trop importante (de l'ordre de 10^9 MBq de tritium au total) pour être acceptables à CENTRACO.

Les déchets tritiés purs incinérables sont entreposés sur le site de Valduc en fût de 200 litres standard en acier noir peint et d'épaisseur minimum 1,5 mm. Le stock de Valduc est de 6 241 colis de déchets technologiques avec présence de PVC. Les premiers colis ont été produits en 1982. Les caractéristiques moyennes des déchets en stock sont présentées dans le tableau 1. Les activités ont été déduites des mesures de dégazage effectuées à l'arrivée des colis dans l'installation, à partir de la relation empirique déduite du retour d'expérience de Valduc (livre blanc du tritium - ASN). Les activités présentées sont des activités à fin 2016 : la décroissance radioactive du tritium a été prise en compte.

Catégorie au 31/12/2016	Nombre de fûts au 31/12/2016	Activité moyenne en tritium par fût (GBq)	Dégazage moyen (GBq/an/fût)
Tritiés purs dégazants	310	357	3,6
Tritiés purs peu dégazants	5 931	15	0,15

Tableau 1 : inventaire de déchets tritiés incinérables entreposés au 31/12/2016 à Valduc

Pour la production future de Valduc exposée dans le tableau ci-dessous, on considère que les quantités de déchets produites et flux de production seront identiques à la production passée sur les 35 années à venir, avec des activités et taux de dégazage identiques.

Catégorie à la date de production du colis	Nombre de colis produits	Activité moyenne en tritium par colis à t0* (GBq)	Dégazage moyen à t0* (GBq/an/colis)
Tritiés purs dégazants	965	306	3,1
Tritiés purs peu dégazants	5 276	19	0,19

Tableau 2 : inventaire prévisionnel de déchets tritiés incinérables à Valduc

3.4 Déchets d'ITER

A la différence des déchets de Valduc considérés dans cette étude, qui sont des déchets tritiés purs, l'inventaire prévisionnel des déchets d'ITER concerne dans cette étude des déchets dits « mixtes » même si l'activité des radionucléides accompagnants peut être négligée par rapport à l'inventaire en tritium.

Les déchets d'ITER seront produits à partir de 2032 au plus tôt pour une période de 19 ans en comptant les phases de démantèlement. En dehors des déchets TFA non pris en compte dans cette étude, il est actuellement estimé que jusqu'à 150 m³ par an de déchets technologiques incinérables (du type gants, surbottes, blouses...) pourraient être produits annuellement. Compte tenu d'un taux de remplissage habituel, environ 1000 fûts de type 200L seraient produits annuellement. Par ailleurs, il est actuellement estimé que jusqu'à 7 m³ de résines échangeuses d'ions et 7 m³ d'huiles potentiellement tritiées pourraient être produits annuellement. Il est envisagé par ITER de placer les déchets solides FMA-VC dans des conteneurs de type CBF-C2 après compaction.

	Volume annuel déchets bruts (m ³ /an)	Masse annuelle (t/an)	Activité totale tritium annuelle (TBq/an)
Déchets technologiques secs du type : gants, surbottes, blouses, etc...	150	38	45
Résines échangeuses d'ions	7	10	7
Huiles minérales ou organiques	7	6	1

Tableau 3 : inventaire prévisionnel de déchets tritiés incinérables provenant d'ITER

	Nombre de colis primaires (colis/an)	Dégazage colis GBq/an/colis
Déchets technologiques secs du type : gants, surbottes, blouses, etc... (fût)	1071	0,4
Résines échangeuses d'ions (CBF-C2)	64	1,1
Huiles minérales ou organiques (fût)	47	0,2

Tableau 4 : inventaire prévisionnel de déchets tritiés incinérables provenant d'ITER

Note : ces valeurs sont susceptibles d'être révisées au fur et à mesure de l'avancement de la conception et de l'exploitation d'ITER.

4 Hypothèses de flux d'évacuation vers les exutoires

Différents scénarios de gestion de ces déchets tritiés, alternatifs au scénario de référence, sont étudiés pour comparaison. Le scénario de référence est celui qui permet d'envoyer les déchets tritiés en stockage après 50 ans de décroissance. Pour comparaison, un scénario de livraison des déchets avec une chronique qui répond à la capacité de transfert du producteur est étudié. Dans les deux autres scénarios envisagés, il est prévu d'envoyer les déchets pour incinération dans le respect des spécifications d'acceptation actuelles ou en fonction de la capacité du producteur à envoyer les déchets à CENTRACO.

4.1 Scénario de référence : stockage après entreposage de décroissance (SC0)

Le scénario de référence (SC0) consiste en l'évacuation des déchets produits après la décroissance radioactive du tritium suffisante pour que les déchets respectent les spécifications d'acceptation en vigueur du CSA.

Dans le cas de ce scénario, deux types de conditionnement sont pris en compte : les déchets contenus dans les fûts de 200 litres sont conditionnés et cimentés par 1 (scénario SC0-H1) ou par 3 fûts compactés (scénario SC0-H2) dans une coque béton de type CBF-C2³ ; le volume de ces coques est de 1.2 m³.

4.2 Scénarios alternatifs

4.2.1 Incinération après entreposage de décroissance (SC1)

Dans le cas de ce scénario SC1, les déchets tritiés sont transférés pour incinération à Socodéi dès lors qu'ils respectent les spécifications d'acceptation actuelles (cf § 2.2). A noter que pour transférer les déchets déjà produits, ils devront être reconditionnés en fûts plastiques pour être introduits directement dans l'incinérateur. Cette opération de reconditionnement pourrait se faire dans les installations des producteurs ou à CENTRACO.

4.2.2 Incinération directe des déchets tritiés (SC2)

Dans le cas de ce scénario SC2, les déchets tritiés sont envoyés directement vers l'incinérateur de Socodéi, sans période de décroissance dès 2022. Les conditions d'acceptation actuelles à CENTRACO ne seraient pas respectées et nécessiteraient une nouvelle autorisation de rejet et un nouveau référentiel de sûreté pour l'exploitation de l'installation.

4.2.2.1 Déchets de Valduc

Les déchets historiques de Valduc seraient transférés dans les premières années. Le flux considéré de désentreposage pour ces déchets est de 300 fûts par an dès 2022. Compte tenu du nombre de fûts de déchets historiques entreposés au 31/12/2016, 20 ans seraient nécessaires pour les évacuer vers CENTRACO. Les déchets produits à partir de 2017 pourraient alors être incinérés à partir de 2042. Pour cette deuxième phase, on considère 150 fûts envoyés par an durant 30 ans.

4.2.2.2 Déchets d'ITER

Les déchets incinérables d'ITER sont évacués dès leur production, ce qui constitue un flux moyen annuel de 54 tonnes de déchets, à partir de 2032 au plus tôt pendant 19 ans en comptant les phases de démantèlement.

³ Coque béton fibré décrite dans l'Édition 2015 de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs – Catalogue des familles

Note : ces valeurs sont susceptibles d'être révisées au fur et à mesure de l'avancement de la conception et de l'exploitation d'ITER.

4.2.3 Stockage direct des déchets tritiés (SC3)

Dans le cas de ce scénario, les conditions d'acceptation du CSA ne seraient pas respectées et nécessiteraient très probablement une nouvelle autorisation de rejet en tritium.

4.2.3.1 Déchets de Valduc

Pour être comparable en terme d'activité tritium évacuée annuellement du centre, on a considéré dans ce scénario que 300 fûts par an pouvaient être évacués vers le CSA dès 2022. L'hypothèse de conditionnement prise en compte est de 3 fûts conditionnés par coque béton- soit 100 coques béton stockées par an au CSA. Le flux considéré de désentreposage pour ces déchets est de 300 fûts par an dès 2022. Compte tenu du nombre de fûts de déchets historiques entreposés au 31/12/2016, 20 ans seraient nécessaires pour les évacuer vers le CSA.

Les déchets produits à partir de 2017 pourraient alors être transférés vers le stockage à partir de 2042. Pour cette deuxième phase, on considère 150 fûts de 200 litres envoyés par an durant 30 ans (soit 50 colis CBF-C2).

4.2.3.2 Déchets d'ITER

Les déchets d'ITER incinérables seraient évacués dès leur production, ce qui constitue un inventaire moyen annuel de 54 tonnes de déchets, à partir de 2032 au plus tôt pendant 19 ans en comptant les phases de démantèlement. Cette quantité annuelle de déchets évacués à l'Andra pourrait être répartie en moyenne comme suit :

- 358 colis de type CBF-C2 de déchets technologiques à raison de 3 fûts de 200 litres en moyenne compactés par colis de type CBF-C2;
- 64 colis de type CBF-C2 de résines échangeuses d'ions ;
- 47 colis de type CBF-C2 de déchets liquides organiques.

Dans le cas des REI et déchets liquides, on fait l'hypothèse que l'équivalent d'un fût de 200 litres sera conditionné en colis CBF-C2. Les déchets seraient traités puis solidifiés par cimentation par exemple, avant conditionnement.

Note : ces valeurs sont susceptibles d'être révisées au fur et à mesure de l'avancement de la conception et de l'exploitation d'ITER.

5 Calculs d'impact

5.1 Estimation des activités en fonction des scénarios

Les activités sont estimées pour chaque scénario et pour chaque site à partir de la méthode suivante.

Dans un premier temps, pour chaque scénario sont tracées les courbes qui représentent :

- l'activité entreposée sans évacuation ($AE_{\text{sans-évac}}$) : somme des activités des déchets en stock et déchets à produire ;
- l'activité transférée vers l'exutoire (AT) : somme de l'activité des colis transférés au CSA ou à CENTRACO ;
- l'activité entreposée avec évacuation (AE) : suivant la formule $AE = AE_{\text{sans-évac}} - AT$.

Un exemple de courbes est présenté dans la figure suivante. Ces courbes permettent de représenter la variation de l'activité moyenne en tritium présente sur chaque site, par période de 5 ans. Les activités représentées tiennent compte de la décroissance radioactive.

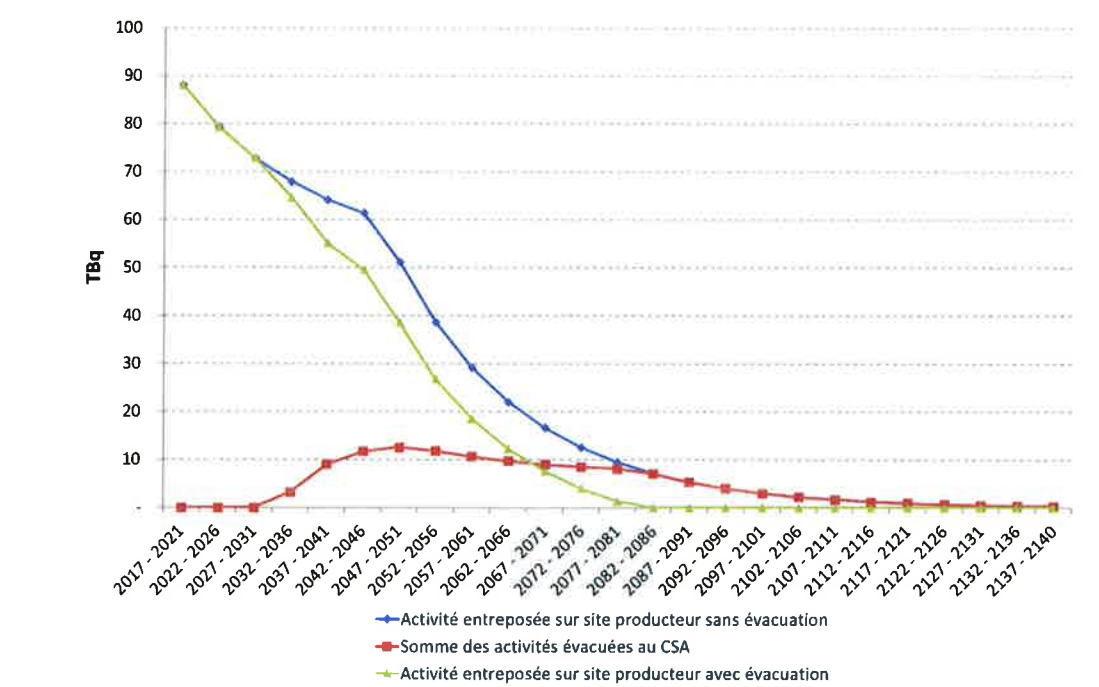


Figure 5 : exemple de calcul de l'évolution de l'activité annuelle moyenne en tritium présente sur les sites - scénario SC0-H2

A titre d'exemple, les activités annuelles moyennes sur la période 2047 à 2051 :

- $AE_{\text{sans-évac}} = 52 \text{ TBq}$
- $AT = 13 \text{ TBq}$
- $AE = 39 \text{ TBq}$

Dans un second temps, l'activité maximale et l'activité moyenne sur une période de 50 ans sont déterminées. A noter que l'activité moyenne est calculée sur une période de 50 ans maximum (dans ce cas la moyenne correspond à la moyenne des 50 valeurs les plus fortes).

Par exemple, dans le cas de la figure 5 :

- l'activité stockée au CSA est maximale pour l'année 2050 soit 13 TBq ;
- l'activité moyenne annuelle stockée au CSA est calculée sur la période 2036-2085 soit une moyenne annuelle de 10 TBq.

5.2 Estimation des impacts

5.2.1 Estimation des impacts sur les centres d'entreposage

Les rejets sur les centres d'entreposage sont estimés à partir du taux de dégazage moyen des entreposages du centre CEA de Valduc. Ce taux est en moyenne de l'ordre de 1 % par an de l'activité entreposée. Sur le centre de Valduc, l'impact radiologique des rejets atmosphériques est de l'ordre de $6 \cdot 10^{-6} \text{ mSv/TBq/an}$.

A Cadarache, en considérant un rejet annuel de 150 TBq/an présenté dans le dossier d'options de sûreté (DOS) du futur entreposage INTERMED prévu pour les déchets tritiés d'ITER, la dose calculée à Saint Paul Lez Durance est de $1,5 \mu\text{Sv}$, ce qui correspond à un taux moyen de $10^{-5} \text{ mSv/TBq/an}$.

5.2.2 Estimation des impacts au CSA

L'estimation de l'impact des rejets aux CSA est réalisée sur la base du retour d'expérience de l'exploitation du centre de stockage. A ce jour, environ 60 TBq de tritium ont été stockés au CSA, depuis 25 ans. On estime que l'essentiel du marquage de l'environnement, en tritium, constaté à proximité des ouvrages de stockage, est dû à la réception de caissons contenant des plaques radio-luminescentes. Ces colis stockés en septembre 1994, comportaient un inventaire total de 12 TBq environ. Un marquage

progressif a ainsi été constaté à partir de la fin des années 1990, en différents points du site, avec un maximum local constaté à 50 Bq/l en 2008.

En termes d'impact le retour d'expérience a montré qu'il n'a pas en pratique excédé 10 nSv/an, associé aux rejets contrôlés du bassin d'orage. L'impact retenu est de $8,3 \cdot 10^{-7}$ mSv/TBq/an.

Il faut toutefois rappeler que l'estimation de l'impact associé au stockage de colis contenant du tritium est un exercice délicat car il fait intervenir de nombreux paramètres dont notamment :

- la forme physico-chimique du tritium, à savoir sa répartition entre les formes HT et HTO, dont les vitesses de migration sont très différentes ;
- le taux de dégazage du colis, qui est fonction de la nature des déchets et du colisage ;
- le degré de saturation des ouvrages qui conditionne fortement la migration du tritium à travers les colis et des barrières ouvragées.

Néanmoins l'impact dosimétrique n'est pas la seule condition qui détermine l'acceptabilité des déchets tritiés sur le CSA. Notamment, la limitation du marquage des eaux souterraines (objectif de 100 Bq/l max), et le respect de l'autorisation de rejet liquide (5 GBq/an au bassin d'orage) sont des contraintes qui limitent la prise en charge de colis contenant des quantités significatives de tritium. »

5.2.3 Estimation des impacts à Centraco

Le retour d'expérience montre qu'une proportion de l'activité, environ 30%, est concentrée dans les rejets d'effluents liquide. A titre conservatif, il est considéré que 100% de l'activité incinérée est rejetée dans les effluents gazeux. L'impact des rejets est de l'ordre de $5,6 \cdot 10^{-5}$ mSv/TBq/an.

5.3 Résultats

Chaque tableau de résultats présente l'activité tritium maximale annuelle ainsi que l'activité moyenne annuelle des déchets tritiés présents sur les sites, exprimées en TBq. Les impacts annuels associés ont été estimés et sont exprimés en mSv/an.

5.3.1 Scénario de référence SC0 : stockage après entreposage de décroissance

Dans ce scénario, les déchets tritiés sont entreposés pour décroissance sur les sites des producteurs puis transférés en stockage lorsqu'ils sont compatibles des spécifications d'acceptation de l'Andra. Les deux cas de conditionnement envisagés pour un envoi au CSA sont décrits ci-dessous :

5.3.1.1 SC0-H1 (1 fût par colis de stockage)

Dans ce scénario, un fût de déchets tritiés est conditionné dans un colis CBF-C2.

		Activité max TBq/an	Impact max mSv/an	Activité moyenne TBq/an	Impact moyen mSv/an
Déchets CEA DAM	CSA	8	$6,5 \cdot 10^{-6}$	4	$3,2 \cdot 10^{-6}$
	Entreposage VAlduc	92	$5,7 \cdot 10^{-6}$	52	$3,2 \cdot 10^{-6}$
	Total	100	$1,2 \cdot 10^{-5}$	56	$6,4 \cdot 10^{-6}$
Déchets d'ITER	CSA	264	$2,2 \cdot 10^{-4}$	143	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	Entreposage Intermed ⁴	511	$5,1 \cdot 10^{-5}$	204	$2,0 \cdot 10^{-5}$
	Total	775	$2,7 \cdot 10^{-4}$	347	$1,4 \cdot 10^{-4}$

⁴ Intermed est l'entrepôt de déchets d'ITER prévu d'être construit à Cadarache pour accueillir les déchets d'ITER en attente de leur évacuation vers les sites de stockage de l'Andra.

5.3.1.2 SC0-H2 (3 fûts par colis de stockage)

Dans ce scénario, trois fûts de déchets tritiés sont conditionnés dans un colis CBF-C2.

		Activité max TBq/an	Impact max mSv/an	Activité moyenne TBq/an	Impact moyen mSv/an
Déchets CEA DAM	CSA	13	$1,1 \cdot 10^{-5}$	10	$8,2 \cdot 10^{-6}$
	Entreposage VALduc	92	$5,7 \cdot 10^{-6}$	50	$3,1 \cdot 10^{-6}$
	Total	105	$1,7 \cdot 10^{-5}$	60	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Déchets d'ITER	CSA	97	$8,0 \cdot 10^{-5}$	43	$3,6 \cdot 10^{-5}$
	Entreposage Intermed	624	$6,2 \cdot 10^{-5}$	305	$3,1 \cdot 10^{-5}$
	Total	721	$1,4 \cdot 10^{-4}$	348	$6,7 \cdot 10^{-5}$

5.3.2 Scénario SC1 : Incinération après entreposage de décroissance

Dans ce scénario alternatif, les déchets sont entreposés pour décroissance et évacués vers CENTRACO dès qu'ils sont compatibles des spécifications d'acceptation de l'incinérateur.

		Activité max TBq/an	Impact max mSv/an	Activité moyenne TBq/an	Impact moyen mSv/an
Déchets CEA DAM	CENTRACO	0,2	$9,1 \cdot 10^{-6}$	0,1	$3,7 \cdot 10^{-6}$
	Entreposage Valduc	92	$5,7 \cdot 10^{-6}$	58	$3,5 \cdot 10^{-6}$
	Total	92	$1,5 \cdot 10^{-5}$	58	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Déchets d'ITER	CENTRACO	1	$5,2 \cdot 10^{-5}$	1	$2,2 \cdot 10^{-5}$
	Entreposage Intermed	632	$6,3 \cdot 10^{-5}$	329	$3,3 \cdot 10^{-5}$
	Total	633	$1,2 \cdot 10^{-4}$	330	$5,5 \cdot 10^{-5}$

5.3.3 Scénario SC2 : incinération directe des déchets tritiés

Dans ce scénario, les déchets tritiés seraient incinérés dès leur production pour ceux produits par ITER. Les déchets de Valduc seraient incinérés à partir de 2022 ; dans ce scénario, les déchets historiques devront être reconditionnés en fûts polyéthylène pour être compatibles de l'incinérateur.

		Activité max TBq/an	Impact max mSv/an	Activité moyenne TBq/an	Impact moyen mSv/an
Déchets CEA DAM	CENTRACO	3	$1,9 \cdot 10^{-4}$	1	$7,0 \cdot 10^{-5}$
	Entreposage Valduc	92	$5,7 \cdot 10^{-6}$	39	$2,4 \cdot 10^{-6}$
	Total	95	$1,9 \cdot 10^{-4}$	40	$7,2 \cdot 10^{-5}$
Déchets d'ITER	CENTRACO	53	$2,9 \cdot 10^{-3}$	20	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	Entreposage Intermed	0	0	0	0
	Total	53	$2,9 \cdot 10^{-3}$	20	$1,1 \cdot 10^{-3}$

5.3.4 Scénario SC3 : stockage direct des déchets tritiés

Dans ce scénario, les déchets tritiés seraient stockés au CSA dès leur production pour ceux produits par ITER. Les déchets de Valduc seraient stockés à partir de 2022. 3 fûts de 200 litres seraient conditionnés en colis béton de type CBF-C2.

		Activité max TBq/an	Impact max mSv/an	Activité moyenne TBq/an	Impact moyen mSv/an
Déchets CEA DAM	CSA	24	$2,0 \cdot 10^{-5}$	18	$1,5 \cdot 10^{-5}$
	Entreposage Valduc	92	$5,7 \cdot 10^{-6}$	41	$2,5 \cdot 10^{-6}$
	Total	116	$2,6 \cdot 10^{-5}$	59	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Déchets d'ITER	CSA	632	$5,3 \cdot 10^{-4}$	329	$2,7 \cdot 10^{-4}$
	Entreposage Intermed	0	0	0	0
	Total	632	$5,3 \cdot 10^{-4}$	329	$2,7 \cdot 10^{-4}$

6 Discussion et Conclusion

Quatre scénarios de gestion des déchets tritiés incinérables ont été étudiés pour comparaison :

- Scénario SC0 – scénario de référence :
Dans ce scénario, les déchets tritiés sont entreposés pour décroissance sur les sites des producteurs puis transférés en stockage lorsqu'ils sont compatibles avec les spécifications d'acceptation actuelles de l'Andra. Deux variantes ont été étudiées :
SC0-H1 : 1 fût par colis de stockage CBF-C2
SC0-H2 : 3 fûts par colis de stockage CBF-C2
- Scénario SC1 - incinération après entreposage de décroissance :
Dans ce scénario alternatif, les déchets sont entreposés pour décroissance et évacués vers CTO dès qu'ils sont compatibles des spécifications d'acceptation de l'incinérateur.
- Scénario SC2 - Incinération directe des déchets tritiés
Dans ce scénario, les déchets tritiés seraient incinérés dès leur production pour ceux produits par ITER. Les déchets de Valduc seraient incinérés à partir de 2022.
- Scénario SC3 - stockage direct des déchets tritiés
Dans ce scénario, les déchets tritiés seraient stockés au CSA dès leur production pour ceux produits par ITER. Les déchets de Valduc seraient stockés à partir de 2022. Trois fûts de 200 litres seraient conditionnés en colis béton de type CBF-C2.

Des calculs d'impact à l'environnement ont été effectués pour ces scénarios de gestion de déchets tritiés incinérables. Les résultats montrent que l'impact le plus fort est obtenu pour le scénario SC2 d'incinération directe des déchets. Les impacts les plus faibles sont obtenus pour les scénarios SC0 (stockage après entreposage de décroissance) et SC1 (incinération après entreposage de décroissance). Le rapport entre les impacts des scénarios SC0 et SC2 est de l'ordre de 20.

Quelque soit le scénario, les impacts estimés sont inférieurs d'un facteur 1 000 à 16 000 à la limite d'exposition du public de 1 mSv/an (hors radioactivité naturelle). Ces évaluations d'impact sont donc peu discriminantes vis-à-vis du choix de l'exutoire définitif en termes d'impact environnemental global puisque c'est essentiellement la répartition sur les différents sites impliqués qui varie. Néanmoins, les scénarios d'incinération (SC1 et SC2) amènent des rejets ponctuels alors que les scénarios d'entreposage/stockage (SC0 et SC3) sans incinération amènent des rejets continus.

Pour définir la solution optimum et proportionnée aux enjeux, il faut considérer d'autres critères qui restent à définir, tel que l'impact dosimétrique sur les opérateurs ou le ratio coût/impact des solutions envisagées. Plus globalement, une analyse technico-économique de ces scénarios semble nécessaire.

La solution proposée en 2008 pour la gestion à long terme des déchets tritiés a été l'entreposage pour décroissance radioactive pouvant aller jusqu'à 50 ans avant transfert vers un centre de stockage de l'Andra (scénario de référence). La mise en application par l'Andra, 6 ans plus tard, de nouvelles spécifications d'acceptation plus contraignantes en tritium au centre de stockage de l'Aube (dans l'objectif de garantir le respect des autorisations de rejet du site) a un impact direct sur la durée d'entreposage des colis de déchets : certains colis devront être entreposés sur des périodes plus longues pour décroissance radioactive avant de pouvoir rejoindre les stockages. Ces modifications impliquent que les producteurs revoient le scénario de référence et prévoient l'allongement de la durée d'entreposage de certains déchets tritiés au-delà de 50 ans, ainsi que les surfaces d'entreposage. Pour cette raison, la recherche d'une optimisation globale du système pourrait conduire à étudier un scénario en rupture, notamment pour les déchets tritiés purs peu dégazants, qui serait le stockage direct de ces déchets sur le site du producteur. A la fin de l'exploitation de l'ouvrage de stockage, le site pourrait être surveillé pendant une durée équivalente à 10 fois la période du tritium, soit 120 ans. Pour évaluer l'intérêt de cette option, une étude de faisabilité technique, économique et réglementaire comprenant notamment l'impact dosimétrique du reconditionnement des déchets ou l'impact environnemental du transport devra être menée.

L'incinération directe, voie qui semble intéressante en termes d'impact global, impliquerait une nouvelle demande d'autorisation de rejet de Centraco et une révision du référentiel de sûreté de l'installation voire des adaptations de l'installation pour absorber les flux induits (ex : surfaces d'entreposage avant traitement, cadence induite...). Un scénario alternatif pourrait être envisagé dans le respect des autorisations de rejet en vigueur. Ce scénario permettrait de limiter la durée d'entreposage sur les sites des producteurs de déchets et de réduire la durée d'exposition des populations. En effet, il suffit d'augmenter d'un facteur 10 l'activité massique en tritium des déchets, acceptable à l'entrée de Centraco pour diminuer de quelques décennies la durée d'entreposage et les risques liés à l'exploitation des entreposages.