



DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE

SERVICE ÉTUDES ET PROJETS
THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Diffusé le : Voir code barres ci-dessus

Entité émettrice : **TE/RP**

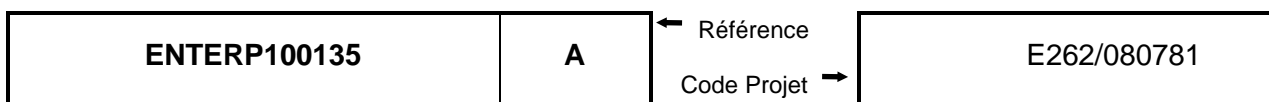
Rédacteur : **BONELLI V.**

Nbre de pages : 20

Domaine d'application : **Radioprotection**

Nbre d'annexes : 2

Titre : **Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés**



Type de document : **Note d'étude**

Mots clés : RGV, contamination, terme source, GV usés

Résumé : En se basant sur le REX disponible et la méthode employée pour le palier 900, la note propose un terme source d'activités pouvant être considérées comme enveloppes pour les GV du palier 1300. Ce terme source est à utiliser pour la déclaration des activités des GV disposés dans les bâtiments d'entreposage suite à RGV.

Rédacteur		Vérificateur		Approbateur				
				Chef d'entité		Chef de rang supérieur		
Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	Nom-Date	Visa	
BONELLI V. 09/08/2010		GUINARD L. 09/08/2010		CARRE M. 17/08/2010				

EVOLUTIONS DES TROIS DERNIERS INDICES

Cocher s'il y a un changement de méthodologie
Cocher ici s'il y a une évolution des données amont

Indice	Date d'approbation	Motif du changement d'indice	Modifications apportées		

Archivage long : OUI	Archivé au FDU : OUI	Copyright EDF 2010
Livrable principal : OUI		
<input type="checkbox"/> Confidentiel	L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur.	
<input type="checkbox"/> Restreint	L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité (sur la base d'une liste explicite et avec information de l'initiateur).	
<input checked="" type="checkbox"/> Interne	Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF/DPI (et entités autorisées) que par une personne habilitée.	

Ce document contient des informations sensibles relevant du secret et juridiquement protégées. Il est réservé à l'usage exclusif des personnes désignées comme destinataires du document et/ou autorisées à y accéder. Il est illégal de photocopier, distribuer, divulguer, ou d'utiliser de toute autre manière les informations contenues dans ce document sans accord du service émetteur de la DIN.

EDF SEPTEN	Note d'étude ENTERP100135		Indice A	Page 2/20
Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés				
FICHE DE GESTION				
Important pour la sûreté (IPS)		OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>	
Cette note modifie ou exprime une exigence de Sûreté, de Radioprotection ou d'Environnement ? :				
		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>	
Appliquer le processus O4a				
Document HPIC :		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>	
Vérification	demandée	OUI <input type="checkbox"/>	Par EDF	<input type="checkbox"/>
Indépendante		NON <input type="checkbox"/>	Hors EDF	<input type="checkbox"/>
			En ligne	<input type="checkbox"/>
			En différé	<input type="checkbox"/>
			En cours	<input type="checkbox"/>
			Effectuée	<input type="checkbox"/>
Responsable vérification (NOM, SERVICE / SOCIÉTÉ) :				
Prédiffusion du présent indice :		OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>	
Après de : MAZARGUIL N. (CIPN), RIDOUX P. (CIPN), TERRAL C. (CIPN), BONNEFON J. (SEPTEN TE/RP), RANCHOUX G. (SEPTEN TE/RP), ROMAN C. (CIDEN MF SE), LANTES B. (UTO)				
Existe-t-il un dossier d'étude associé à la note à cet indice ? :		OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>	
Contrôle linguistique renforcé :		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>	

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés**SYNTHÈSE**

La note propose un terme source représentatif de la contamination des GV qui seront déposés après RGV (Remplacement des Générateurs de Vapeur) sur une tranche 1300MW. Dans l'optique de la déclaration des activités contenues dans les bâtiments d'entreposage, on propose de raisonner en **GV moyen par tranche**. La méthode employée repose sur :

- Les activités mesurées lors des campagnes EMECC du palier du 1300,
- L'activité α et l'activité en ^{137}Cs issue du REX de Cattenom 3,
- Les ratios de l'étude 900 (ENTTR010388A) pour les activités des autres radionucléides, pour la plupart issus des spectres des colis de déchets.

Ces activités, basées sur les valeurs du REX 1300, intègrent l'ensemble des aléas de ce palier : nombreuses ruptures de gaines et dissémination de combustible sur Cattenom 3, pollution en ^{58}Co de Paluel 3 et forte contamination en ^{60}Co de Paluel 1 notamment.

A partir de l'activité A_i de chaque radionucléide i et du seuil d'exemption Q_i présenté dans l'annexe 13-8 de l'article R 1333-18 du code de la santé publique, le coefficient $Q = \sum A_i/Q_i$ a aussi été calculé. Ce coefficient est utilisé pour déterminer si les bâtiments d'entreposage des GV relèvent du statut d'INB (Installation Nucléaire de Base).

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

SOMMAIRE

1. Références	5
1.1 Exigences réglementaires	5
1.2 Méthode.....	5
1.3 Données d'entrée	5
1.3.1 Générateurs de vapeurs.....	5
1.3.2 REX des activités déposées dans les GV.....	5
1.3.3 Spectres d'activités dans les colis de déchets	5
2. Introduction	6
2.1 Contexte	6
2.2 Objectif de la note	6
3. Méthode.....	6
3.1 Détermination des activités déposées	6
3.1.1 Les principaux émetteurs γ	6
3.1.2 Les émetteurs β et γ de vie longue.....	7
3.1.3 Les émetteurs α	7
3.2 Calcul du « Coefficient Q »	7
4. Hypothèses	7
4.1 Caractéristiques des GV 1300	7
4.2 Evaluation des principaux émetteurs γ.....	8
4.2.1 Exploitation des campagnes EMECC	8
4.2.2 Cas des ^{58}Co et ^{60}Co	9
4.2.3 Cas du ^{137}Cs	12
4.2.4 Cas des autres émetteurs γ	13
4.3 Emetteurs β et γ de vie longue	14
4.4 Emetteurs α.....	15
5. Présentation du terme source des GV 1300	15
6. Conclusion.....	16
7. Annexes	17

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés**1. Références****1.1 Exigences réglementaires**

- [1] Annexe 13-8 de l'article R 1333-18 du code de la santé publique

1.2 Méthode

- [2] Note SEPTEN ENTTR010388A : « Terme source de dépôts des générateurs de vapeur »

1.3 Données d'entrée**1.3.1 Générateurs de vapeurs**

- [3] Dossier du système élémentaire RCP du palier P4 – Document 2 – Chapitre 4 indice L : « Présentation de l'installation et des matériels »
- [4] Note UTO D4507000060 indi. 5 : « Présentation générale des boîtes à eau des générateurs de vapeur des tranches 900, 1300, 1450 et 1650 MWe »

1.3.2 REX des activités déposées dans les GV

- [5] Note CEA DEN/DTN/SMTM/2006-033 Ind 0 : « Paluel 1 – Cycle 16 : Mesures EMECC lors de l'arrêt pour rechargement – Bilan de la contamination du circuit primaire »
- [6] Note CEA DEN/CAD/DTN/SMTM/LMTR/NT/2009/32/0 : « Paluel 3 – Cycle 16 – Mesures EMECC et filtrations au début et en fin d'arrêt pour rechargement – Impact de l'arrêt sur le transfert de contamination »
- [7] Note CEA DEC/S3C/01-049 Ind. 1 : « CATTENOM 308 – Contamination en PF et en actinides »
- [8] Note CEA DEC/SA3C/05-071 ind. 0 : « Compte-rendu de la campagne de mesures à Cattenom 3 en fin de cycle 11 »
- [9] Courrier D40082706FRY02198DHS : « GP Déchets – Réponses aux questions relatives aux GV »

1.3.3 Spectres d'activités dans les colis de déchets

- [10] Note UTO D4507 UTO NTD 99/1570 : « Détermination de l'activité des déchets – Affectation des spectres types et des ratios »

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

2. Introduction

2.1 Contexte

Dans le cadre de la préparation des RGV 1300 (Remplacement des Générateurs de Vapeur du palier 1300), la détermination du Terme Source relatif aux GV usés 1300 est nécessaire pour :

- dimensionner la structure du bâtiment d'entreposage des GV usés (BEGV),
- constituer les dossiers administratifs de demande d'autorisation de création des BEGV (code de l'environnement, code de la Santé Publique),
- réaliser les courbes isodoses en vue du brouettage des GV sur site.

2.2 Objectif de la note

Cette note présente le terme source d'un GV 1300 usé en s'appuyant sur :

- La méthode employée pour l'estimation du terme source des GV du palier 900 [2],
- Le REX des mesures d'activités déposées dans les GV du palier 1300,
- Le REX des activités alpha déposées sur les GV de Cattenom 3,

3. Méthode

L'ensemble des activités déposées dans le GV constitue son terme source.

La méthode utilisée pour déterminer le terme source d'un GV 1300 au moment de son remplacement est inspirée de celle utilisée en 2001 pour un GV du palier 900 [2].

3.1 Détermination des activités déposées

La liste des radionucléides considérée dans l'étude est rappelée en annexe 1.

Les radionucléides sont classés en 3 catégories :

3.1.1 Les principaux émetteurs γ

Il s'agit des radionucléides mesurés par spectro-gammamétrie à travers les parois du circuit primaire lors des campagnes EMECC (Ensemble de mesure et d'étude de la contamination des circuits) réalisées par le CEA sur les tranches EDF.

Ces campagnes, effectuées peu de temps après l'arrêt du réacteur, permettent de déterminer les activités déposées dans le circuit primaire et les circuits connectés. Les principaux émetteurs γ détectés sont les isotopes du cobalt (^{58}Co , ^{60}Co), et dans une moindre mesure ^{54}Mn , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{95}Nb , $^{140}\text{Ba/La}$, ^{65}Zn et ^{137}Cs ¹. Cet inventaire est cohérent avec les radionucléides du spectre S222 [10] (^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{65}Zn , ^{137}Cs). Le spectre S222 est utilisé par EDF pour caractériser les filtres des circuits de filtration du primaire (système RCV) et par conséquent les radioéléments qui sont en circulation dans le fluide primaire et susceptibles de se déposer sur les parois.

¹ Le ^{137}Cs , émetteur β pur, donne naissance avec un rendement de 94,6 % au $^{137\text{m}}\text{Ba}$ et avec un rendement de 5,4 % au baryum 137 stable. Le $^{137\text{m}}\text{Ba}$ de période 2,55 minutes conduit au baryum 137 stable, avec une émission gamma (661,7 keV, rendement 85 %). C'est par ce biais que le ^{137}Cs est détectable par spectrométrie gamma et considéré dans la catégorie « principaux émetteurs γ ».

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Les campagnes EMECC permettent notamment d'évaluer sur la base du REX disponible, une activité surfacique en ^{58}Co et ^{60}Co dans les GV.

Nota : De même que pour l'étude 900, le ^{51}Cr n'est pas pris en compte dans le terme source pour plusieurs raisons :

- sa période radioactive est courte (21 jours),
- l'énergie de ses raies gamma est faible,
- son seuil d'exemption de 10^7 est supérieur d'au moins une décade à celui des émetteurs γ mesurés.

3.1.2 Les émetteurs β et γ de vie longue

Les émetteurs β et γ de vie longue considérés sont ceux retenus pour la déclaration des colis de déchets hétérogènes [10].

Leurs activités déposées dans le GV sont déduites de ratios utilisant comme traceurs le ^{60}Co , le ^{58}Co ou le ^{137}Cs dont les activités ont été estimées sur la base du REX. Les ratios retenus sont identiques à ceux utilisés pour le palier 900 MWe [2]. Ces ratios ont été confortés par l'analyse de mesures effectuées sur 21 tubes GV du palier 900 en 2001 [9]. Ils proviennent essentiellement des spectres types utilisés pour caractériser les colis de déchets [10].

3.1.3 Les émetteurs α

L'activité totale Alpha et un spectre par émetteur sont évalués à partir des campagnes de mesure menées sur la tranche 3 de Cattenom après un cycle disséminant (cycle CATTENOM 308).

3.2 Calcul du « Coefficient Q »

Le code de la santé publique impose d'établir un inventaire d'activité par radionucléide. L'activité A_i de chaque radionucléide i doit être comparée au seuil d'exemption Q_i défini dans l'annexe 13.8 de l'article L.1333-18 du code de la santé publique (cf. Annexe 1) [1]. La somme des rapports donne un coefficient $Q = \sum A_i/Q_i$.

Le coefficient Q sera calculé pour 1 et 4 GV du palier 1300, sur la base du terme source présenté dans cette note. Ce coefficient Q détermine si une installation relève ou non du statut d'INB.

4. Hypothèses**4.1 Caractéristiques des GV 1300**

Sur le palier 1300 MWe, la fonction de refroidissement du fluide primaire est assurée par 4 générateurs de vapeurs (GV), au travers d'un faisceau tubulaire constitué de tubes en U fixés sur une plaque tubulaire. Le fluide primaire circule à l'intérieur des tubes.

Les tuyauteries primaires assurent les fonctions d'alimentation (branche chaude) du GV et d'évacuation de l'eau refroidie (branche en U) vers la pompe primaire. Les branches chaudes et en U sont connectées aux deux boîtes à eau (BAE) du générateur de vapeur. Ces boîtes sont constituées d'un fond hémisphérique (ou bol), de la face inférieure de la plaque tubulaire et sont séparées par une plaque de séparation (ou cloison diamétrale).

Le GV est contaminé au contact du fluide primaire ; les surfaces de dépôts sont les parois internes des tubes du faisceau tubulaire et les parois des boîtes à eau.

Les surfaces de dépôt mises en jeu sont de **6947 m²** (cf. [3]) pour le faisceau tubulaire et **37 m²** [4] pour les deux boîtes à eau. Il est clair que le faisceau tubulaire est la surface de dépôt la plus importante. Afin de prévoir le stockage éventuel des coudes primaires dans le bâtiment d'entreposage, la surface de dépôt des boîtes à eau est portée à **50 m²**.

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

L'activité totale du GV est la somme de celles déposées sur le faisceau et sur la boîte à eau. Les activités déposées sont calculées pour chaque constituant (faisceaux tubulaires et boîtes à eau) en multipliant les activités surfaciques par la surface de dépôt, ce qui suppose implicitement une contamination homogène de chacun d'eux.

4.2 Evaluation des principaux émetteurs γ **4.2.1 Exploitation des campagnes EMECC**

Les campagnes EMECC étudiées sont celles du palier 1300 : cela représente 42 campagnes de mesures sur 14 tranches (sur un total de 20 tranches 1300) du cycle 1 au cycle 18. Les activités surfaciques sont mesurées sur plusieurs boucles primaires de la tranche avant et après oxygénation. Les points de mesure sont représentatifs de la contamination dans les faisceaux tubulaires et dans les branches (chaudes, froides et en U).

Le terme source élaboré dans cette note vise à caractériser et à dimensionner les bâtiments d'entreposage des GV usés. Plusieurs GV (voire les 4) d'une même tranche seront entreposés dans ce bâtiment. Il s'agit donc de déterminer un terme source enveloppe pour toutes les tranches 1300 **d'un GV moyen par tranche** au moment de son entreposage soit environ 20 jours après la fin de son dernier cycle.

Les résultats des campagnes EMECC permettent d'évaluer les activités d'un GV moyen par tranche à la date d'arrêt du réacteur. Les résultats sont donnés dans les tableaux 1 et 2 de l'annexe 2 :

- **Tableau 1** : Activités moyennes par campagne déposées après oxygénation dans les GV. Ces activités sont représentatives des activités déposées dans le faisceau du GV et définies comme suit pour chaque radionucléide R et chaque campagne EMECC i :

$$A_i^R(GV) = \frac{1}{N_i^R(GV)} \times \sum_{k=1}^{k=N_i^R(GV)} A_i^R(GV_k) \text{ où :}$$

$A_i^R(GV)$: Activité moyenne du radionucléide R dans les faisceaux GV après oxygénation lors de la campagne EMECC i,

$A_i^R(GV_k)$: Mesure k de l'activité du radionucléide R dans les faisceaux GV après oxygénation lors de la campagne EMECC i,

$N_i^R(GV)$: Nombre de mesures de l'activité du radionucléide R dans les faisceaux GV après oxygénation lors de la campagne EMECC i

- **Tableau 2** : Activités moyennes par campagne déposées après oxygénation dans les branches chaudes, froides et en U. Ces activités sont représentatives des activités déposées dans les boîtes à eau des GV, celles-ci étant reliées aux branches chaudes et en U :

$$A_i^R(\text{branches}) = \frac{1}{N_i^R(\text{branches})} \times \sum_{k=1}^{k=N_i^R(\text{branches})} A_i^R(\text{branches}_k) \text{ où :}$$

$A_i^R(\text{branches})$: Activité moyenne du radionucléide R dans les branches après oxygénation lors de la campagne EMECC i,

$A_i^R(\text{branches}_k)$: Mesure k de l'activité du radionucléide R dans les branches après oxygénation lors de la campagne EMECC i,

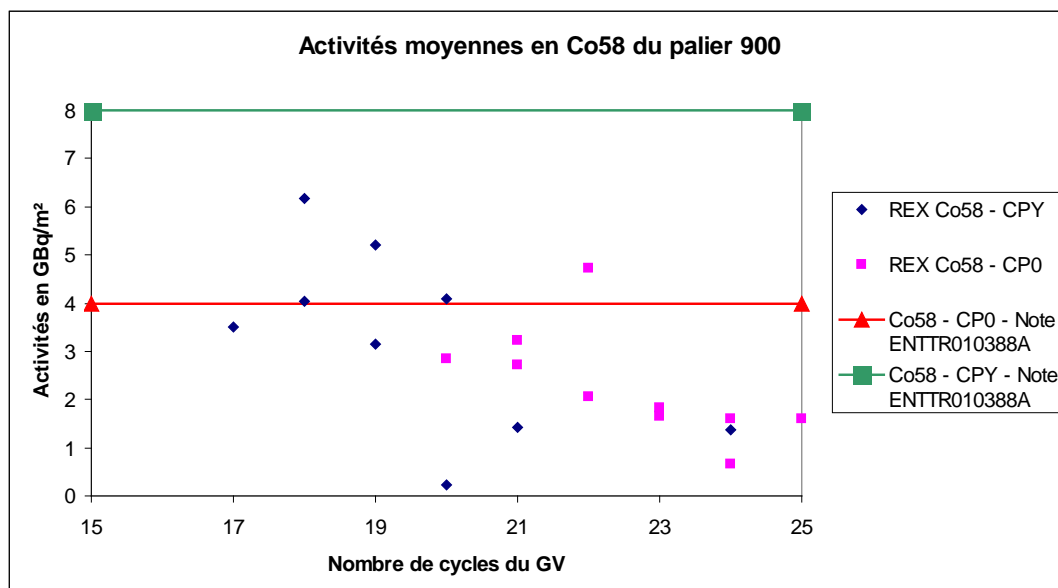
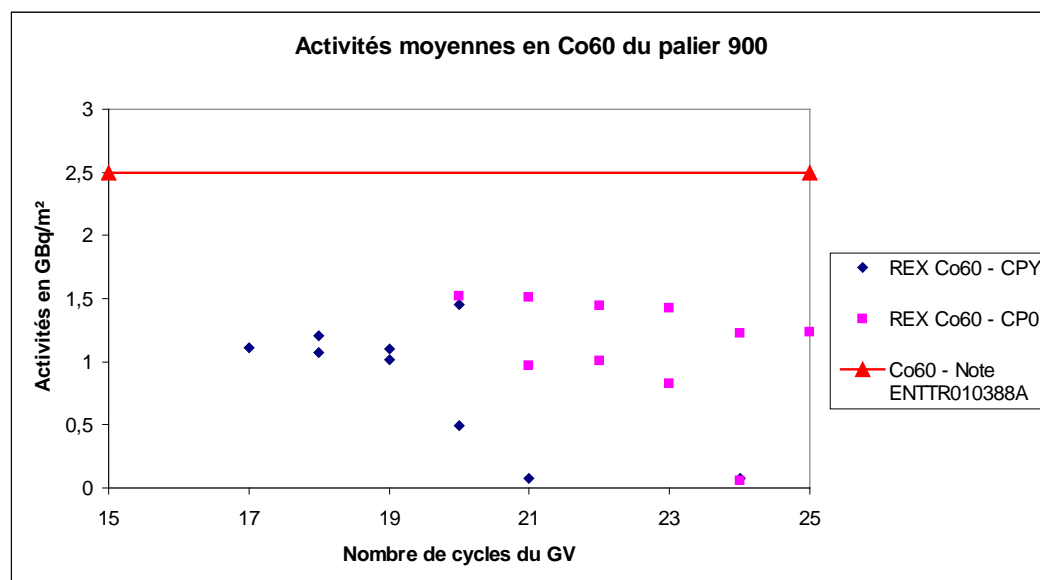
$N_i^R(\text{branches})$: Nombre de mesures de l'activité du radionucléide R dans les branches après oxygénation lors de la campagne EMECC i

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés**4.2.2 Cas des ^{58}Co et ^{60}Co** **4.2.2.1 Hypothèses faites dans l'étude 900 [2]**

Les valeurs retenues pour les activités en ^{58}Co et ^{60}Co dans l'étude 900 étaient basées sur la valeur maximale des activités moyennes par tranche des 15 premiers cycles, en les supposant enveloppes de celles des cycles ultérieurs. Ce terme source a été établi en 2001.

Les mesures réalisées depuis 2001 sur les activités déposées dans les faisceaux des GV du palier 900 valident cette hypothèse. Les figures 1 illustrent les activités déposées mesurées lors des campagnes EMECC sur les GV 900 ayant effectué plus de 15 cycles en réacteur : seule l'activité en ^{58}Co de Bugey 4 au cycle 22 a dépassé la valeur retenue dans l'étude 900 : 4,56 GBq/m² pour 4 GBq/m² retenus dans l'étude. Cependant, il s'agit d'une activité à la date d'arrêt du réacteur. Compte tenu de la période du ^{58}Co (70,8 jours), l'activité en ^{58}Co au moment du RGV aurait été inférieure à 4 GBq/m².

Ainsi, le retour d'expérience des 15 premiers cycles est suffisant pour déterminer des activités enveloppes d'un GV moyen par tranche des cycles ultérieurs.



Figures 1 : Activités moyennes en ^{58}Co et ^{60}Co mesurées dans les GV après leur 15^{ème} cycle

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés*4.2.2.2 Valeurs retenues pour le palier 1300*

Pour envelopper les activités déposées en ^{58}Co et ^{60}Co dans les 4 GV d'une tranche 1300 au moment de leur remplacement, on s'appuie sur les activités mesurées après oxygénation lors des campagnes EMECC des tranches 1300 MWe, ramenées à la date d'arrêt du réacteur :

- pour estimer les activités dans le faisceau tubulaire : pour chaque isotope R du cobalt (58 et 60), on retient la valeur maximale des activités « moyennes par tranche » dans les faisceaux GV ($A^R_i(\text{GV})$) définies au §4.2.1 et présentées dans le tableau 1 de l'annexe 2) :

$$A^R = \text{MAX}_{i \in [\text{campagnes EMECC 1300}]} (A^R_i(\text{GV}))$$

- pour estimer les activités dans les boîtes à eau : pour chaque isotope R du cobalt (58 et 60), on retient la valeur maximale des activités « moyennes par tranche » mesurées après 10 cycles de fonctionnement dans les branches froides, chaudes et en U ($A^R_i(\text{branches})$) définies au §4.2.1 et présentées dans le tableau 2 de l'annexe 2) :

$$A^R = \text{MAX}_{i \in [\text{campagnes EMECC 1300} > 10 \text{ cycles}]} (A^R_i(\text{branches}))$$

En effet, compte-tenu de la décroissance des activités moyennes dans les branches avec les cycles (cf. figures 2 et 3 ci-dessous), les valeurs mesurées avant 10 cycles ne sont pas représentatives de l'activité dans les branches lors de leur dernier cycle avant RGV.

Le tableau ci-dessous donne les activités surfaciques en Cobalt retenues pour caractériser les GV du 1300 au moment de leur remplacement :

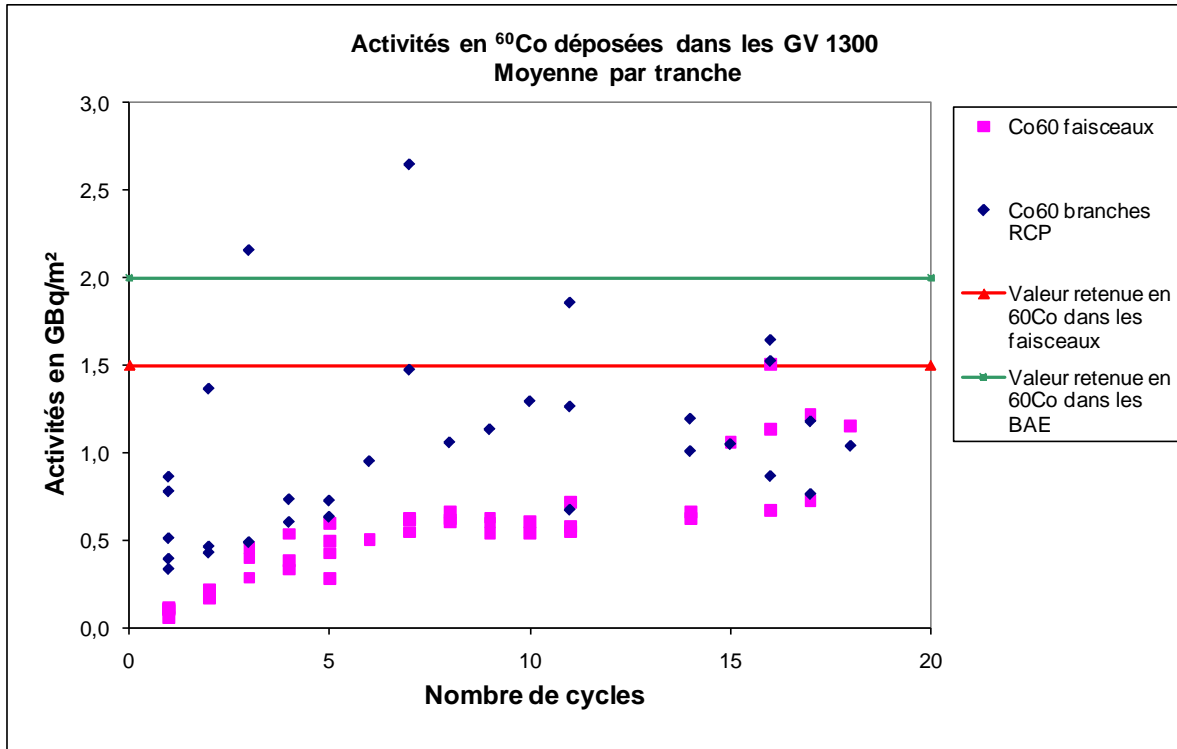
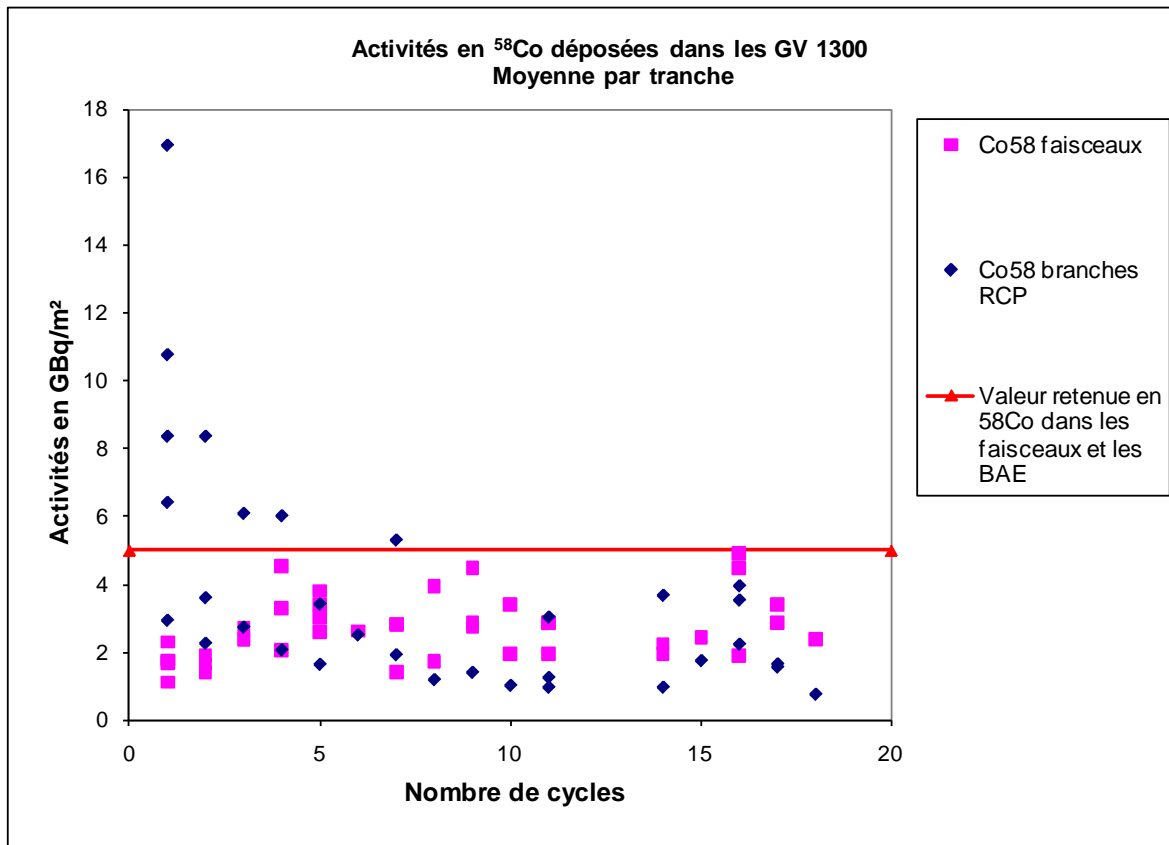
	Activités déposées dans les GV (en GBq/m ²)	
	^{58}Co	^{60}Co
Faisceau tubulaire	5	1,5
Boîte à eau	5	2

Tableau 1 : Activités surfaciques retenues en cobalt dans les GV 1300

Nota : Comme précisé ci-dessus, ces activités sont enveloppes des activités déposées dans un GV moyen par tranche à la date d'arrêt du réacteur, donc, à fortiori, enveloppes des activités au moment de l'entreposage des GV. Notamment, compte tenu de la période du ^{58}Co (70,8 jours), son activité 20 jours après la date d'arrêt sera 20% plus faible que sa valeur à la date d'arrêt.

Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution en fonction des cycles de la moyenne par tranche des activités surfaciques déposées dans les GV 1300 et situent les valeurs retenues.

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Figure 2 : Evolution des activités en ^{60}Co déposées dans les GV et les branches du palier 1300 et valeurs retenuesFigure 3 : Evolution des activités en ^{58}Co déposées dans les GV et les branches du palier 1300 et valeurs retenues

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

L'activité en ^{58}Co de 5 GBq/m² retenue pour les faisceaux enveloppe notamment les activités moyennes en ^{58}Co dans les GV de Paluel 3 au cycle 16, les plus importantes mesurées sur une tranche 1300. En effet, au cours des 4 premiers mois du cycle PAL 316, des décrochements de dépôts importants sur la partie supérieure des crayons combustible ont conduit à une augmentation de l'activité volumique en ^{58}Co . Ce phénomène s'est traduit par un doublement de l'activité déposée en ^{58}Co dans les GV de Paluel 3 entre le cycle 15 et le cycle 16 [6].

Les activités en ^{60}Co retenues pour les faisceaux GV couvrent quant à elles celles mesurées sur Paluel 1, notamment au cycle 16. Ce réacteur présente une activité en ^{60}Co relativement élevée par rapport au parc français, et considérée comme forte pour des tubes GV Westinghouse. Ce terme source est du en partie à la teneur moyenne des tubes GV en cobalt (373 ppm), mais aussi à d'autres composants tels que des matériaux ayant une forte teneur d'impuretés en cobalt comme les grilles d'assemblages en Inconel utilisées pendant les premiers cycles ou des stellites usés anormalement. D'autre part, on constate depuis le premier cycle que le GV de la boucle 1 est plus contaminé que le GV de la boucle 2 de 40% alors qu'ils sont du même fournisseur [5]. Néanmoins, on observe une diminution de l'activité déposée en ^{60}Co entre les cycles 16 et 18 : -20 % dans les GV et -30% dans les branches. Ces observations permettent de conforter le caractère enveloppe des activités retenues pour des GV de plus de 15 cycles.

4.2.3 Cas du ^{137}Cs

Le ^{137}Cs est un produit de fission. Il doit sa présence dans le circuit primaire à des défauts d'étanchéité de la gaine des crayons combustibles. Il est principalement relâché au travers de ces défauts de gainage lors des transitoires de puissance.

Bien que mesurable par spectrogammamétrie, le ^{137}Cs n'est quasiment jamais détecté lors des campagnes EMECC : sur l'ensemble des mesures EMECC, soit près de 3000 mesures tout palier et tout points de mesure confondus, seules 13 d'entre elles ont mis en évidence du ^{137}Cs . Parmi ces mesures, le ^{137}Cs a été détecté une seule fois au niveau d'un GV à Gravelines 1 au cycle 12. L'exploitation des campagnes EMECC pour évaluer la contamination surfacique des GV en ^{137}Cs n'est donc pas possible.

L'analyse de la contamination de Cattenom 3 au cycle 8 conduit aux conclusions suivantes [7] : Cattenom 3 a connu au cycle 8 une forte dissémination de combustible – environ 60 grammes de matière fissile - entraînant une contamination importante du circuit primaire en actinides et produits de fission. Ainsi, à la fin du cycle 8, l'activité volumique en ^{137}Cs dans le fluide primaire a atteint 19,3 GBq/tonne : il s'agit de la valeur maximale d'activité volumique en ^{137}Cs mesurée dans le circuit primaire d'une tranche 1300 MWe. Pourtant, les mesures d'activités déposées réalisées par frottis et grattage sur le GV4, le pressuriseur et la piscine BR à la fin du cycle CAT308 ne font pas apparaître de contamination en ^{137}Cs .

En effet, l'ensemble des mesures réalisées à la fin du cycle a permis de confirmer que le « césium est sous forme quasi totalement soluble à toutes les étapes » de la mise à l'arrêt à froid de la tranche : L'analyse de la solubilité des différents radionucléides effectuée à la fin du cycle CAT308 [7] montre qu'au maximum 0,3% du ^{137}Cs est sous forme insoluble.

Compte tenu que le ^{137}Cs sert de traceur pour certains émetteurs, et par souci de conservatisme, il a été considéré que 1% d'une activité de 20 GBq/t de ^{137}Cs était sous forme insoluble et se déposait uniformément sur les 4 GV (surface totale de 7000 x 4 = 28 000 m²).

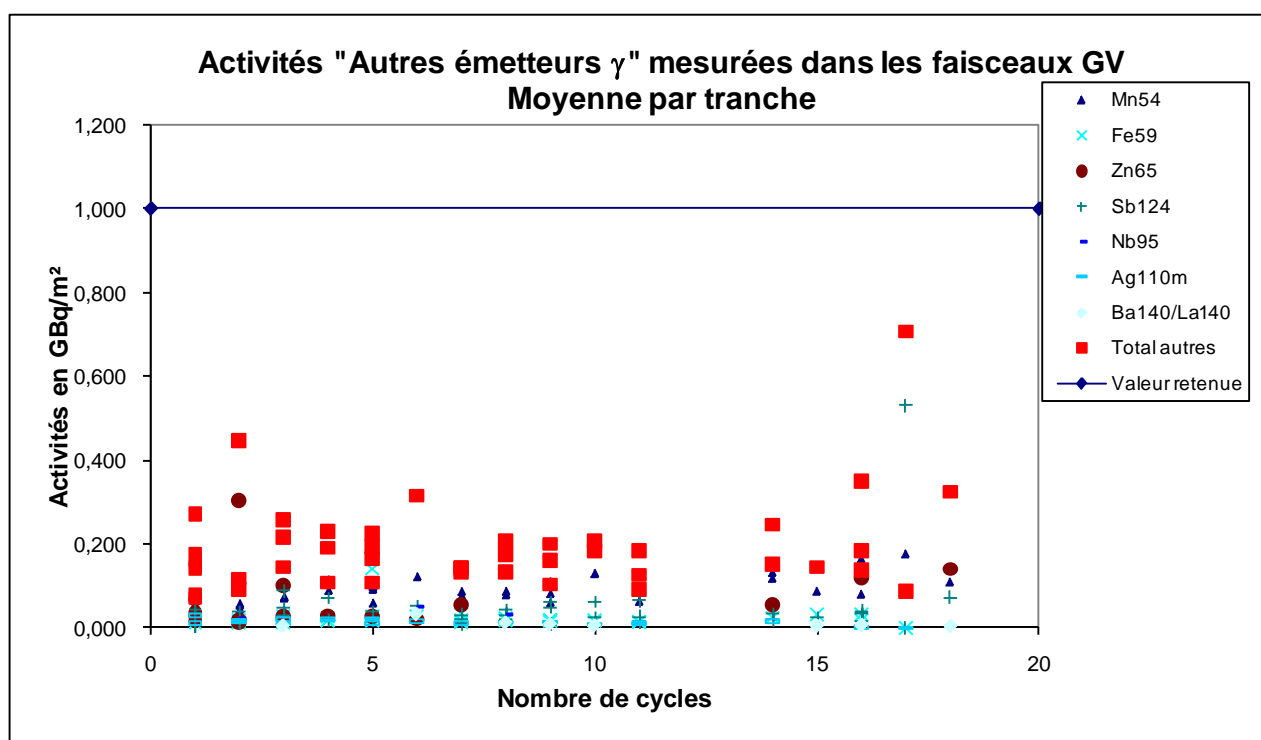
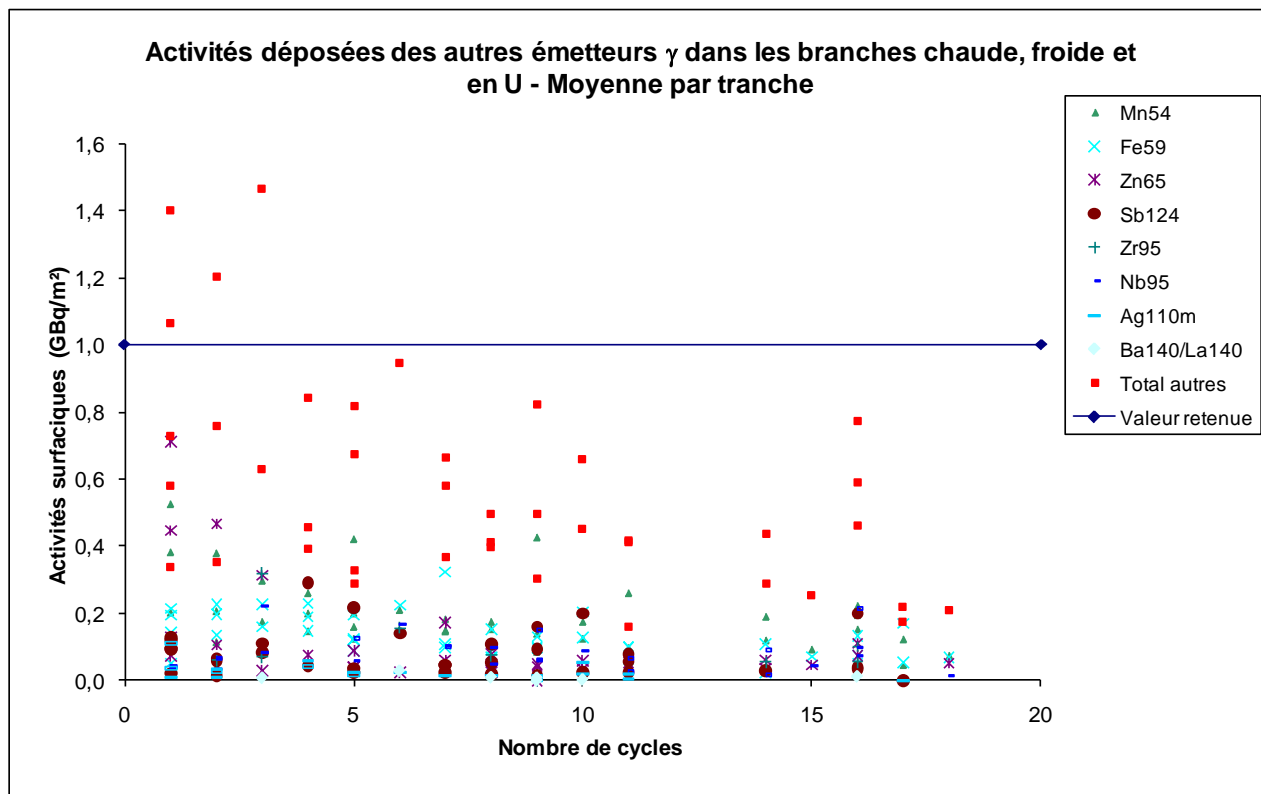
	Activités en ^{137}Cs déposées dans les GV (en GBq/m ²)
Faisceau tubulaire et boîte à eau	1,5.10 ⁻³

Tableau 2 : Activités surfaciques enveloppes en ^{137}Cs dans les GV 1300

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

4.2.4 Cas des autres émetteurs γ

Les activités « moyennes réacteurs » (cf. §4.2.1) des autres émetteurs γ mesurés par les campagnes EMECC (^{54}Mn , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{95}Nb , $^{140}\text{Ba/La}$ et ^{65}Zn) sont représentées sur les graphiques ci-dessous :

Figure 4 : Evolution des activités des autres émetteurs γ déposées dans les GV et les branches du palier 1300

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Afin d'être enveloppe pour un GV moyen par tranche des valeurs mesurées lors des campagnes EMECC du 1300 (cf tableaux 1 et 2 de l'annexe 2) au moment du RGV, les valeurs retenues pour le terme source du GV 1300 (BAE et Faisceau) sont les suivantes :

	Activités des autres émetteurs γ déposés dans les GV (en GBq/m ²)
Faisceau tubulaire	1
Boîte à eau	1

Tableau 3 : Activités surfaciques des autres émetteurs γ retenues dans les GV 1300

De même que pour les Cobalt, la valeur retenue dans les boîtes à eau est enveloppe des activités moyennes par tranche dans les branches après 10 cycles de fonctionnement. En effet, compte-tenu de la décroissance des activités moyennes dans les branches avec les cycles (cf. figure 4 ci-dessus), les valeurs mesurées avant 10 cycles ne sont pas représentatives de l'activité dans les GV lors de leur dernier cycle avant RGV.

Nota : Dans l'étude 900, la contribution des autres émetteurs γ mesurés par les campagnes EMECC (⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ^{110m}Ag, ¹²⁴Sb, ⁹⁵Nb, ¹⁴⁰Ba/La et ⁶⁵Zn) a été estimée forfaitairement à 15% de la somme des activités en Cobalt (58 et 60). La valeur de 1 GBq/m² retenue pour le palier 1300 (cf. tableau 3) est cohérente avec ce forfait de 15% appliquée aux activités en ⁵⁸Co et ⁶⁰Co présentées dans le tableau 1 : $0,15 \times (5 + 1,5) = 0,975 \text{ GBq/m}^2$.

⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ^{110m}Ag, ¹²⁴Sb, ⁹⁵Nb et ⁶⁵Zn ont un seuil d'exemption identique : 10^6 Bq . Le ¹⁴⁰Ba/La a un seuil d'exemption de 10^5 Bq mais, lorsqu'il est mesuré, son activité ne représente jamais plus de 10% de l'activité totale des autres émetteurs γ .

Le seuil d'exemption équivalent à l'ensemble de ces émetteurs γ peut donc être majoré par :

$$\text{Seuil exemption équivalent} = \frac{1}{\frac{10\%}{10^5} + \frac{90\%}{10^6}} = 5,26 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

4.3 Emetteurs β et γ de vie longue

Les émetteurs β et γ de vie longue pris en compte dans l'élaboration du terme source sont donnés en annexe 1. Leurs activités déposées dans le GV sont déduites de ratios utilisant comme traceurs le ⁶⁰Co, le ⁵⁸Co ou le ¹³⁷Cs dont les activités ont été estimées au §4.2.

Excepté pour l'évaluation du ⁶³Ni, les ratios utilisés pour l'étude 900 MWe proviennent des ratios caractérisant les colis de déchets [10]. Ces ratios sont applicables à l'ensemble des tranches du parc, et à fortiori au palier 1300.

L'évaluation du ⁶³Ni dans l'étude 900 reposait sur un ratio ⁶³Ni/⁵⁸Co de 0,4 issu de calculs PACTOLE à 30 cycles de fonctionnement. L'utilisation du ⁵⁸Co comme traceur du ⁶³Ni se justifie par le fait que ces deux radioéléments proviennent tous deux de l'activation sous flux du Nickel. Ainsi, bien que la teneur en nickel des GV 1300 puisse différer de celle des GV 900, le ratio ⁶³Ni/⁵⁸Co reste pertinent pour évaluer l'activité en ⁶³Ni déposée dans un GV 1300 : l'analyse menée dans l'étude 900 [2] pour justifier le caractère enveloppe de l'activité en ⁶³Ni ainsi calculée s'applique aussi au palier 1300.

Par ailleurs, l'analyse de 21 tubes GV du palier 900 effectuée en 2001 [9] confirme le caractère enveloppe des ratios ⁵⁵Fe/⁶⁰Co de 2,1 (ratio déchet) et ⁶³Ni/⁵⁸Co de 0,4 (ratio issu de calculs PACTOLE) pour évaluer les activités en ⁵⁵Fe et ⁶³Ni déposées dans les GV sur une période de 1 à 30 cycles de fonctionnement.

L'ensemble des ratios utilisés pour l'étude 900 est donc transposé au 1300 MWe.

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés**4.4 Emetteurs α**

La contamination alpha des GV du 1300 MWe peut-être majorée par la contamination alpha mesurée sur les GV de Cattenom 3 en fin de cycle 8. En effet, cette tranche a connu au cycle 8 une forte dissémination de combustible – environ 60 grammes de matière fissile - entraînant une contamination du circuit primaire en actinides émetteurs alpha.

Les activités α totales mesurées par grattages et frottis sur le presse-joint et la boîte à eau du GV4 en fin de cycle 8 sont inférieures à $2,5 \cdot 10^{-3}$ GBq/m² [7]. Cette valeur sera retenue pour l'activité surfacique α totale des GV du 1300 MWe (BAE et Faisceau).

Les émetteurs alpha entre lesquels cette contamination est à répartir sont les suivants : ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am, ²⁴²Cm, ²⁴³Cm, ²⁴⁴Cm. La contribution relative de ces émetteurs évolue en fonction de l'ancienneté du cycle disséminant. La contribution relative retenue pour élaborer le terme source des GV du 1300 provient de l'estimation de l'activité déposée hors flux neutronique à la fin du cycle 11 de Cattenom 3, i.e. pour une contamination vieille de 3 cycles [8].

5. Présentation du terme source des GV 1300

Le terme source déterminé sur la base des hypothèses décrites dans le §4 pour un GV usé du palier 1300 MWe est donnée dans le tableau 4 ci-dessous. Ces activités sont enveloppes des activités moyennes par tranche déposées dans les GV à la date d'arrêt, donc, a fortiori, enveloppe des activités au moment de l'entreposage des 4 GV de chaque tranche 1300. Notamment, compte tenu de la période du ⁵⁸Co (70,8 jours), son activité 20 jours après la date d'arrêt sera environ 20% plus faible que sa valeur à la date d'arrêt.

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Activités surfaciques (GBq/m ²)							
	Faisceaux	Boites à eau	Activités (en Bq)	seuils d'exemption (Bq)	Coeff Q	Ratio	Traceur
Emetteurs γ							
Co60	1,5	2	1,05E+13	1,00E+05	1,05E+08	REX	
Co58	5	5	3,50E+13	1,00E+06	3,50E+07		
Cs137	1,50E-03	1,50E-03	1,05E+10	1,00E+04	1,05E+06		
Autres	1	1	7,00E+12	5,26E+05	1,33E+07		
Radionucléides de vie longue							
Be10	3,00E-07	4,00E-07	2,10E+06	1,00E+06	2,10E+00	2,00E-07	Co60
Nb94	1,95E-04	2,60E-04	1,37E+09	1,00E+06	1,37E+03	1,30E-04	Co60
Sm151	6,00E-06	6,00E-06	4,20E+07	1,00E+08	4,20E-01	4,00E-03	Cs137
Sn126	1,35E-08	1,35E-08	9,45E+04	1,00E+05	9,45E-01	9,00E-06	Cs137
Zr93	7,50E-05	1,00E-04	5,26E+08	1,00E+07	5,26E+01	5,00E-05	Co60
C14	1,65E-02	2,20E-02	1,16E+11	1,00E+07	1,16E+04	1,10E-02	Co60
Cl36	1,50E-06	2,00E-06	1,05E+07	1,00E+06	1,05E+01	1,00E-06	Co60
Fe55	3,15E+00	4,20E+00	2,21E+13	1,00E+06	2,21E+07	2,10E+00	Co60
Mo93	1,50E-06	2,00E-06	1,05E+07	1,00E+08	1,05E-01	1,00E-06	Co60
Ni63	2,00E+00	2,00E+00	1,40E+13	1,00E+08	1,40E+05	4,00E-01	Co58
Se79	6,00E-09	6,00E-09	4,20E+04	1,00E+07	4,20E-03	4,00E-06	Cs137
Sn121m	3,00E-05	4,00E-05	2,10E+08	1,00E+07	2,10E+01	2,00E-05	Co60
Ag108m	1,50E-03	2,00E-03	1,05E+10	1,00E+06	1,05E+04	1,00E-03	Co60
Ca41	7,50E-06	1,00E-05	5,26E+07	1,00E+07	5,26E+00	5,00E-06	Co60
Cs135	4,50E-09	4,50E-09	3,15E+04	1,00E+07	3,15E-03	3,00E-06	Cs137
I129	1,50E-09	1,50E-09	1,05E+04	1,00E+05	1,05E-01	1,00E-06	Cs137
Ni59	1,43E-02	1,43E-02	1,00E+11	1,00E+08	1,00E+03	7,14E-03	Ni63
Pd107	1,50E-08	1,50E-08	1,05E+05	1,00E+08	1,05E-03	1,00E-05	Cs137
Sr90	3,90E-02	5,20E-02	2,74E+11	1,00E+04	2,74E+07	2,60E-02	Co60
Tc99	6,30E-07	6,30E-07	4,41E+06	1,00E+07	4,41E-01	4,20E-04	Cs137
Emetteurs Alpha							
α total	2,50E-03	2,50E-03	1,75E+10			Valeurs CAT308	
Am241	1,18E-04	1,18E-04	8,22E+08	1,00E+04	8,22E+04	0,047	α total
Pu238	6,65E-04	6,65E-04	4,65E+09	1,00E+04	4,65E+05	0,266	α total
Pu239	3,75E-05	3,75E-05	2,62E+08	1,00E+04	2,62E+04	0,015	α total
Pu240	6,75E-05	6,75E-05	4,72E+08	1,00E+03	4,72E+05	0,027	α total
Cm242	1,93E-04	1,93E-04	1,35E+09	1,00E+05	1,35E+04	0,077	α total
Cm243+244	1,42E-03	1,42E-03	9,94E+09	1,00E+04	9,94E+05	0,568	α total
			Activités (en Bq)	Coefficient Q			
Total 1 GV			3,66E+13	2,06E+08			
Total 4 GV			1,46E+14	8,25E+08			

Tableau 4 : Terme source enveloppe d'un GV moyen par tranche du palier 1300 au moment du RGV

6. Conclusion

La note propose de raisonner en GV moyen par tranche pour caractériser le terme source d'un GV au moment de son remplacement. Elle présente un jeu enveloppe d'activités déposées dans un GV moyen par tranche pour le palier 1300.

La méthode employée sur le palier 900 a été transposée au palier 1300 MWe (excepté pour le ¹³⁷Cs et les émetteurs α) :

- Les activités des principaux émetteurs γ sont issues du REX du 1300,
- L'activité α est déterminée à partir du REX de Cattenom 3,

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

- L'activité en ^{137}Cs est déduite des mesures effectuées suite au cycle 8 de CATTENOM 3, au cours duquel l'activité volumique en ^{137}Cs a atteint la valeur maximale du palier 1300 MWe,
- Les activités des autres radionucléides sont déterminées à partir de ratios, pour la plupart issus des spectres des colis de déchets.

Ces activités, basées sur les valeurs du REX 1300, intègrent l'ensemble des aléas de ce palier : nombreuses ruptures de gaines et dissémination de combustible sur Cattenom 3, pollution en ^{58}Co de Paluel 3 et forte contamination en ^{60}Co de Paluel 1 notamment.

Le terme source ainsi constitué peut être utilisé pour :

- dimensionner la structure du bâtiment d'entreposage des GV usés (BEGV),
- constituer les dossiers administratifs de demande d'autorisation de création des BEGV (code de l'environnement, code de la Santé Publique),
- réaliser les courbes isodoses en vue du brouettage des GV sur site.

7. Annexes

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Annexe 1 : Radionucléides retenus

Radionucléide	Évalué par	Seuil d'exemption	Émetteur	Période
Principaux émetteurs γ				
Co60	EMECC	1,00E+05	γ	5,3 ans
Co58	EMECC	1,00E+06	γ	71 jours
Cs137/Ba137	EMECC	1,00E+04	$\beta+\gamma$	30 ans
Mn54	EMECC	1,00E+06	γ	312 jours
Fe59	EMECC	1,00E+06	$\beta+\gamma$	44 jours
Zn65	EMECC	1,00E+06	γ	244 jours
Sb124	EMECC	1,00E+06	$\beta+\gamma$	60 jours
Ag110m	EMECC	1,00E+06	$\beta+\gamma$	250 jours
Nb95	EMECC	1,00E+06	$\beta+\gamma$	36 jours
Ba140	EMECC	1,00E+05	$\beta+\gamma$	13 jours
Émetteurs β et γ de vie longue				
Be10	Ratio	1,00E+06	β	10 ⁶ ans
Nb94	Ratio	1,00E+06	$\beta+\gamma$	2.10 ⁴ ans
Sm151	Ratio	1,00E+08	$\beta+\gamma$	90 ans
Sn126	Ratio	1,00E+05	$\beta+\gamma$	10 ⁵ ans
Zr93	Ratio	1,00E+07	β	1,5.10 ⁶ ans
C14	Ratio	1,00E+07	β	5730 ans
Cl36	Ratio	1,00E+06	$\beta+\gamma$	3.10 ⁵ ans
Fe55	Ratio	1,00E+06	γ	2,7 ans
Mo93	Ratio	1,00E+08	γ	3500 ans
Ni63	Ratio	1,00E+08	β	100 ans
Se79	Ratio	1,00E+07	β	6,5.10 ⁴ ans
Sn121m	Ratio	1,00E+07	β	55 ans
Ag108m	Ratio	1,00E+06	γ	418 ans
Ca41	Ratio	1,00E+07	γ	10 ⁵ ans
Cs135	Ratio	1,00E+07	β	2,3.10 ⁶ ans
I129	Ratio	1,00E+05	$\beta+\gamma$	1,6.10 ⁷ ans
Ni59	Ratio	1,00E+08	γ	7,5.10 ⁴ ans
Pd107	Ratio	1,00E+08	β	6,5.10 ⁶ ans
Sr90	Ratio	1,00E+04	β	29 ans
Tc99	Ratio	1,00E+07	$\beta+\gamma$	2,13.10 ⁵ ans
Émetteurs Alpha				
Am241	Mesures CAT	1,00E+04	$\alpha+\gamma$	432 ans
Pu238	Mesures CAT	1,00E+04	$\alpha+\gamma$	88 ans
Pu239	Mesures CAT	1,00E+04	$\alpha+\gamma$	2,4.10 ⁴ ans
Pu240	Mesures CAT	1,00E+03	$\alpha+\gamma$	6569 ans
Cm242	Mesures CAT	1,00E+05	$\alpha+\gamma$	163 jours
Cm243+244	Mesures CAT	1,00E+04	$\alpha+\gamma$	28/18 ans

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Annexe 2 : Exploitation des campagnes EMECC

Moyenne des activités déposées dans les faisceaux GV 1300 après oxygénation (GBq/m ²)												
SITE	TRANCHE	CYCLE	Cobalt				Autres					
			Co 58	Co60	Mn54	Fe59	Zn65	Sb124	Nb95	Ag110m	Ba140/La140	Total autres
BEL	1	9	2,730	0,628	0,083	0,017		0,049		0,012		0,160
BEL	2	5	3,815	0,595	0,098	0,027	0,026	0,020		0,023		0,194
BEL	2	8	1,710	0,620	0,088	0,016		0,030				0,134
CAT	2	3	2,713	0,398	0,072	0,012	0,025	0,088		0,020		0,217
CAT	2	4	4,530	0,536	0,110	0,016	0,029	0,019		0,018		0,191
CAT	2	5	3,400	0,495	0,060	0,140		0,015		0,010		0,225
CAT	2	7	2,840	0,545	0,088	0,018		0,030		0,010		0,145
CAT	2	8	3,962	0,660	0,130	0,025		0,041		0,012		0,207
CAT	2	9	4,493	0,603	0,111	0,017		0,059		0,013		0,200
CAT	2	10	3,423	0,540	0,130	0,015		0,061				0,206
CAT	2	11	2,873	0,550	0,090	0,015		0,065		0,012		0,182
CAT	4	4	3,285	0,385	0,115	0,025		0,070		0,020		0,230
FLA	1	11	2,860	0,720	0,064			0,026				0,090
GOL	1	5	3,015	0,280	0,093	0,015						0,108
GOL	1	6	2,623	0,505	0,123	0,028	0,020	0,050	0,050	0,015	0,030	0,315
GOL	1	7	2,818	0,610	0,078	0,034		0,022				0,133
GOL	1	8	1,735	0,600	0,080	0,020		0,021	0,032	0,012	0,010	0,175
GOL	1	9	2,863	0,543	0,061	0,015		0,008		0,013	0,006	0,103
GOL	1	10	1,960	0,605	0,130	0,018		0,023		0,008	0,004	0,182
GOL	1	14	2,260	0,623	0,133	0,024	0,055	0,019		0,016		0,246
GOL	2	1	1,120	0,105	0,030	0,010	0,016	0,005		0,010		0,070
GOL	2	2	1,890	0,165	0,045	0,010	0,010	0,010		0,015		0,090
GOL	2	3	2,375	0,285	0,075	0,020		0,030		0,020		0,145
GOL	2	5	2,618	0,425	0,100	0,017		0,038		0,010		0,164
NOG	1	1	2,300	0,110	0,033		0,068	0,043				0,143
NOG	2	1	1,678	0,100	0,038	0,020	0,150	0,065				0,272
NOG	2	2	1,663	0,220	0,055	0,019	0,303	0,039	0,020	0,012		0,447
NOG	2	3	2,363	0,460	0,073	0,028	0,100	0,047		0,009	0,003	0,259
NOG	2	16	1,900	0,670	0,081	0,017		0,033		0,001	0,005	0,136
PAL	1	7	1,404	0,622	0,065	0,012	0,055	0,009				0,141
PAL	1	16	4,497	1,503	0,153	0,032	0,120	0,040			0,004	0,349
PAL	1	17	3,400	1,215	0,177			0,530				0,707
PAL	1	18	2,375	1,150	0,110		0,140	0,073			0,002	0,325
PAL	2	1	1,762	0,059	0,037	0,011	0,026	0,005				0,079
PAL	2	11	1,950	0,580	0,090	0,013		0,014		0,009		0,126
PAL	2	17	2,873	0,725	0,087	0,000		0,000		0,000		0,087
PAL	3	14	1,960	0,663	0,119			0,032				0,151
PAL	3	15	2,440	1,060	0,088	0,030		0,024			0,002	0,144
PAL	3	16	4,900	1,135	0,165			0,017				0,182
PEN	1	4	2,063	0,333	0,090	0,017						0,107
PEN	2	1	1,763	0,112	0,047	0,029	0,035	0,034		0,029		0,174
PEN	2	2	1,400	0,180	0,059	0,012	0,017	0,013		0,017		0,116
			Cobalt				Autres					
			Co 58	Co60	Mn54	Fe59	Zn65	Sb124	Nb95	Ag110m	Ba140/La140	Total autres
Activités MAX (GBq/m ²)			4,900	1,503	0,177	0,140	0,303	0,530	0,050	0,029	0,030	0,707

Tableau 1 : Moyenne des activités mesurées dans les GV 1300 lors des campagnes EMECC (en GBq/m²)

Palier 1300 – Terme source pour les générateurs de vapeur usés

Moyenne des activités déposées dans les branches chaudes, froides et en U du 1300 après oxygénation (GBq/m²)

SITE	TRANCHE	CYCLE	Cobalt		Autres								Total autres
			Co58	Co60	Mn54	Fe59	Zn65	Sb124	Zr95	Nb95	Ag110m	Ba140/La140	
BEL	1	9	7,440	2,095	0,425	0,096	0,050	0,093		0,150	0,011		0,824
BEL	2	5	8,200	1,700	0,420	0,121	0,090	0,037		0,125	0,025		0,818
BEL	2	8	1,665	0,985	0,175	0,093	0,025	0,054		0,049			0,396
CAT	2	4	2,183	1,147	0,147	0,148	0,076	0,043			0,042		0,456
CAT	2	5	1,900	1,287	0,125	0,123	0,040	0,023			0,017		0,328
CAT	2	7	1,940	1,497	0,147	0,323	0,035	0,047		0,100	0,015		0,667
CAT	2	8	1,790	1,580	0,153	0,153	0,078	0,109					0,494
CAT	2	9	2,090	1,090	0,140	0,130	0,000	0,160	0,000	0,065	0,000	0,000	0,495
CAT	2	10	1,720	1,360	0,175	0,205	0,058	0,200			0,020		0,658
CAT	2	11	1,253	1,853	0,098	0,097	0,054	0,079		0,066	0,021		0,414
CAT	4	4	6,010	0,730	0,260	0,230		0,290			0,060		0,840
FLA	1	11	3,030	1,260	0,260	0,100		0,057					0,417
GOL	1	5	3,415	0,723	0,200	0,088							0,288
GOL	1	6	2,505	0,948	0,210	0,225	0,025	0,140	0,157	0,168	0,023	0,028	0,948
GOL	1	7	1,923	1,470	0,183	0,100	0,062	0,025					0,369
GOL	1	8	1,190	1,055	0,105	0,069	0,030	0,021	0,075	0,099	0,015	0,009	0,413
GOL	1	9	1,403	1,130	0,086	0,099	0,041	0,015		0,060			0,301
GOL	1	10	1,020	1,290	0,125	0,128	0,033	0,024		0,087	0,054	0,003	0,450
GOL	1	14	0,968	1,005	0,120	0,107	0,036	0,029	0,055	0,091			0,438
GOL	2	1	2,935	0,390	0,130	0,195	0,073	0,128		0,045	0,010		0,580
GOL	2	2	2,260	0,425	0,115	0,135	0,045	0,015		0,035	0,010		0,355
GOL	2	3	2,735	0,485	0,175	0,160	0,030	0,110	0,070	0,085			0,630
GOL	2	5	1,640	0,630	0,160	0,195	0,040	0,218		0,060			0,673
NOG	1	1	16,913	0,859	0,524		0,448	0,095					1,066
NOG	2	1	10,750	0,775	0,381	0,215	0,710	0,093					1,399
NOG	2	2	8,350	1,362	0,378	0,197	0,467	0,066		0,068	0,026		1,202
NOG	2	3	6,080	2,153	0,297	0,227	0,313	0,084	0,320	0,222		0,008	1,463
NOG	2	16	2,233	1,640	0,222	0,134		0,200		0,215		0,012	0,771
PAL	1	7	5,297	2,643	0,150	0,108	0,173	0,047		0,103			0,581
PAL	1	16	3,530	1,520	0,195	0,073	0,110	0,039	0,100	0,074			0,590
PAL	1	17	1,6525	1,175	0,123	0,054333							0,177
PAL	1	18	0,76	1,035	0,07475	0,0685	0,050667			0,0155			0,209
PAL	2	1	6,404	0,331	0,101	0,052	0,129	0,021			0,037		0,339
PAL	2	11	0,965	0,670	0,071	0,033		0,024		0,027	0,006		0,161
PAL	2	17	1,56	0,76	0,047	0,17		0			0		0,217
PAL	3	14	3,670	1,190	0,190	0,022	0,061			0,016			0,289
PAL	3	15	1,750	1,045	0,093	0,071	0,046			0,045			0,254
PAL	3	16	3,950	0,863	0,153	0,051	0,073	0,035	0,055	0,097			0,464
PEN	1	4	2,065	0,600	0,200	0,190							0,390
PEN	2	1	8,350	0,508	0,203	0,143	0,110	0,121		0,040	0,110		0,726
PEN	2	2	3,600	0,460	0,207	0,227	0,105	0,060	0,060	0,063	0,035		0,756
			Cobalt		Autres								
			Co 58	Co60	Mn54	Fe59	Zn65	Sb124	Zr95	Nb95	Ag110m	Ba140/La140	Total autres
			16,913	2,643	0,524	0,323	0,710	0,290	0,320	0,222	0,110	0,028	1,463

Tableau 2 : Moyenne des activités mesurées dans les branches chaudes, froides et en U