		<u>Réf.</u> : DEN/DDCC/EXUFU/NT 2019-002 Indice 0 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/DDCC/EXUFU 2019-012
	CEA/DEN	Page 1/14

Direction de l'Energie Nucléaire
 Centre de Marcoule
 Direction du Démantèlement pour les Centres Civils
 Programme R&D pour l'A&D

Inventaires en ^{36}Cl des déchets graphites des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et chemises graphite CHA2/A3 : résultats et conclusions intermédiaires (Article 39 PNGMDR)

CEA/DEN/DDCC/EXUFU 2019-002



Inventaires en ^{36}Cl des déchets graphites des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et chemises graphite CHA2/CHA3 : résultats et conclusions intermédiaires (Article 39 PNGMDR)

MOTS CLEFS

Déchets Graphite, Réacteurs UNGG G1/G2/G3, Chemises CHA2/CHA3, Inventaires radiologiques ^{36}Cl

RESUME / CONCLUSIONS de même niveau de confidentialité que le document

Sont considérés dans ce document, les déchets de graphite des réacteurs UNGG G1/G2/G3, environ 3804 tonnes d'empilements, et des chemises graphite provenant des réacteurs EDF Chinon A2 et Chinon A3 (730 tonnes).

Ces déchets font l'objet d'un programme de R&D au CEA visant à améliorer les données de connaissances radiologiques de ces objets. Ces données constituent un enjeu de 1^{er} ordre pour la définition, au plus juste, des filières de stockage et pour l'évaluation des scénarios de reprise et de conditionnement de ces déchets. Cette note s'inscrit dans le cadre de l'article 39 du PNGMDR et constitue un état d'avancement de ce programme de R&D, depuis l'inventaire émis en 2015, notamment en ^{36}Cl . Ainsi, l'inventaire en ^{36}Cl du graphite des empilements des réacteurs G1 et G2 a été revu à la baisse d'environ un facteur 2 (0,006 TBq et 0,153 TBq respectivement pour les réacteurs G1 et G2) comparativement à l'inventaire déclaré en 2015 (0,0114 TBq et 0,229 TBq respectivement pour les réacteurs G1 et G2). Les réacteurs G2 et G3 étant de constitution gémellaire, une réflexion sur l'extrapolation, au regard de l'historique d'irradiation, de l'inventaire radiologique du graphite de l'empilement G2 pour le graphite de l'empilement G3 est actuellement en cours.

L'inventaire en ^{36}Cl des chemises graphite CHA2/CHA3 est conforté à la valeur déclarée en 2015 (0,008 TBq).

Le programme de R&D du CEA se poursuit actuellement et une mise à jour complète de l'inventaire radiologique des déchets graphite des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et des chemises graphite CHA2/CHA3, tenant compte des incertitudes ou des facteurs de marge, sera transmise en 2021 (article 39 du PNGMDR).

RESUME / CONCLUSIONS rédigé pour être de niveau DO si le document est de niveau DR, CCEA, CD ou SD



Inventaires en ³⁶Cl des déchets graphites des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et chemises graphite CHA2/CHA3 : résultats et conclusions intermédiaires (Article 39 PNGMDR)

SOMMAIRE

1.	Introduction.....	4
2.	Etat des lieux.....	5
2.1	Origine, inventaires physiques.....	5
2.1.1	Graphite des empilements des réacteurs UNGG	5
2.1.2	Graphite des chemises des réacteurs EDF CHA2/CHA3	5
2.2	Cas du Chlore 36.....	7
3.	Méthodologie actuelle pour la mise à jour des inventaires radiologiques des empilements graphite des réacteurs UNGG.....	8
3.1	Pourquoi développer une approche couplée « calcul / mesures » pour l’inventaire des déchets graphite des empilements ?.....	8
3.2	Description de la méthodologie d’ajustement calcul/mesure (empilement graphite des réacteurs UNGG)	10
4.	Programme expérimental depuis 2015.....	11
4.1	Graphite des empilements des réacteurs UNGG	11
4.2	Graphite des chemises CHA2/CHA3.....	12
5.	Inventaires radiologiques en ³⁶Cl des déchets graphites	12
6.	Synthèse – perspectives.....	13
7.	Références	13
8.	ANNEXE 1	14



1. INTRODUCTION

L'inventaire de déchets graphite considéré est d'environ 4 650 tonnes, qui proviennent essentiellement :

- des modérateurs et réflecteurs en graphite des **3 réacteurs** plutonigènes et électrogènes **G1, G2 et G3** localisés sur le site de Marcoule : (3804 tonnes) ;
- des **chemises de graphite** qui entouraient le combustible en provenance des réacteurs EDF **Chinon A2 et Chinon A3**. Ces chemises (sous forme de broyat) sont actuellement entreposées dans les fosses de l'atelier MAR400 de l'installation Dégainage de Marcoule (730 tonnes).

Dans une moindre mesure, les réacteurs expérimentaux EL2, EL3 et Rapsodie comptent environ 120 tonnes de graphite.

Les déchets de graphite contiennent essentiellement des radionucléides issus de l'**activation neutronique des impuretés** (à l'état de traces) constitutives du graphite ou des impuretés apportées par le gaz caloporteur permettant de refroidir les réacteurs.

En fonction de la période de construction des réacteurs UNGG, la nature et la qualité du graphite utilisé n'étaient pas tout à fait les mêmes, du fait du procédé de purification qui a évolué au cours du temps. Chaque réacteur est alors constitué d'une qualité de graphite particulière. Cette évolution de procédé de fabrication associée à la faible teneur des impuretés et à leur volatilité (notamment le chlore) explique en partie **la variabilité des inventaires des RN dans le graphite** et la difficulté à modéliser leur teneur dans un réacteur : les conditions d'irradiation et de température de fonctionnement et de mise à l'arrêt des réacteurs accentuent cette variabilité radiologique.

L'inventaire radiologique actuel est celui déclaré en 2015 au titre du PNGMDR [1] et celui qui a été retenu pour les études sur la définition et le dimensionnement du projet de stockage FAVL. Depuis 2015, un important programme de R&D complémentaire a été mis en œuvre au CEA. Ce programme considère :

- un **axe d'étude expérimentale** pour la caractérisation d'échantillon de graphite sélectionné parmi les échantillons historiques ou d'échantillon récemment prélevé (campagne de carottage de 2015-2016 dans le réacteur G1) ;
- un **axe d'étude par modélisation** des flux de neutrons des 3 réacteurs et de l'activation des impuretés du graphite soumis à ces flux.

Un premier état d'avancement des études notamment sur le ^{36}Cl est attendu au titre de l'article 39 du PNGMDR en Juin 2019, objet de ce document. L'inventaire complet sera transmis en 2021.



2. ETAT DES LIEUX

2.1 ORIGINE, INVENTAIRES PHYSIQUES

Les actions du CEA visant à améliorer les inventaires radiologiques des déchets graphites traitent, en priorité, le cas des empilements graphite des réacteurs UNGG G1, G2, G3 (environ 80 % en masse des déchets graphite du CEA) et les chemises graphite des réacteurs EDF CHA2/CHA3.

2.1.1 Graphite des empilements des réacteurs UNGG

Les principales caractéristiques des réacteurs UNGG G1, G2 et G3 et du graphite utilisé dans les empilements sont présentés dans le Tableau 1.

	Réacteur G1 (UNGG)	Réacteur G2 (UNGG)	Réacteur G3 (UNGG)
Mise en service	Jan. 1956	Juil. 1958	Juin 1959
Arrêt	Oct. 1968	Fév. 1980	Juin 1984
Puissance thermique (MW)	46	250	250
Puissance électrique (MW)	-	38	38
Caloporteur (pression MPa)	Air (0,1)	CO ₂ (1,5)	CO ₂ (1,5)
Température du graphite en fonctionnement (°C)	30-230	140-400	140-400
Coke d'origine	Spécial et Lockport (non imprégné)	Spécial et Lockport L (imprégné)	Spécial et Lockport L (imprégné)
Masse graphite (tonne)	1200	1302	1302

Tableau 1. Principales caractéristiques des réacteurs UNGG G1/G2/G3.

2.1.2 Graphite des chemises des réacteurs EDF CHA2/CHA3

Les éléments combustibles utilisés dans les réacteurs EDF CHA2 et CHA3 étaient introduits dans une chemise en graphite (Figure 1). Elle est équipée d'une selle en graphite reliée à la chemise en graphite grâce à des fils métalliques (fils de selle) de manière à maintenir l'élément combustible en son centre.

Au cours des opérations de traitement des combustibles, les chemises étaient transférées vers la cellule de déchemisage pour séparer mécaniquement les éléments combustibles des éléments de structure, comme la

chemise. Le dispositif de déchemisage provoquait la sortie de l'élément combustible et la chemise était alors découpée en deux parties :

- une partie (environ 1/10) contenant les fils de selle et la selle en graphite était évacuée vers une fosse dédiée à ces déchets (Fosse Fil de Selle) dans l'atelier MAR400;
- le reste de la chemise (9/10) était acheminé par gravité vers un broyeur. Les déchets, à la sortie du broyeur, ont une granulométrie maximale correspondant à un diamètre de 40 mm (Figure 1). Les broyats étaient ensuite acheminés vers les 2 fosses dédiées, également dans l'atelier de MAR400 (les Fosses Graphite).

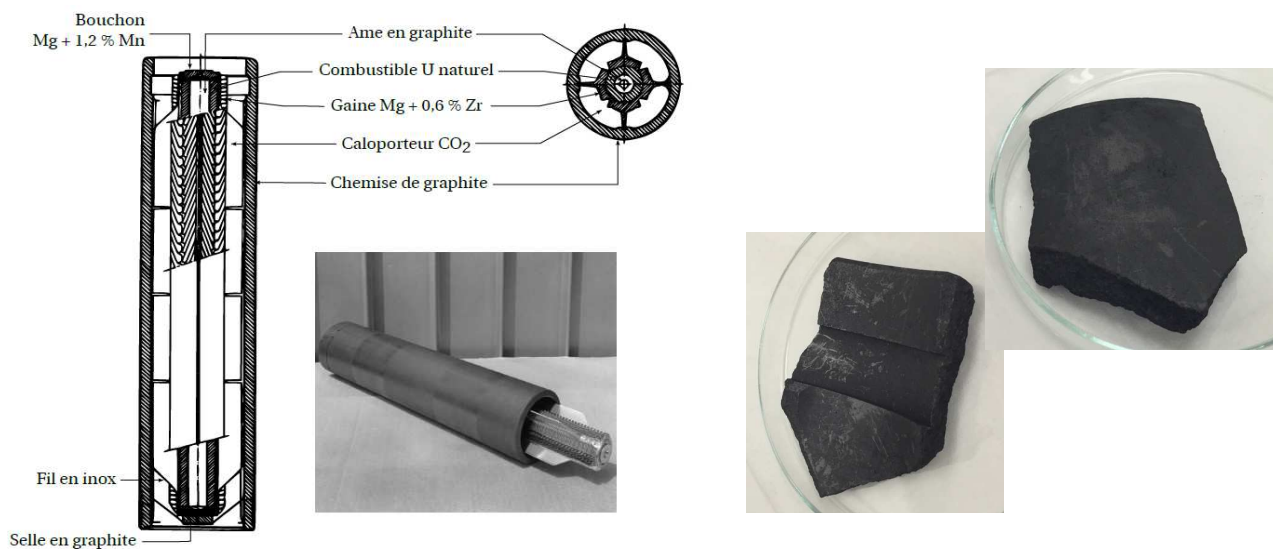


Figure 1. Schéma en coupe d'une cartouche combustible avec chemise graphite (à droite) et broyats centimétriques de chemise graphite des réacteurs EDF CHA2/CHA3 (à droite).

La répartition et la nature du graphite des chemises graphite CHA2/CHA3 sont présentées dans le Tableau 2.

		Masse des déchets de graphite	Etat du graphite	Fil de selle / selle	Coke d'origine
MAR400 (Marcoule)	2 Fosses Graphite	730 t	concassé	non	Lockport L et M
	Fosse Fil de Selle		non-concassé	oui	

Tableau 2. Etats des déchets graphite dans les fosses de l'atelier MAR400.



2.2 CAS DU CHLORE 36

Dans le cas des graphites, une attention plus particulière est portée sur les radionucléides (RN) d'intérêt comme le chlore 36, radionucléide de très longue période ($3,0 \cdot 10^5$ ans), ou le carbone 14 ($5,2 \cdot 10^3$ ans), radionucléide majeur en terme d'activité. Pour le chlore 36, son comportement mobile sous l'effet de la chaleur et de l'irradiation pendant le fonctionnement du réacteur fait qu'il est particulièrement difficile à modéliser. De plus, en conditions de stockage, le chlore 36 est également mobile dans le milieu géologique et donc dimensionnant pour les études d'impact radiologique. Dans la suite du document, seul l'inventaire radiologique en ^{36}Cl , objet de ce document, sera traité.

La stratégie d'élaboration des inventaires des déchets de graphite consiste, au sens de l'ANDRA, en une description radiologique la plus complète et précise possible des déchets. Les versions d'inventaires, antérieure à 2015, ont été bâties avec les sources de données disponibles au moment de leur établissement.

Grâce aux données acquises depuis 2008, l'amélioration des connaissances de ces déchets et l'apport des méthodologies dédiées ont permis au CEA de revoir à la baisse les inventaires radiologiques des empilements graphite des réacteurs notamment les activités en chlore 36 (Tableau 3) [1].

Date des inventaires	Réacteur G1	Réacteur G2	Réacteur G3	Total	Mode de calcul
Masse (t)	1200	1302	1302	3804	
2004	1,56 TBq	1,69 TBq	1,69 TBq	4,94 TBq	Activité maximale mesurée
2009	1 TBq	0,795 TBq	0,795 TBq	2,59 TBq	Activités mesurées moyennes par RN
2015	0,0114 TBq	0,229 TBq	0,624 TBq	0,86 TBq	Activités moyennes et pondérées par RN [1]

Tableau 3. Evolution des inventaires déclarés en ^{36}Cl (TBq) des empilements graphite des réacteurs G1, G2 et G3 suivant les méthodologies de calculs.

Le caractère majorant des inventaires est lié à l'utilisation :

- des valeurs maximales (données expérimentales) qui avaient conduit à une surestimation des inventaires de tous les réacteurs (cas de l'inventaire de 2004) ;
- de la moyenne des valeurs qui, dans le cas d'un nombre insuffisant de mesures, ne décrit que certaines zones spécifiques de prélèvement ;
- de valeurs de mesures entachées de biais analytique, comme cela a été démontré dans le document PNGMDR de 2015 [1].



Concernant les déchets de chemises graphite CHA2 et CHA3, l'activité en ^{36}Cl déclarée en 2015 avait été déterminée à partir de la valeur moyenne des mesures sur des échantillons de broyat de chemises graphite prélevés en 2008 dans les Fosses Graphite de l'atelier MAR 400. L'inventaire établi était de 0,008 TBq.

3. METHODOLOGIE ACTUELLE POUR LA MISE A JOUR DES INVENTAIRES RADIOLOGIQUES DES EMPILEMENTS GRAPHITE DES REACTEURS UNGG


Depuis 2015, la stratégie de mise à jour des inventaires radiologiques graphite des empilements (3804 tonnes environ) est basée sur une approche d'ajustement calcul/mesure des activités radiologiques des RN d'intérêts pour la définition des opérations de démantèlement des réacteurs et le dimensionnement du concept de stockage envisagé pour ces déchets. Cette stratégie nécessite le développement d'un modèle d'activation des impuretés, constituant le graphite, sous flux neutronique dont les paramètres seront ajustés/validés en fonction des résultats des mesures historiques en fonctionnement et des mesures radiochimiques sur prélèvements. Ces ajustements permettent de tenir compte des phénomènes physico-chimiques tels que la dispersion des impuretés ou les processus d'évolution des matériaux sous l'effet de l'irradiation ou de la température.

3.1 POURQUOI DEVELOPPER UNE APPROCHE COUPLEE « CALCUL / MESURES » POUR L'INVENTAIRE DES DECHETS GRAPHITE DES EMPILEMENTS ?

Le graphite utilisé dans les réacteurs UNGG a été fabriqué à partir de différents matériaux suivant des procédés incluant des étapes de purification pour permettre l'obtention d'une « qualité nucléaire » avec une faible section de capture neutronique. Les impuretés résiduelles ainsi que le carbone naturellement présent dans le matériau (carbone 13 plus particulièrement) sont à l'origine de la formation de radionucléides par activation sous flux neutronique. Le fonctionnement de ces réacteurs ayant été maîtrisé, il en ressort que les radionucléides présents dans le graphite des empilements sont quasi-exclusivement des produits d'activations des impuretés de la matrice (pas ou peu de contamination).

Les mesures radiochimiques sont un des éléments de base pour les calculs d'inventaire. Elles permettent d'obtenir des informations sur la nature des radionucléides présents et sur leur niveau d'activité, ainsi que sur l'hétérogénéité chimique des échantillons et éventuellement de vérifier certaines lois de la physique comme l'activation neutronique (zone de flux, corrélation entre isotopes).

Ces mesures sont généralement réalisées sur des échantillons de petites dimensions, si possible choisis pour être représentatifs de la variabilité des conditions rencontrées en réacteur en termes de température et de fluence neutronique. Toutefois, le nombre de prélèvement est limité, en raison des coûts de ces opérations et des conditions d'accessibilité à l'empilement. Les mesures radiochimiques ne peuvent donc pas être l'unique source de données pour l'établissement des inventaires radiologiques.

		NT	Page 9/14
		<u>Réf.</u> : DEN/DDCC/EXUFU/NT 2019-002 <u>Indice</u> 0	
		<u>Chrono</u> : CEA/DEN/DDCC/EXUFU 2019-012	
		<u>Date</u> : 20/06/2019	<u>Indice</u> : 0
Inventaires en ³⁶ Cl des déchets graphites des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et chemises graphite CHA2/CHA3 : résultats et conclusions intermédiaires (Article 39 PNGMDR)			

De la même manière, il est également difficile d'établir un inventaire sur la seule base des calculs d'activation car le plus souvent on ne dispose pas de mesure de flux précis, ni des teneurs précises en impuretés chimiques du graphite neuf (avant irradiation) qui sont les données d'entrée des codes de calcul. Il faut également rappeler que le graphite de qualité nucléaire est un matériau synthétique de grande pureté mais fabriqué par fournée et qui présente donc une certaine hétérogénéité. Ensuite, la méthode de calcul par activation ne tient pas compte des éventuels autres phénomènes physico-chimiques tels que les réactions de corrosion radiolytique, de diffusion ou de relâchement de certains radionucléides ou précurseurs au cours du fonctionnement. Elle offre par contre la possibilité de modéliser en partie ou la totalité de l'empilement et de faire varier assez facilement certains paramètres.

Ainsi, pour consolider l'inventaire radiologique graphite et le rendre plus précis avec des critères d'évaluation (incertitudes ou facteurs de marge), il est nécessaire de bâtir un modèle d'activation basé sur une approche couplée modélisation – mesures intégrant les différentes particularités de la matrice « graphite » notamment la très faible teneur en impuretés et les conditions de fonctionnement des réacteurs.



3.2 DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE D'AJUSTEMENT CALCUL/MESURE (EMPILEMENT GRAPHITE DES REACTEURS UNGG)

La méthodologie d'ajustement calcul/mesure se décrit en différentes étapes itératives. Le logigramme de la méthodologie est présenté en Annexe 1.

En première action, les données de base (dimensions, matériaux, historique de fonctionnement) ont été mises à jour pour initier les premiers calculs. Notamment, les modélisations géométriques 3D des réacteurs ont été réalisées à partir des plans 2D disponibles. Ces recherches se poursuivent avec un niveau plus fin de détails notamment identification de zones sensibles (thermocouples, zones réflecteurs, interfaces matériaux), de zones d'incidents (rupture de gaine), de plan de chargement (réseau adsorbant) ou combustible plus complexe (nature), ou encore, toute modification pouvant localement induire une modification du flux neutronique. Ces données d'entrées permettent l'**établissement d'une première cartographie de flux de neutrons** dans les réacteurs, en énergie et en volume avec un maillage équivalent à la dimension des briques de graphite (20 cm*20 cm) sur la longueur d'une cartouche combustible (30 cm pour G2/G3 et 1 m pour G1).

Le modèle de flux est comparé aux mesures expérimentales de flux historiques, obtenues lors du fonctionnement du réacteur en vue d'une validation globale.

En parallèle, une revue des données d'analyses et des échantillons disponibles est faite avec pour objectif de définir une composition moyenne en impuretés des graphites et de valider les points de mesures qui serviront aux premières comparaisons calculs / mesures. La revue des méthodes de mesure doit permettre de s'assurer de la qualité de mesures et éventuellement de proposer un plan d'échantillonnage et/ou de caractérisation.

En seconde action, le flux de neutrons précédemment calculé est utilisé avec la matrice initiale d'impureté, en intégrant l'historique d'irradiation afin de fournir une première cartographie d'activation du bloc graphite avec le même maillage de la brique graphite. Cette modélisation complète du bloc graphite permet d'estimer l'inventaire global. **Ce calcul d'activation est validé par une première comparaison calcul / mesure notamment sur la forme des profils et sur le niveau d'activité obtenu. A ce stade un premier ajustement de la teneur en impuretés dans le graphite ou une reprise de calcul est possible suivant les résultats.**

La troisième phase consiste à ajuster la teneur en impuretés chimiques afin de minimiser l'écart entre le calcul et la mesure ceci à l'échelle locale. Afin de tenir compte de la variabilité locale de la teneur en impuretés ou éventuellement d'un point singulier, le calcul d'activation est réalisé sur chaque zone de prélèvement et avec un maillage plus fin, plus proche de la dimension des échantillons analysés. Pour chaque point de mesures, les résultats des calculs dans cette maille fine de calcul sont comparés aux valeurs mesurées. La teneur de chaque impureté est ainsi ajustée de façon à être explicative de l'activité mesurée. Cet ajustement, réalisé sur chaque précurseur de chaque radionucléide et pour chaque point de mesures permet ainsi d'avoir une matrice d'impureté



« explicative ». Cette matrice tient compte des variations de répartition stochastique des impuretés (évolution locale de concentration), des phénomènes d'évolutions chimiques des matériaux (évolutions locales due à la température, perte par volatilisation ou autres phénomènes en lien avec les conditions de fonctionnement du réacteur). Elle permet d'obtenir **la valeur moyenne de l'impureté** qui ajuste les calculs localement mais également **une estimation de sa dispersion**. Ainsi, les valeurs d'activités minimales et maximales pourront être définies et valideront la robustesse des calculs. Dans le cas du chlore 36, une attention particulière sera apportée à l'estimation de sa variabilité.

Enfin **une dernière étape de calcul** sera faite en incluant **un bornage sur les bases des estimations de variabilité des teneurs en impuretés** déduites précédemment ce qui permet d'obtenir un inventaire associé à une incertitude ou facteur de marge.

A noter, qu'une méthode équivalente a été utilisée par EDF pour l'établissement des inventaires des déchets de graphite d'empilement de ses réacteurs UNGG.

4. PROGRAMME EXPERIMENTAL DEPUIS 2015

4.1 GRAPHITE DES EMPILEMENTS DES REACTEURS UNGG

En 2015, la revue de données disponibles sur le graphite du réacteur G1 avaient conclu à la nécessité de réaliser des prélèvements afin de caractériser la demi pile face déchargement, voire de réaliser des carottages de plus grandes dimensions pour accéder aux éléments de structures et à la zone réflecteur graphite (zone située en périphérie de l'empilement graphite où les flux de neutron étaient moins intenses) [1]. Les carottages dans deux demi-canaux coté déchargement ont été réalisés fin 2015 et début 2016 et les campagnes de mesure ont été réalisées en 2016. L'exploitation de ces mesures a été intégrée pour la mise à jour de l'inventaire radiologique en ^{36}Cl de ce réacteur.

Pour le graphite des réacteurs G2-G3 (ces réacteurs étant de constitution gémellaire), la revue de données disponibles avait conclu à la nécessité de réaliser de nouvelles mesures sur les échantillons disponibles de G2 (carottages de grandes dimensions) afin de caractériser au mieux ce réacteur. Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- la disponibilité d'échantillons de graphite G2 ;
- l'exploitation au mieux des échantillons existants de grande dimension et permettant par une approche statistique de mieux caractériser la variabilité des mesures en chlore 36 dans ces graphites ;
- avoir des mesures sur le graphite de la zone réflecteur mais également le long du carottage vertical et horizontal permettant ainsi de décrire les différentes zones de flux, non encore analysées.

Ainsi, depuis 2015, des mesures ont été réalisées sur le graphite de l'empilement G2 et se poursuivent actuellement. L'exploitation de ces mesures, qui est toujours en cours, a été intégrée pour la mise à jour de l'inventaire radiologique en ^{36}Cl pour G2.



Inventaires en ^{36}Cl des déchets graphites des réacteurs UNGG G1/G2/G3 et chemises graphite CHA2/CHA3 : résultats et conclusions intermédiaires (Article 39 PNGMDR)

4.2 GRAPHITE DES CHEMISES CHA2/CHA3

L'inventaire actuel (2015) est basé sur la valeur moyenne de l'activité en chlore 36 mesurée sur des échantillons prélevés dans les Fosses Graphite de l'atelier MAR 400 en 2008. Depuis 2015, le programme expérimental dédié à ces déchets se poursuit avec la réalisation de nouvelles mesures radiochimiques. L'exploitation de ces mesures acquises depuis 2015 a été intégrée pour la mise à jour de l'inventaire radiologique en ^{36}Cl des chemises CHA2/CHA3 des 2 Fosses Graphite.

5. INVENTAIRES RADIOLOGIQUES EN ^{36}Cl DES DECHETS GRAPHITES

Sur la base des données acquises selon la méthodologie calcul / mesure pour le graphite des empilements des réacteurs G1 et G2, l'inventaire radiologique en ^{36}Cl de ces réacteurs a été revu à la baisse d'environ un facteur 2 (Tableau 4).

Sur la base du programme expérimental pour le graphite des chemises CHA2/CHA3, l'inventaire radiologique en ^{36}Cl est conforté à 0,008 TBq.

Graphite	Masse	^{36}Cl	Au 01/01/19
G1	1200 t	0,006	TBq
G2	1302 t	0,153	TBq
G3 (Inventaire 2015)	1302 t	0,625	TBq
Chemises CHA2/CHA3	730 t	0,008	TBq

Tableau 4. Inventaire radiologique en ^{36}Cl des empilements graphite des réacteurs G1, G2 et G3 et des chemises graphite CHA2/CHA3

Les mesures expérimentales sur les graphites des empilements des réacteurs G1/G2/G3 se poursuivent et une réflexion sur l'extrapolation, au regard de l'historique d'irradiation, de l'inventaire radiologique du graphite de l'empilement G2 pour le graphite de l'empilement G3 est actuellement en cours.



6. SYNTHÈSE – PERSPECTIVES

Les déchets graphite considérés, environ 4650 tonnes, proviennent majoritairement des empilements graphite des réacteurs UNGG (G1, G2 et G3 – 3804 tonnes) et des chemises graphite irradiées dans les réacteurs EDF Chinon A2 et Chinon A3 (730 tonnes).

Ces déchets font l'objet d'un programme de R&D au CEA visant à améliorer les données de connaissances radiologiques de ces objets. Ces données constituent un enjeu de 1^{er} ordre pour la définition, au plus juste, des filières de stockage et pour l'évaluation des scénarios de reprise et de conditionnement de ces déchets. Cette note s'inscrit dans le cadre de l'article 39 du PNGMDR et constitue un état d'avancement de ce programme de R&D, depuis l'inventaire émis en 2015, notamment en ^{36}Cl . Ainsi, l'inventaire en ^{36}Cl du graphite des empilements des réacteurs G1 et G2 a été revu à la baisse, grâce à la méthodologie couplée calcul/mesure, d'environ un facteur 2 (0,006 TBq et 0,153 TBq respectivement pour les réacteurs G1 et G2) comparativement à l'inventaire déclaré en 2015 (0,0114 TBq et 0,229 TBq respectivement pour les réacteurs G1 et G2). Les réacteurs G2 et G3 étant de constitution gémellaire, une réflexion sur l'extrapolation, au regard de l'historique d'irradiation, de l'inventaire radiologique du graphite de l'empilement G2 pour le graphite de l'empilement G3 est actuellement en cours.

L'inventaire en ^{36}Cl des chemises graphite CHA2/CHA3 est conforté à la valeur déclarée en 2015 (0,008 TBq).

Le programme de R&D du CEA se poursuit actuellement et une mise à jour complète de l'inventaire radiologique des déchets graphite des empilements des réacteurs G1/G2/G3 et des chemises graphite CHA2/CHA3, tenant compte des incertitudes ou des facteurs de marge, sera transmise en 2021 (article 39 du PNGMDR).

7. REFERENCES

[1] « Rapport PNGMDR 2013-2015 – Etat des connaissances sur le contenu radiologique des déchets de graphite du CEA et de EDF relevant du stockage en subsurface FAVL » – CEA/DEN/DADN DO 3 06/01/15

8. ANNEXE 1

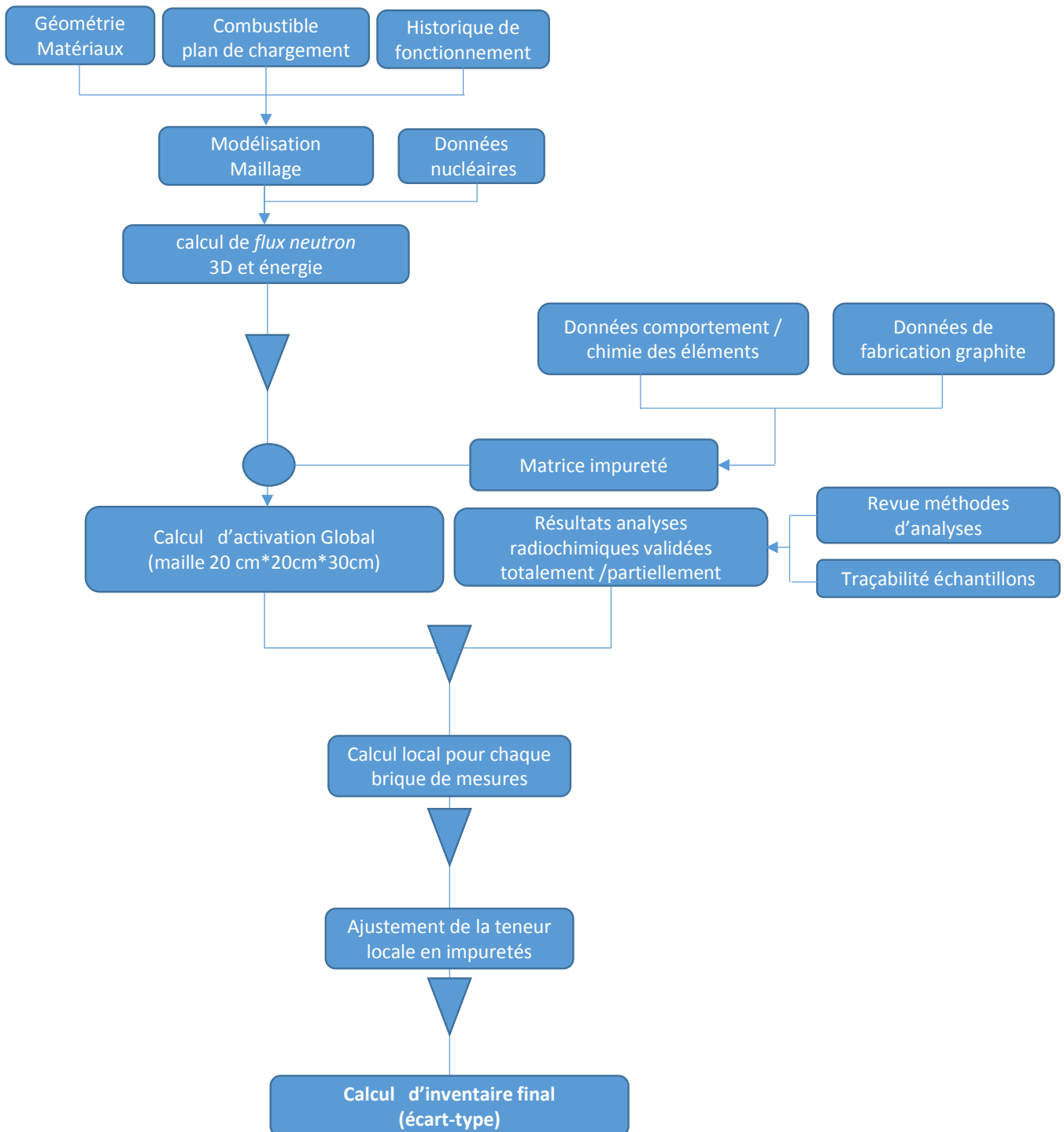


Figure 2. Schéma simplifié de l'approche ajustement calcul / mesure pour le calcul d'inventaire radiologique du graphite des réacteurs UNGG G1/G2/G3.