

# GT PNGMDR



## Inventaire radiologique des déchets de graphite présents au CEA

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

13 avril 2022

■ **L'article 39 de l'arrêté du 23 février 2017 (PNGMDR 2016-2018) demande, sur les déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FA-VL), que :**

*« Le CEA et EDF poursuivent leurs études pour fiabiliser l'inventaire radiologique des déchets de graphite : i. afin de conforter la méthode inverse d'évaluation de l'inventaire, EDF et le CEA vérifient par des campagnes complémentaires de mesures le caractère conservatif de l'inventaire total en <sup>36</sup>Cl actuellement présenté. [...]*

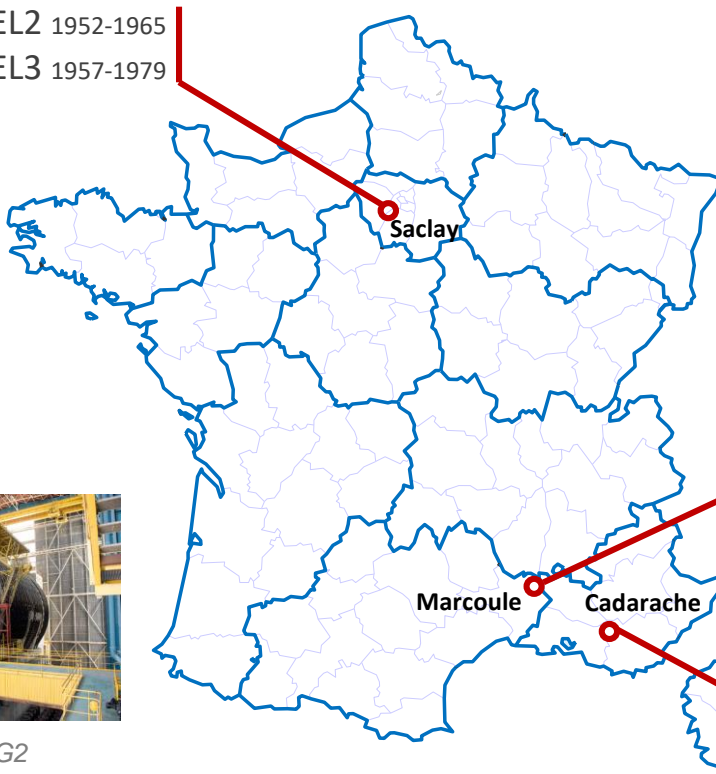
*Le CEA achève ses mesures avant le 31 décembre 2021 et remet au ministre chargé de l'énergie avant le 30 juin 2019 une étude présentant ses résultats et conclusions intermédiaires. »*

➡ Rapport intermédiaire rendu le 26 juin 2019, en ligne sur le site ASN

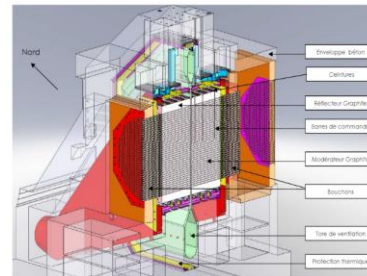
➡ Rapport actualisé rendu le 13 décembre 2021, en ligne sur le site ASN

Réacteur EL2 1952-1965

Réacteur EL3 1957-1979



Réacteur G2



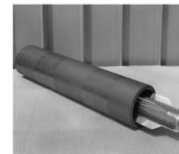
Maquette numérique G1

G1 1956-1968

G2 1958-1980

G3 1959-1984

Chemises CHA2, CHA3



Réacteur Rapsodie

1967-1983

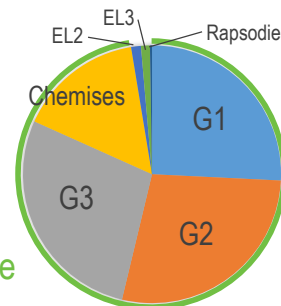
## ■ 4655 tonnes de déchets de graphite provenant à 97 % :

- Du graphite des empilements des réacteurs de la 1<sup>ère</sup> filière électronucléaire Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) G1, G2, G3 (3804 tonnes)
- Du graphite des chemises entourant les éléments combustibles des réacteurs EDF Chinon A2 et Chinon A3 (CHA2/CHA3) (730 tonnes)

*Contribution à la masse totale des déchets de graphite*



97% massique



## ■ Activité radiologique : activation neutronique des impuretés du graphite ou du gaz caloporteur (réacteurs UNGG)

## ■ Variabilité des inventaires radiologiques liée à :

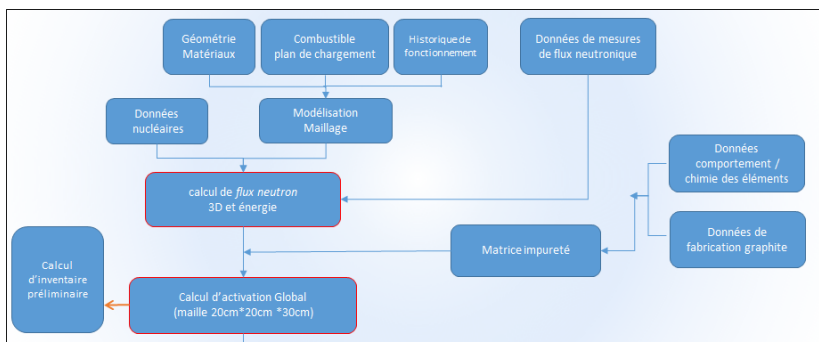
- La nature et la qualité du graphite (procédé de purification)
- La nature et la teneur en impuretés (qui restent à l'état de traces)
- Les conditions d'irradiation, la température en réacteur, la durée de fonctionnement du réacteur

- En 2015, l'inventaire sur les déchets de graphite était basé sur des résultats d'analyses radiochimiques de quelques prélèvements, parfois extrapolés d'un réacteur à l'autre quand des valeurs sur certains radionucléides manquaient.
- Depuis 2015 : relance d'un programme au CEA pour fiabiliser l'inventaire pour les réacteurs G1, G2 et G3 sur la base de la nouvelle méthodologie « méthode inverse » ou « ajustement calculs/mesures » :
  - Revue des méthodes de caractérisation radiochimique, des plans (2D → 3D), de la traçabilité des prélèvements, de l'historique de fonctionnement des réacteurs
  - Stratégie de caractérisation radiochimique :
    - nouveaux prélèvements (G1)
    - nouvelles analyses radiochimiques (G1, G2, G3, chemises CHA2/CHA3)
  - La démarche itérative calculs/mesures a été mise en place pour G1, G2 et G3
- Pour les inventaires d'EL2, EL3 et Rapsodie : décroissance radioactive à partir des inventaires calculés en 2008 (EL2, EL3) et 2012 (Rapsodie)
- En 2019 : rapport intermédiaire de la mise à jour de l'inventaire avec un focus sur  $^{36}\text{Cl}$

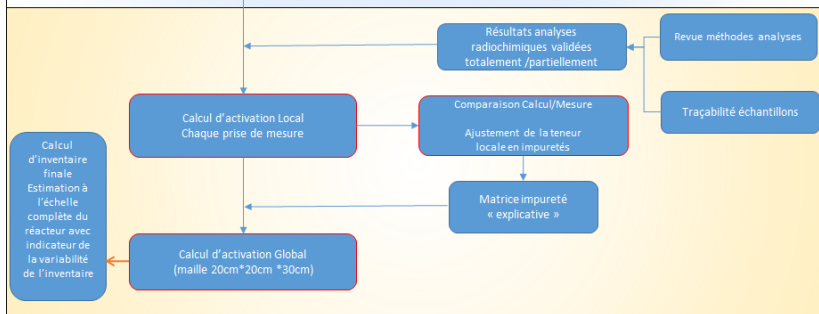
La méthode calculs/mesures se déroule sous forme d'un processus itératif :

- Cartographie de flux de neutrons dans le réacteur
- Calcul d'activation de l'empilement graphite du réacteur
- Ajustement calculs/mesures (teneur en impuretés chimiques) pour chaque réacteur
- Evaluation de l'inventaire radiologique du réacteur

Etape 1



Etape 2



Activité (TBq) 2021	G1	G2	G3	Chemises CHA2 et CHA3	EL2	EL3	Rapsodie
<b>Masse (t) Contribution à la masse (%)</b>	1200 (25,7%)	1302 (28%)	1302 (28%)	730 (15,7%)	57 (1,2%)	52 (1,1%)	12 (0,3%)
<b>Méthode</b>	Calculs/Mesures <sup>1</sup>		Calculs <sup>2</sup>	Mesures A <sub>moj</sub> <sup>3</sup>	Estimation <sup>4</sup>		
<sup>3</sup> H (12,3 a)	<b>14,86</b>	<b>24,39</b>	<b>257,29</b>	<b>36,90</b>	<b>0,60</b>	<b>0,47</b>	<b>0,013</b>
<sup>10</sup> Be (1,4.10 <sup>6</sup> a)	4,92E-04	1,61E-04	1,86E-04	-	-	-	-
<sup>14</sup> C (5700 a)	<b>26,67</b>	<b>20,52</b>	<b>20,71</b>	<b>7,85</b>	<b>0,67</b>	<b>0,24</b>	<b>0,006</b>
<sup>36</sup> Cl (302.10 <sup>3</sup> a)	<b>6,9E-03</b>	<b>1,9E-01</b>	<b>6,0E-01</b>	<b>7E-03</b>	<b>7,4E-02</b>	<b>6,8E-02</b>	<b>0,3E-05</b>
<sup>41</sup> Ca (100.10 <sup>3</sup> a)	4,3E-02	7,6E-03	2,2E-01	-	-	-	-
<sup>59</sup> Ni (76.10 <sup>3</sup> a)	3,1E-03	2,9E-02	3,0E-02	-	-	-	0,3E-05
<sup>60</sup> Co (5,27 a)	0,0042	0,081	0,26	6E-02	4,2E-03	8,1E-03	3,1E-05
<sup>63</sup> Ni (98,7 a)	<b>0,26</b>	<b>2,83</b>	<b>3,02</b>	<b>0,45</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>3,6E-04</b>
<sup>93m</sup> Nb (16,12 a)	6,6E-03	5,2E-03	3,6E-03	-	-	-	-
<sup>93</sup> Mo (4000 a)	8,0E-03	6,0E-05	7,1E-04	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs (30,05 a)	1,1E-02	1,8E-02	5,6E-03	3E-02	3,2E-03	4,1E-03	-
<sup>90</sup> Sr (28,8 a)	9,0E-03	6,9E-03	2,6E-03	-	3,6E-03	4,6E-03	-
<sup>94f</sup> Nb (20,0.10 <sup>3</sup> a)	6,0E-04	1,1E-03	5,4E-04	-	-	-	-
<sup>133</sup> Ba (10,54 a)	1,4E-03	8,2E-03	1,2E-02	-	6,1E-03	4,7E-03	-
<sup>152</sup> Eu (13,52 a)	2,0E-02	1,2E-02	6,3E-03	2E-02	3,2E-02	2,3E-02	6,3E-05
<sup>154</sup> Eu (8,6 a)	9,7E-03	3,5E-02	7,7E-02	1,1E-01	1,8E-02	1,9E-02	0,8E-05
<sup>155</sup> Eu (4,75 a)	1,3E-04	1,9E-03	6,1E-03	2E-02	0,2E-03	0,4E-03	-
<b>A<sub>Tot</sub> (TBq)</b>	<b>41,93</b>	<b>48,19</b>	<b>282,29</b>	<b>45,45</b>	<b>1,71</b>	<b>1,14</b>	<b>0,020</b>
<b>A<sub>Tot</sub> (TBq) G1,G2,G3 = 372,41</b>							
<b>A<sub>Tot</sub> (TBq) = 420,73</b>							

1 : très fiable ; 2 : fiable ; 3 : fiable (amélioration possible) ; 4 : majorante

Identification des déchets	Masse (t)	Activité $^{14}\text{C}$ (TBq) inventaire 2015	Activité $^{14}\text{C}$ (TBq) inventaire 2021	Activité $^{36}\text{Cl}$ (TBq) inventaire 2015	Activité $^{36}\text{Cl}$ (TBq) inventaire 2021
<b>G1</b>	1200	40,44	26,67	0,0114	0,0069
<b>G2</b>	1302	32,90	20,52	0,2299	0,1950
<b>G3</b>	1302	34,37	20,71	0,6249	0,6020
<b>Chemises A2/A3</b>	730	5,84	7,85	0,0084	0,0070

- **Fiabilisation de l'inventaire par le déploiement de la méthode inverse pour les réacteurs G1, G2 et G3**
- **Diminution de l'inventaire en  $^{14}\text{C}$  pour G1, G2 et G3**
- **Confirmation d'une diminution d'un facteur 2 de l'inventaire en  $^{36}\text{Cl}$  pour G1 par rapport à 2015**
- **Amélioration de l'inventaire pour les chemises CHA2/CHA3**



- L'important travail mené au CEA depuis 2015 sur l'amélioration des connaissances des déchets de graphite a conduit à la fiabilisation de l'inventaire graphite pour 97% de la masse de ces déchets
- Ce travail répond à l'article 39 de l'arrêté du 23 février 2017 (PNGMDR 2016-2018)
- Il a été utilisé dans le cadre du réexamen de sûreté des réacteurs G2 et G3 pour la mise à jour du référentiel de sûreté de ces réacteurs (et prochainement pour le réacteur G1)
- Il permet de consolider l'activité radiologique de ces déchets en vue de leur orientation vers les filières de stockage

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

Réacteur	G1	G2	G3	EL2	EL3	Rapsodie
Type	UNGG	UNGG	UNGG	Eau lourde	Eau lourde	RNR
Site	Marcoule (30)	Marcoule (30)	Marcoule (30)	Saclay (91)	Saclay (91)	Cadarache (13)
1 <sup>ère</sup> divergence	Janvier 1956	Juillet 1958	Juin 1959	Octobre 1952	Juillet 1957	1967
Date d'arrêt définitif	Octobre 1968	Février 1980	Juin 1984	Septembre 1965	Mars 1979	1983
Puissance thermique (MW)	46	250	250	2,5	18	20-40
Puissance électrique (MW)	-	38	38	-	-	-
Caloporteur (pression MPa*)	Air (0,1)	CO <sub>2</sub> (1,5)	CO <sub>2</sub> (1,5)	Eau lourde	Eau lourde	Na liquide
T° graphite en fonctionnement (°C)	30-230	140-400	140-400	S.O.	S.O.	150-550
Masse (t)	1200	1302	1302	57	52	12

\* Pression absolue du gaz (1 bar = fonctionnement à la pression atmosphérique)

s.o. : sans objet

UNGG : Uranium Naturel Graphite Gaz

RNR : Réacteur à Neutrons Rapides