



Inventaire radiologique par assimilation - Application au graphite UNGG d'EDF

METHODOLOGIE D'INVENTAIRE
RADIOLOGIQUE

Académie des Sciences

Le 08/10/2014 –Après-midi – 30 minutes

Présentation de Bernard PONCET (EDF)



AU DEPART, UN ENSEMBLE DE MESURES DISTRIBUÉES DANS L'ESPACE ...

La reconnaissance radiologique qui vient d'être décrite donne des **statistiques spatiales** sur les **RN mesurables**.

Par réacteur UNGG, en prélevant une trentaine de carottes réparties dans l'empilement graphite, EDF a fait mesurer sur chacune des carottes, les émetteurs α , β et γ .

Calcul « **direct** » impossible \Rightarrow « **filtrer** » les mesures.

Si seulement **continuité spatiale** \Rightarrow la géostatistique peut être utilisable \Rightarrow le krigeage (interpolation spatiale).

Information **3D de l'historique d'activation** \Rightarrow identification Calcul/Mesure \Rightarrow **l'assimilation de données** est alors la démarche la plus pertinente.

CONTEXTE D'ACTIVATION : CALCUL DIRECT, GÉOSTATISTIQUE ET ASSIMILATION

Pour la distribution des radionucléides dans les **matériaux finement divisés**, le **calcul direct** conduit à des évaluations majorées.

La **géostatistique**, adaptée aux **sols contaminés**, s'applique lorsqu'on n'a **pas de calcul** du modèle explicatif .

La corrélation spatiale n'étant qu'une **conséquence** de l'activation neutronique, l'identification calcul/mesure moyenne apporte un **résultat filtré** par la connaissance.

ASSIMILATION OU AJUSTEMENT CALCUL/MESURE EFFECTUE EN MOYENNE

L'**assimilation ou identification calcul/mesure** apporte un résultat pour les inventaires des RN mesurés ou provenant des mêmes précurseurs que ces RN mesurés.

Compte tenu de l'**absence de corrélation spatiale** des concentrations explicatives, il n'y a pas d'effet de tache comme dans le cas du transport par un fluide mais un

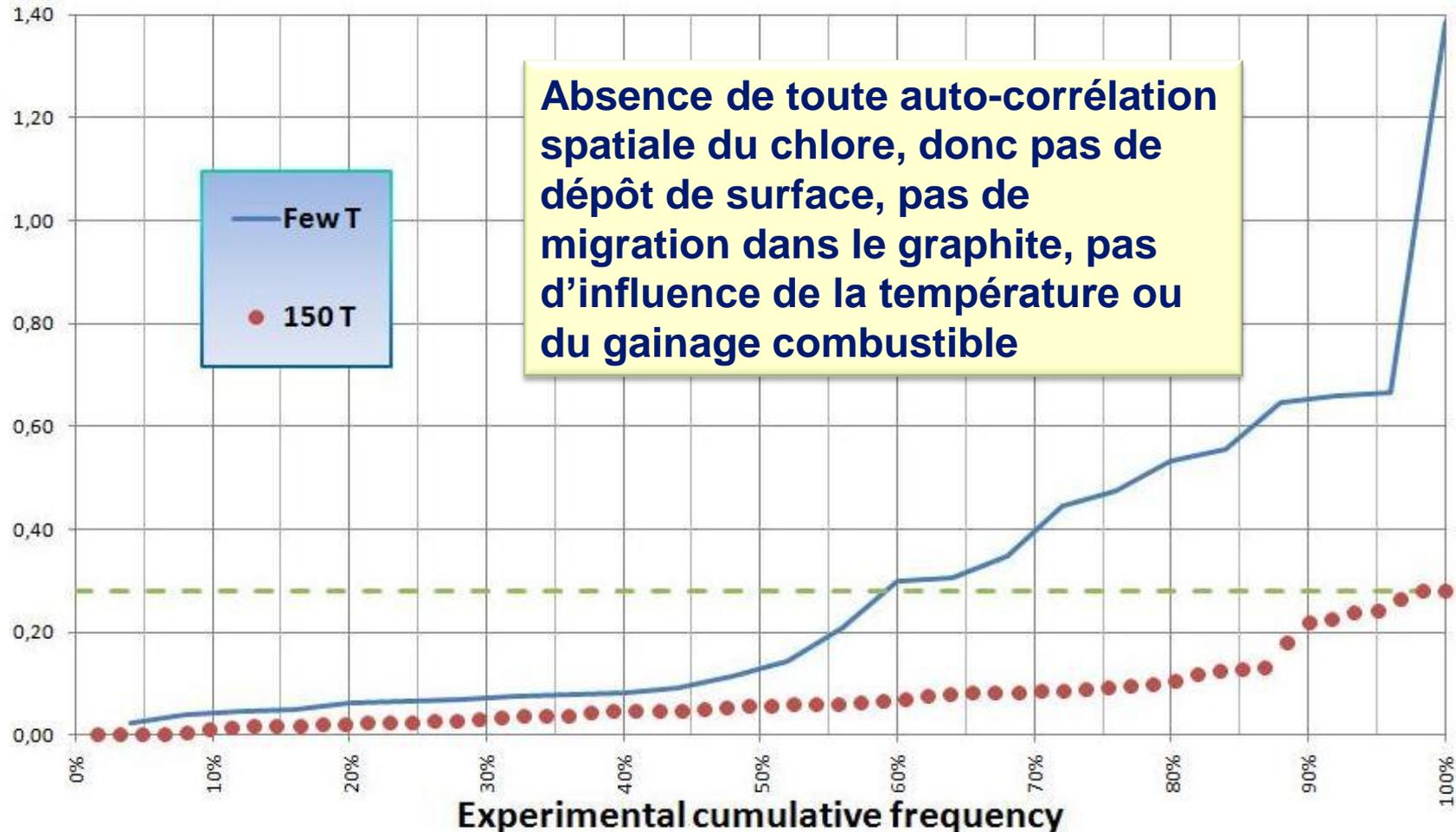
« **effet de pépite** ».
$$Cov[C(\vec{x}), C(\vec{x} + \vec{h})] = \begin{cases} \sigma^2 & \text{if } \|\vec{h}\| = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

EFFET DE PÉPITE : EXEMPLE DU CHLORE



Deux broyages = 2 répartitions des maxima des écarts des prises d'essai et de leurs moyennes carottes associées

Relative maximum difference of chlorine 36 measured between sub-samples of each 20 gram sample



FORMULE DE GY ET LOI BINOMIALE

Pour « a » petit, on a :

$$s_r^2 = \left[\frac{s}{a} \right]^2 \approx \frac{K}{a m}$$

Loi binomiale :

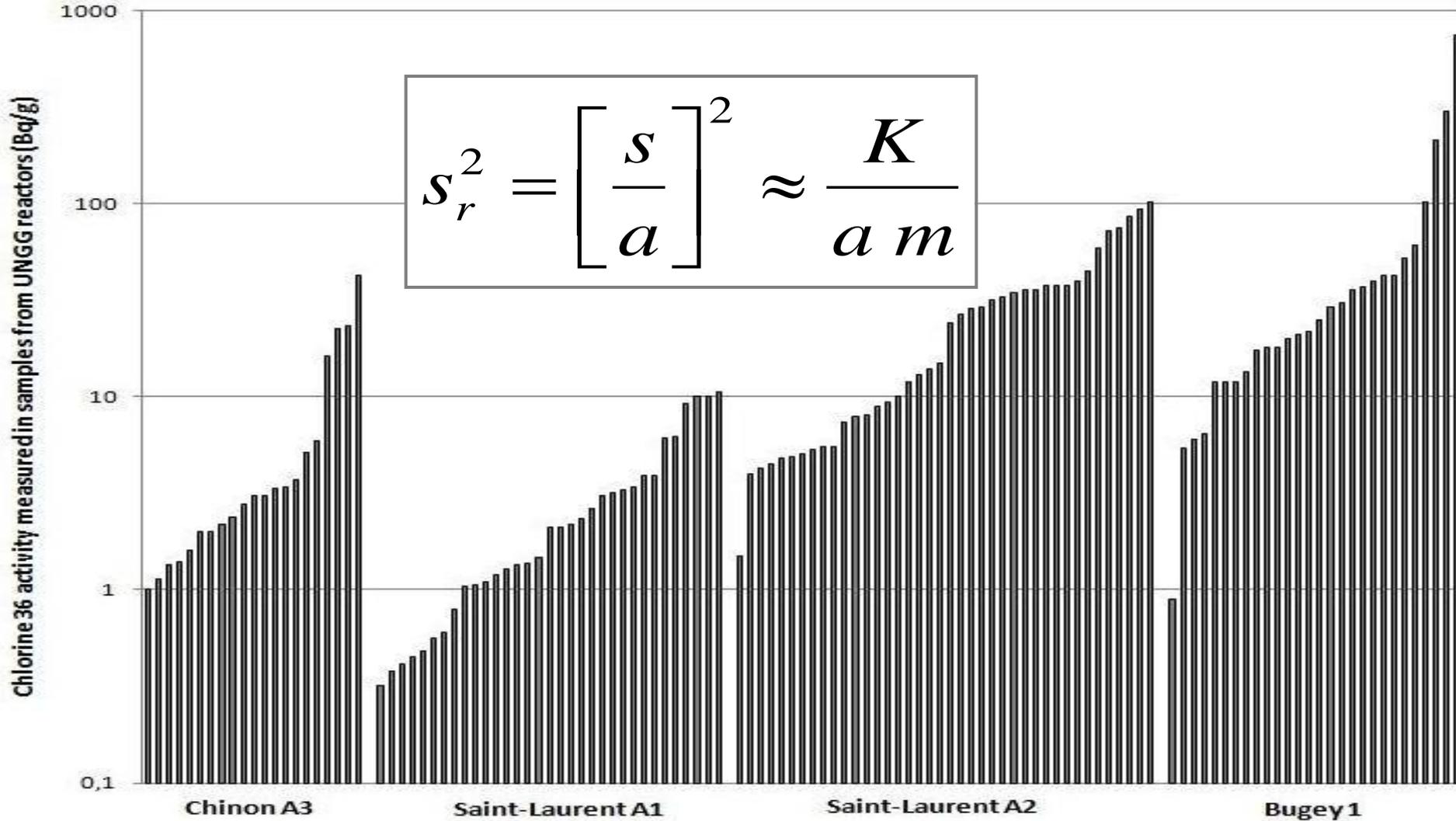
Tirage de « m » boules blanches parmi « n » boules.

Variance relative :
$$\left[\sigma\left(\frac{m}{n}\right) / E\left(\frac{m}{n}\right) \right]^2 = \frac{1-p}{np}$$

La variance relative fondamentale de l'échantillonnage augmente lorsque le nombre « n » (la masse de la prise d'essai) diminue et lorsque le nombre « p » (la concentration en impureté) diminue. On retrouve bien la structure de la formule simplifiée de Gy pour « p » petit.

³⁶Cl DES CAROTTES PRÉLEVÉES SUR 4 RÉACTEURS

La formule de Gy s'applique à toutes les échelles



$$s_r^2 = \left[\frac{s}{a} \right]^2 \approx \frac{K}{a m}$$

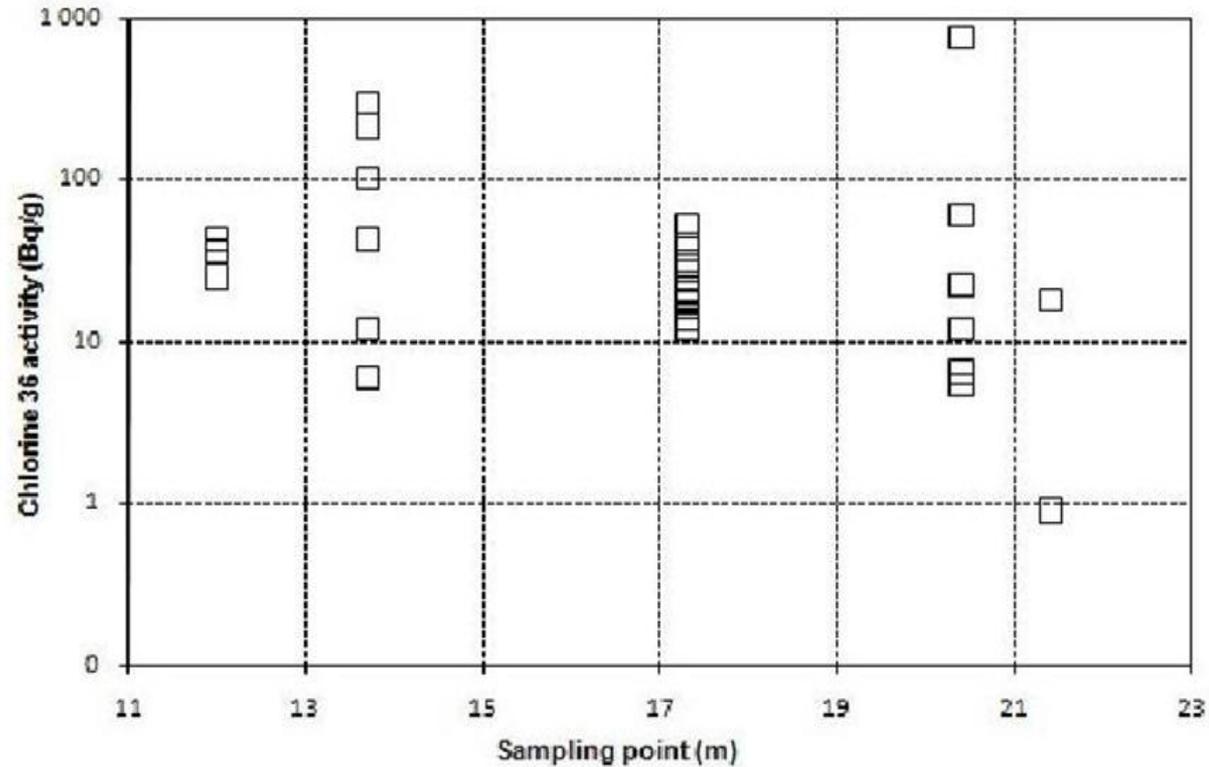
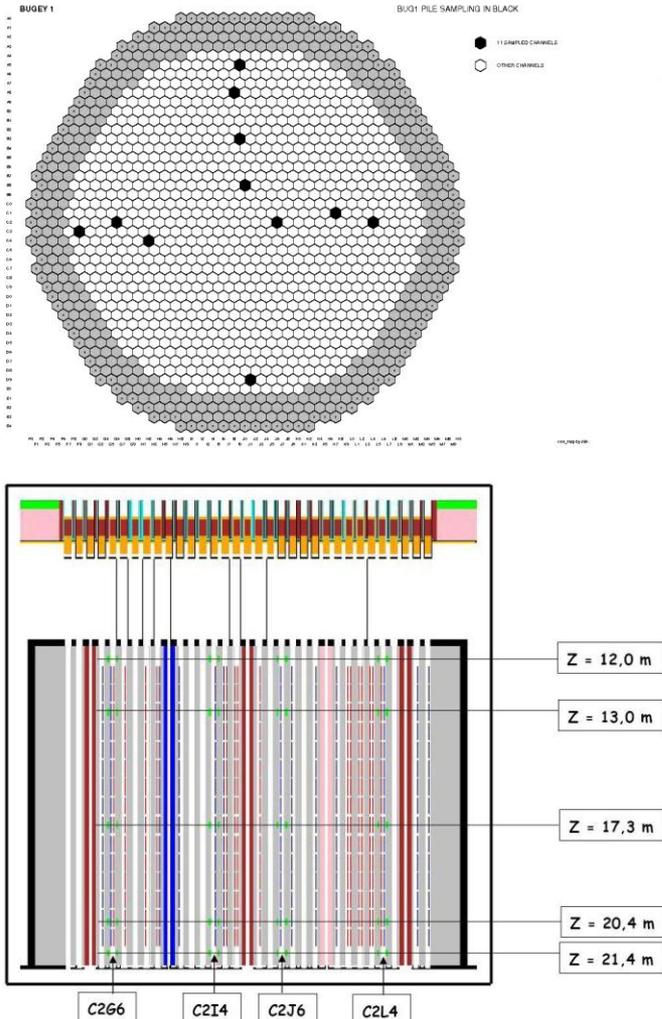
INVENTAIRE DES GRAPHITES EDF (17 000 t)

Pour prendre en compte la très **grande variabilité des mesures du ^{36}Cl** observée à l'échelle des prélèvements dans le graphite activé, variabilité expliquée par **la pureté du graphite nucléaire**,
la **démarche EDF**, basée sur une population **statistique de mesures**,
permet de fiabiliser **l'inventaire radiologique** d'activation
à l'échelle moyennée sur une tonne de graphite.

LA VARIABILITÉ DU ^{36}Cl EST INDÉPENDANTE DE LA POSITION EN RÉACTEUR (1/3)

Localisation des carottes de 20 à 30 g

Empilement de Bugey 1 - 2060 t



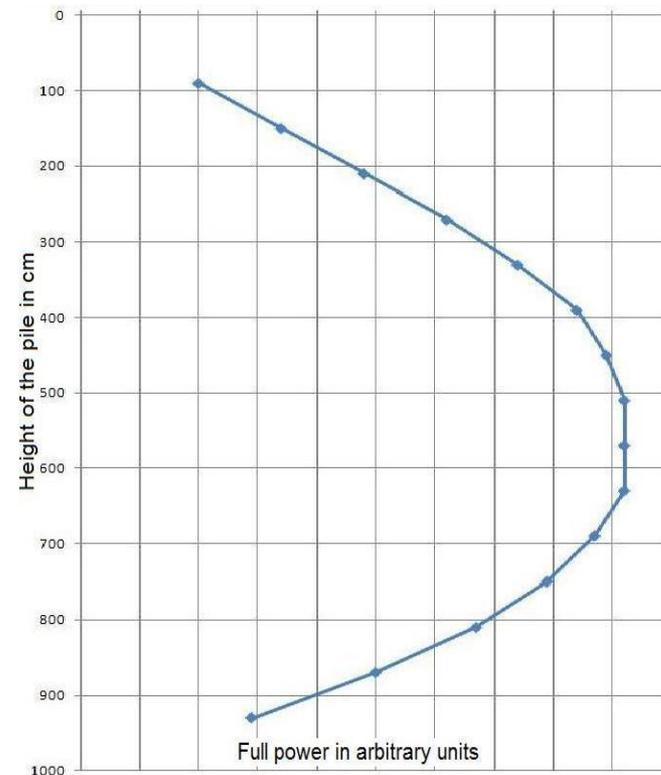
LA VARIABILITÉ DU ^{36}Cl EST INDÉPENDANTE DE LA POSITION EN RÉACTEUR (2/3)

Le facteur 1000 sur les ^{36}Cl mesurés ne peut pas provenir uniquement du flux neutronique

.....

car entre toutes les carottes, puissance et flux d'activation ne varient pas plus d'un facteur 10

Profil axial de puissance de Bugey 1



NB: Le profil horizontal de puissance a été maintenu très plat en exploitation.

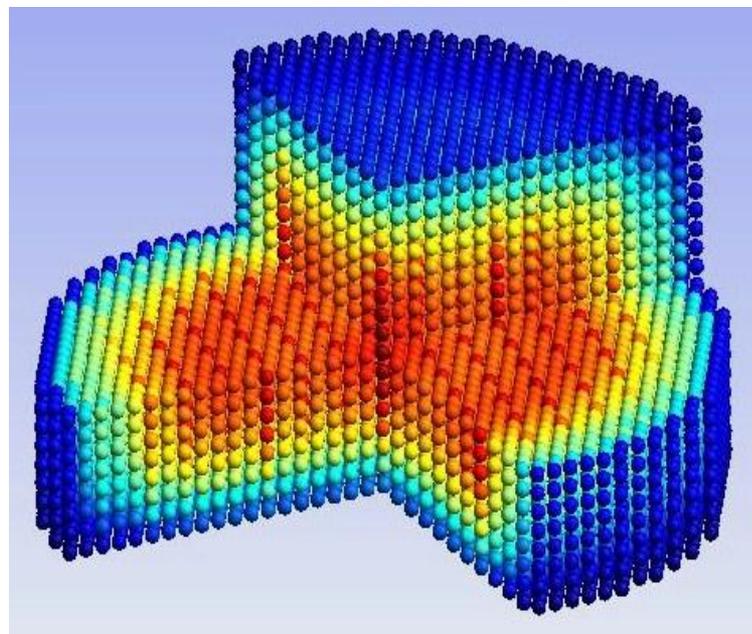
LA VARIABILITÉ DU ^{36}Cl EST INDÉPENDANTE DE LA POSITION EN RÉACTEUR (3/3)

- Provenant d'un **matériau pur** finement divisé, la variabilité est une propriété aléatoire liée à l'échelle de l'échantillon mesuré (c'est théorisé par la formule de Gy).
- A partir d'un volume de graphite suffisant (le Volume Élémentaire Représentatif ou V.E.R.), la composition moyenne ne fluctue plus aléatoirement.
- Ainsi, la variabilité des concentrations mesurées sur les prises d'essai de un gramme a totalement disparu au niveau du colis.
- A échelle du colis, le graphite est homogène mais n'est plus mesurable ...**ou alors il faut moyenner après avoir déduit l'effet du flux neutronique**



DONNÉES DISPONIBLES POUR APPLIQUER DÈS 2008 LA MÉTHODE EDF

- **≈900 mesures** élémentaires tous RN confondus par empilement
- Champ de flux neutronique et historique de chaque empilement
- Calcul en 2008 des empilements **BUG1, SLA1, SLA2** et **CHA3** avec une méthode adaptée à la spécificité du matériau et calculant un inventaire majoré
- Accord technique ANDRA sur cette méthode « **jugée appropriée** » suite à la réunion du 20/06/2012

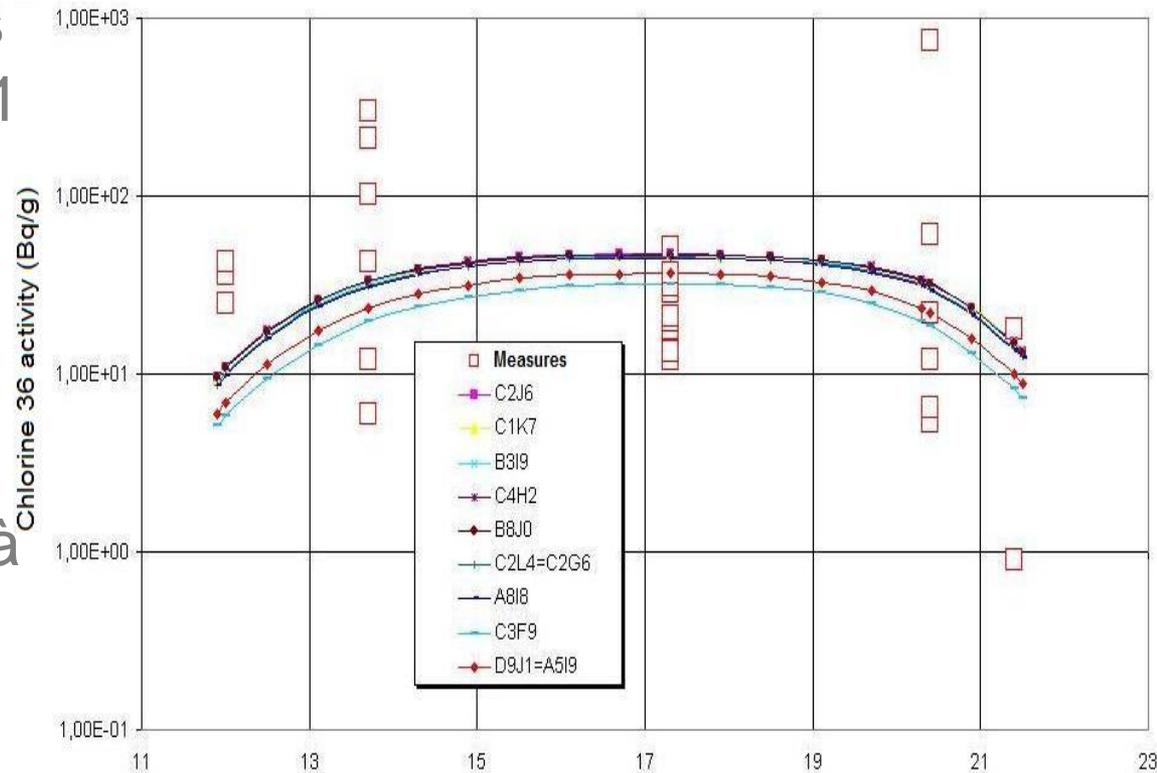


Empilement de Bugey 1 en perspective cavalière

MÉTHODE APPLIQUÉE AU ^{36}Cl DE BUGEY 1

- Ajustement de l'impureté Chlore à la valeur de **80 ppb** telle que, sur les carottes, calcul/mesure=1 en moyenne
- Avec l'impureté ajustée, calculs d'activation globaux
- Prises de marges liées à l'écart-type (inventaire majoré)

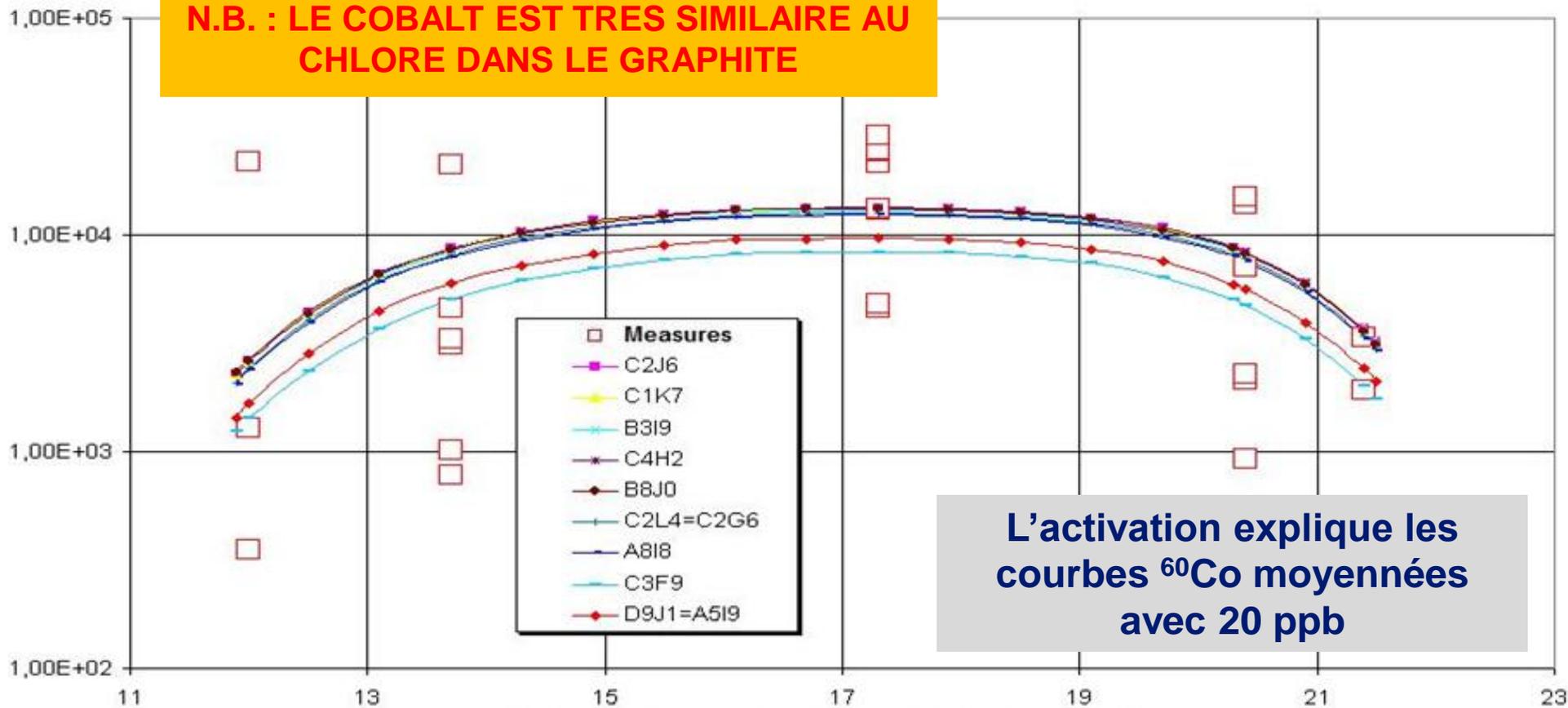
L'activation de ≈ 80 ppb de Cl explique les 11 courbes ^{36}Cl moyennées des 11 canaux carottés



Le chlore moyen est ajusté à ≈ 80 ppb, valeur non accessible à la mesure directe (et dont 20 ppb est devenu du ^{36}Cl !)

⁶⁰CO MESURÉS ET AJUSTÉS AVEC LES 11 CANAUX CORRESPONDANTS DE BUGEY 1 (IDEM CHLORE !!!)

N.B. : LE COBALT EST TRES SIMILAIRE AU CHLORE DANS LE GRAPHITE



y-axis: Bq/g of cobalt 60 versus x-axis: the height of the Bugey 1 graphite pile - Squares represent sample measurements compared to average calculated curves for the 11 corresponding sampled channels.

INVENTAIRES MAJORES DES GRAPHITES EDF (TBq)

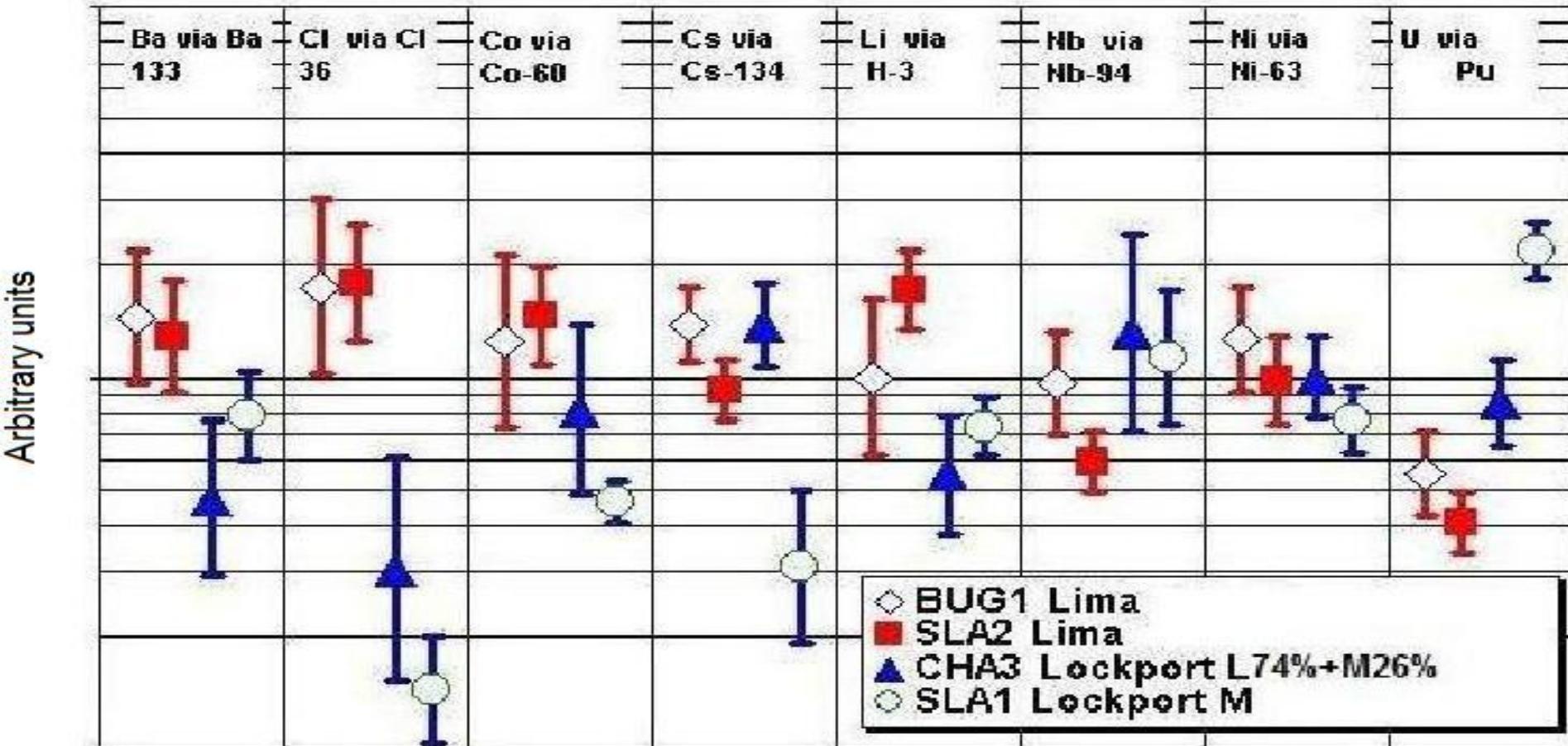
exemple de 8 RN sur les 144 RN dimensionnés par EDF :

Dimensionnement de 6 UNGG en TBq 2017								
RN	H-3	Be-10	C-14	Cl-36	Ca-41	Co-60	Ni-63	Cs-137
CHA1	12	0.015	20	0.004	0.03	0.2	14	0.02
CHA2	56	0.04	85	0.015	0.14	1.7	60	0.12
CHA3	82	0.047	101	0.018	0.17	2.8	72	0.07
SLA1	70	0.038	102	0.007	0.17	2.2	50	0.15
SLA2	217	0.047	187	0.092	0.2	9.7	84	0.12
BUG1	192	0.063	260	0.17	0.41	14.6	153	0.18
Empilements	629	0.25	755	0.306	1.12	31.2	433	0.66

Graphite des silos SLA fortement pénalisé (moins de mesures)

Tonne	RN	H-3	Be-10	C-14	Cl-36	Ca-41	Co-60	Ni-63	Cs-137
1900	SILOS	379	0.033	34	5	0.06	0.8	67	0.56

VALIDATION DE LA MÉTHODE : REDÉCOUVERTE DES COKES VIA HUIT IMPURETÉS AJUSTÉES



Uniquement à partir des mesures et calculs

FOCUS SUR L'INVENTAIRE ^{36}Cl DES EMPILEMENTS EDF

- Pour les empilements, il y a **0.3 TBq de ^{36}Cl** (soit pour information, **3/4 de la capacité du centre de surface CSFMA**)
- Résultat basé sur une méthode robuste, majorante et acceptée par l'ANDRA
- **Révision en baisse très sensible** par rapport au chiffrage simplifié (15 TBq) utilisé dans le dossier 2005.

