

PLUS VALUES APPORTEES PAR LA SPECTROMETRIE GAMMA CZT POUR LE DIAGNOSTIC DE LA CONTAMINATION DES CENTRALES REP

Alain Rocher¹, Patrice Fromont², David Gravelotte³

Electricité de France, ¹Unité d'Ingénierie d'Exploitation (93 - Saint Denis)

²Centrale nucléaire de Chinon (37) - ³Centrale nucléaire de Paluel (76)

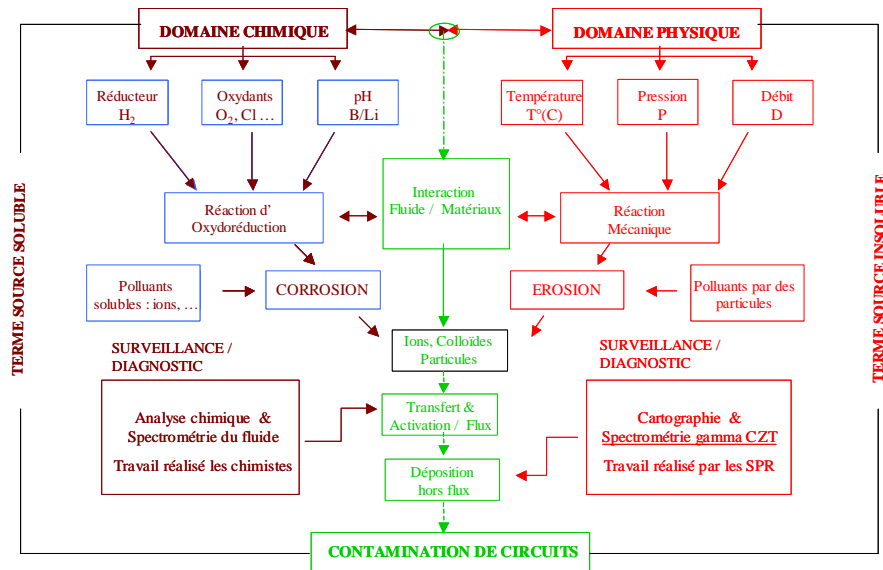
I – Rappel du contexte et du besoin d'un spectromètre gamma

L'ambition du Parc nucléaire EDF est d'amener les résultats en dosimétries individuelle et collective de l'ensemble des tranches à réacteurs à eau pressurisée au niveau des meilleurs exploitants internationaux. Dans le cadre du Projet ALARA, un plan d'actions de maîtrise du terme source visant à réduire la contamination normale et les surcontaminations incidentelles des circuits a été validé par la Direction de l'Entreprise.

Dès 2006, ce plan intègre une action classée prioritaire qui est la mise à disposition des services préventions des risques (SPR), d'un spectromètre gamma portable Cadmium-Zinc-Tellure (CZT) pour l'analyse des dépôts hors flux. Cet outil, simple et pratique, est un outil d'aide au diagnostic de contamination des circuits à l'usage des SPR, complémentaire à l'analyse de l'activité volumique du circuit primaire principal réalisée par les chimistes.

Le schéma ci-après illustre la stratégie de la surveillance radiologique des installations mise en place dans les centrales nucléaires à eau pressurisée pour limiter les contaminations.

Il rappelle le rôle complémentaire des chimistes et des SPR pour l'élaboration du diagnostic pertinent pour la maîtrise du terme source et la place du spectromètre gamma CZT dans cette analyse.



Nota : La résolution spectrale du détecteur CZT est supérieure au Nal et inférieure au Ge ultra pur, ce qui correspond aux besoins industriels.

II – Objectifs des mesures CZT réalisées sur les circuits en centrales nucléaires

Le premier objectif des mesures de spectrométrie gamma CZT à réaliser par les SPR est de permettre à chacune des centrales nucléaires du Parc :

- de caractériser la contribution des radioéléments aux débits d'équivalents de doses afin de mener des actions pertinentes vis-à-vis de la réduction des doses du personnel (radioprotection) ;
- d'élaborer un diagnostic de contamination « point zéro » (terme source) ;
- d'assurer un suivi de l'évolution de la contamination d'un cycle à l'autre ;
- d'identifier au plus tôt les polluants pénalisants vis-à-vis du risque de surcontamination.

Le second objectif est d'évaluer l'efficacité de remèdes pour l'assainissement.

Dès 2006, un système d'informations est mis en place avec un forum « spectromètre CZT à l'usage des SPR », ainsi qu'un réseau de partage d'expérience « PEX-CZT utilisateurs ».

III – Principales caractéristiques du spectromètre CZT à l'usage des SPR



Le spectromètre gamma CZT co-développé par CEA & EDF, commercialisé par Canberra et utilisé en centrales est composé de cinq éléments principaux :

- un jeu de 3 sondes CZT (Ritec) interchangeables de sensibilités différentes ;
- un câble entre la sonde et la partie chaîne électronique de mesure ;
- la chaîne électronique de mesure ;
- un PC portable ;
- un collimateur de sonde et son support trépied.

Les fonctions avancées de ce matériel permettent ainsi à l'opérateur de disposer en temps réel d'éléments indispensables à l'analyse des spectres, avec en particulier :

- l'acquisition, l'affichage et le stockage du spectre gamma en temps réel ;
- l'identification des 10 principaux radioéléments en centrale : Co58, Co60, Ag110m, Sb124, Sb122, Cr51, Fe59, Mn54, I131 et Cs137 ;
- le calcul de la contribution des radioéléments au débit de dose à l'extérieur des circuits, exprimé en % de Sv/h ;
- le calcul de la contribution des radioéléments aux dépôts hors flux à l'intérieur des circuits, exprimé en % de Bq,

Le schéma ci-après illustre le principe de la mesure avec le spectromètre gamma CZT pour l'analyse des doses qui conduit à 2 résultats : le % du ddd (SV/h) et/ou le % du dépôt (Bq).

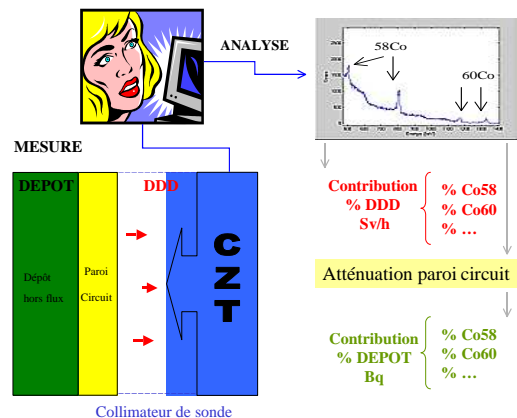
Ce matériel est fourni avec 3 sondes CZT interchangeables de sensibilités différentes :

- 60 mm³ : 0,5 mGy/h - 10 mGy/h ;
- 20 mm³ : 5 mGy/h - 100 mGy/h ;
- 5 mm³ : 20 mGy/h - 150 mGy/h.

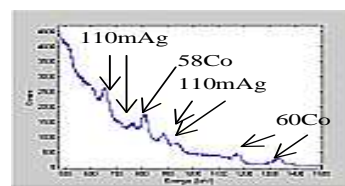
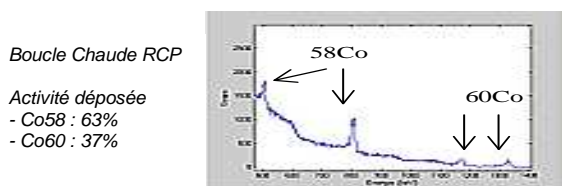
Il identifie les radioéléments gamma dans la gamme d'énergie 100 à 1800 keV pour des expositions allant de 0,5 à 150 mGy/h.

La résolution spectrale est d'environ 15 keV à 600 keV et 25 keV à 1300 keV.

Il faut prévoir environ 15 minutes pour l'acquisition d'un spectre avec une exposition de 1 mGy/h, sans collimateur de sonde.



A titre d'exemple, les spectres ci-après sont obtenus avec un capteur CZT sur une tuyauterie primaire CPP et un échangeur de température de circuit d'épuration RCV pollué par l'argent.



Echangeur RCV

Activité déposée :
- Co58 : 44%
- Co60 : 16%
- Ag110 : 40%

Le spectromètre gamma CZT permet l'identification de radioéléments en temps réel.

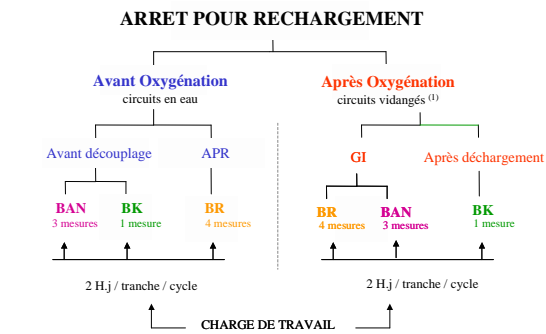
IV - Mesures réalisées avec le spectromètre gamma CZT en centrales nucléaires

Il s'agit d'analyser des spectres gamma émis par des sources radioactives présentes dans différents circuits et composants. L'application principale est la caractérisation des radioéléments ayant une activité supérieure à 5 % de l'activité de la source.

III.1 - Programme de mesures CZT systématiques réalisées en arrêt de tranche

Ce spectromètre CZT est capable de mesurer les spectres gamma émis par les sources ponctuelles, surfaciques ou volumiques.

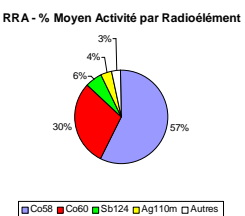
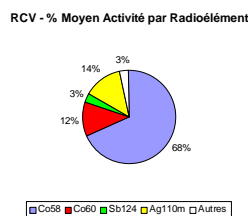
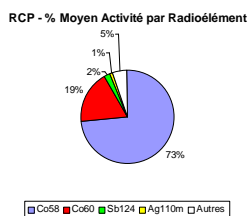
Le schéma ci-après représente le planning et la charge de travail pour les mesures CZT à réaliser par les SPR à chaque Arrêt Pour Rechargement dans le bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN), le bâtiment du combustible (BK) et le bâtiment du réacteur (BR) avant et après la phase d'oxygénation. L'objectif de ce programme est la caractérisation des dépôts du circuit principal RCP et des circuits auxiliaires.



⁽¹⁾ Si les circuits ne sont pas vidangés, les mesures seront réalisées après l'arrêt de la dernière GMPP

III.2 - Résultats typiques et attendus sur les circuits des centrales et critères de pollutions

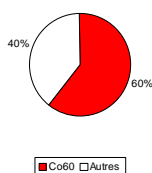
Pour le circuit primaire RCP et les circuits auxiliaires RCV et RRA, la caractérisation des dépôts (par le CEA avec une sonde Ge) conduit aux valeurs moyennes globales du Parc ci-après, considérés en première approche comme des valeurs attendues, hors pollution.



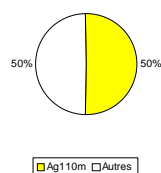
En fait, les valeurs obtenues d'une tranche à l'autre peuvent s'écarter très significativement des valeurs moyennes. Les résultats dépendent des paramètres de conception (matériaux, état de surface), d'exploitation (pH, redox, purification), et des pollutions incidentelles.

Lorsque le pourcentage en radioéléments des dépôts hors flux excède certaines valeurs, les tranches sont déclarées significativement surcontaminées. En première approche, on retient les trois critères de pollutions - points chauds, argent et antimoine - définis ci-après.

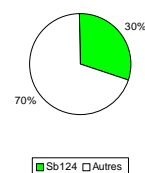
SURCONTAMANTION PAR LES POINTS CHAUDS
- SEUIL % ACTIVITE Co60 PRIS EN COMPTE -



SURCONTAMANTION PAR L'ARGENT
- SEUIL % ACTIVITE Ag110m PRIS EN COMPTE -



SURCONTAMANTION PAR L'ANTIMOINE
- SEUIL % ACTIVITE Sb124 PRIS EN COMPTE -









L'une quelconque de ces pollutions peut provenir de dégradation de matériels (stellite, grappe de contrôle, grappe source secondaire, ...), d'une mauvaise propreté de chantier, de dysfonctionnement de l'épuration ou encore d'une procédure de mise à l'arrêt mal adaptée.

V - Analyse et interprétation des résultats CZT obtenus en centrales nucléaires

Outre le suivi de l'état de contamination des tranches, le programme systématique de mesures CZT permet de définir les impacts de conditions optimisées d'exploitation et/ou de dysfonctionnements particuliers. Les exemples décrits ci-après provenant du premier retour d'expérience en centrales en sont une illustration concrète.

V.1 – Optimisation de la chimie du primaire et de la purification en phase d'exploitation

Les résultats obtenus sur deux centrales d'âge et de design équivalents, tranche A et tranche B, ont permis de montrer que les dépôts peuvent s'avérer différents, ce qui peut s'expliquer par des conditions d'exploitation différentes sur ces tranches.

Co58 Co60 Sb124	Boucle Chaude	Boucle Froide	Clapet RCP
TRANCHE A	 Ddd : 0,44 mSvh	 Ddd : 0,60 mSvh	 Ddd : 1,50 mSvh
TRANCHE B	 Ddd : 0,54 mSvh	 Ddd : 0,40 mSvh	 Ddd : 0,48 mSvh







Dans ce cas particulier, la centrale A fonctionne avec un pH primaire plus élevé et un circuit de purification à maille de filtre plus fine, ce qui peut expliquer en partie les écarts des teneurs en Co60 mesurées. L'analyse de ces écarts fait l'objet d'une réflexion globale au sein d'EDF pour optimiser les pratiques et réduire les doses sur l'ensemble du Parc.

V.2 – Dysfonctionnement – Contournement de la purification lors de l'arrêt d'un réacteur.

Le tableau ci-après met en évidence la recontamination par l'Ag110m des échangeurs du circuit RCV, sur une tranche 900 MW, tranche C, due au by-pass, avant la phase d'oxygénation, de la purification sur filtres et résines du circuit primaire pendant la mise à l'arrêt du réacteur.

La différence des spectres avant et après l'arrêt met en évidence une surcontamination sévère par l'argent 110m de l'échangeur de température du circuit auxiliaire de purification RCV.

On constate que la contamination des boucles du circuit primaire principal RCP n'est pas affectée par ce dysfonctionnement, ce qui confirme que l'Ag110m a une affinité particulière pour les échangeurs de température des auxiliaires.

Co58 Co60 Ag110m	Échangeur de Température RCV	Boucle Chaude RCP	Boucle Froide RCP
TRANCHE C AVANT ARRÊT	 Ddd : 1,0 mSv/h	 Ddd : 0,34 mSv/h	 Ddd : 0,50 mSv/h
TRANCHE C APRES ARRÊT	 Ddd : 0,42 mSv/h	 Ddd : 0,54 mSv/h	 Ddd : 0,40 mSv/h

VI – Conclusion

Depuis 2006, les centrales nucléaires EDF sont équipées de spectromètre gamma Cd-Zn-Te (CZT) pour l'analyse des dépôts des circuits hors flux à l'origine des doses.

Les spectres CZT obtenus par les services préventions des risques sont indispensables pour le diagnostic de contamination des circuits au même titre que les analyses de l'eau réalisées par la chimistes. Les premiers résultats obtenus en centrale montrent la pertinence de l'outil pour la compréhension des phénomènes de contamination, les investigations à mener pour la prévention, l'impact des dysfonctionnements vis-à-vis des surcontaminations (pollutions).

La mise en place d'une démarche d'optimisation de la maîtrise du terme source en centrale (chimie, purification, procédures et gammes d'intervention) passe nécessairement par une concertation effective de métiers de la chimie, de la radioprotection et de l'exploitation.