

RP Magazine

Des années passionnantes au service de la radioprotection des installations de physique¹ du CEA

1 - Années au Service de physique nucléaire (1948–1952)

Ce témoignage concerne des événements de radioprotection qui se sont manifestés au CEA et auxquels j'ai été associé. Cette liste est très partielle.

En octobre 1948, je suis entré au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), au Service de physique nucléaire dirigé par André Berthelot dont la rigueur scientifique m'est toujours apparue exemplaire.

Ma première intervention dans le domaine de la radioprotection n'a pas tardé à se manifester, dès le mois de novembre 1948, au cours de l'étude des émissions γ du brome-82 formé par irradiation de bromure d'éthylène disposé auprès de la cible du cyclotron du Collège de France, en utilisant la réaction n, γ sur le brome-81.

Porteur de lunettes avec des verres dits « *absorbants les rayonnements ultraviolets* », j'ai eu l'idée, simpliste, de placer le verre de lunette entre la source de brome-82 et le compteur Geiger-Müller (compteur GM).

J'ai eu la surprise de constater une augmentation du taux de comptage. Ayant retiré la source de brome-82, la radioactivité du verre de lunette était évidente. Cette radioactivité était liée à la présence d'uranium-238 qui après une désintégration α et une désintégration β conduit au protactinium-234 émetteur de particules β de 2,3 MeV dont le parcours dépasse nettement l'épaisseur du cristallin de l'œil.

Avec un port régulier de 10 h/j la dose subie pouvait approcher 10 cGy/an (centigrays par an).

La question se posait donc de savoir si un effet biologique était à craindre pour l'œil. J'ai pu trouver des publications des années 1904 à 1909 dans des revues françaises et allemandes qui mettaient en évidence l'induction de cataractes expérimentales chez l'animal jeune ou adulte. La Société des opticiens de Paris, informée par mon opticien, a été très étonnée d'apprendre que les fondeurs de verres de lunettes utilisaient des oxydes d'uranium. Ces oxydes permettaient en effet de réaliser toutes les nuances de couleurs souhaitées par le client.

Au sujet du brome-82, je dois signaler que, par suite de ma maladresse, le flacon de deux litres de bromure d'éthylène fraîchement irradié au cyclotron s'est brisé sur le sol ; j'ai été ainsi victime, en épongeant les débris, d'une importante contamination radioactive des mains. Le bromure d'éthylène est en effet bien fixé par la peau et le nettoyage à la brosse fut totalement inefficace. Il ne me restait plus qu'à attendre la décroissance radioactive totale du brome-82 de période 35 h, entraînant une exposition de quelques dixièmes de gray, compte tenu de l'activité en cause.

¹ Réacteurs, accélérateurs et laboratoires de physique.

RP Magazine

Par ailleurs, deux travailleurs auprès du cyclotron, ayant le même opticien que moi, furent informés du risque de cataracte induite par les rayonnements émis par le cyclotron et sa cible. Les examens ophtalmologiques pratiqués mirent en évidence des cataractes d'autant plus avancées que l'ancienneté du travail auprès du cyclotron était plus grande. Le plus exposé présentait, en outre, à l'avant-bras droit, une atrophie musculaire ainsi qu'une épilation.

En conclusion, grâce au brome-82 et d'autres expérimentations que j'ai menées pendant les quatre années que j'ai passées au Service de physique nucléaire, je me suis familiarisé avec :

- la connaissance des interactions des rayonnements avec la matière,
- la réalisation de compteurs Geiger-Muller et proportionnels adaptés aux expérimentations,
- les possibilités expérimentales offertes par les accélérateurs, les piles et les générateurs X.

2 - Mutation au Service de protection contre les radiations (1952)

En 1952, l'attention des Services médicaux a été attirée par trois cas de contamination ou irradiation de personnes au Centre d'études nucléaires de Saclay (CENS) qui ont montré l'urgente nécessité de mettre en place des dispositions actives de radioprotection :

- la présence d'uranium était régulièrement détectée dans les urines d'un ouvrier tourneur sur les barreaux d'uranium destinées à la pile à eau lourde EL2 (dénommée P2 par la suite),
- la détérioration inquiétante de la formule sanguine de deux physiciens expérimentant sur générateurs X,
- l'apparition d'une lésion cutanée à la poitrine d'un technicien sur générateur X.

En conséquence, en septembre 1952, Francis Perrin, Haut-commissaire à l'énergie atomique, demanda à André Berthelot de lui proposer l'un des physiciens de son service pour traiter des problèmes de radioprotection auprès des installations de physique du CEA.

Suite à cette demande, André Berthelot m'incita à rencontrer le Dr Henri Jammet, chef du service de protection contre les radiations (SPR) créé en 1951.

Étant, *a priori*, ouvert à cette proposition, j'ai rencontré le Dr Jammet qui m'a pleinement renseigné en me présentant le projet de RÉGLEMENT GÉNÉRAL SUR LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS, joint en annexe, dont la diffusion a été faite le 26 janvier 1953.

Sans attendre, je donnais ma réponse positive pour accepter la responsabilité du « Groupe Physique du SPR » pour la radioprotection des réacteurs, accélérateurs et laboratoires de physique du CEA.

Dès le 15 septembre, j'entrais dans la radioprotection active.

RP Magazine

Nota – Sur le plan des contrôles de radioprotection des installations du CEA, le SPR comportera aussi, parallèlement au Groupe physique, un Groupe pour la radioprotection des installations de chimie et un Groupe pour la radioprotection des exploitations minières.

3 – Activités du Groupe SPR - Physique au CENS (1952–1954)

3.1 - Premières interventions de radioprotection (sept. à déc. 1953)

Je m'attachais en premier lieu à traiter les trois cas d'exposition aux rayonnements mentionnés ci-dessus :

- la contamination interne par l'uranium résultait du tournage à sec de barreaux d'uranium métal, de 26 mm de diamètre, entraînant la production de poussières et de copeaux d'uranium pyrophoriques qui s'enflammaient souvent et jusque dans la poubelle ;
il suffisait de tourner les barres d'uranium, en mouillant d'huile soluble le parcours de l'outil sur le barreau d'uranium pour éviter l'inflammation ;
Pour supprimer les expositions par les générateurs X, entraînant des altérations de la formule sanguine, il a été procédé à la mise en place de caissons de protection comportant des microcontacts, tels que leur retrait entraîne l'arrêt du générateur X ;
- l'apparition d'une lésion cutanée sur la poitrine de l'opérateur sur générateur X résultait du fait que la mise en place des échantillons dans le faisceau de rayonnement, pour enregistrer la diffusion des rayonnements X, était effectuée, générateur en fonctionnement, l'opérateur recevant le faisceau X toujours sur le même endroit de la poitrine. Il suffisait de placer un écran de plomb de dimensions 200 × 200 × 3 mm, vissé sur le bâti du générateur pour intercepter le faisceau X. Un bref compte-rendu précisant les résultats de mesure de rayonnements dans le faisceau et la protection à mettre en place a été adressé au chef du service de technologie et à mon chef de service ;
le chef du laboratoire se refusait systématiquement à la mise en place de cette protection, arguant que les rayonnements X n'étaient pour rien dans les lésions constatées !

Chaque jour, j'essayais de le convaincre ; en vain, jusqu'au jour où, miracle, la protection demandée se trouva en place. M'informant auprès de la secrétaire du chef de service, celle-ci me répondit que Francis Perrin avait demandé ce qui avait été fait à la suite de mon rapport.

Une autre intervention de Francis Perrin pour appuyer la radioprotection, se manifesta peu de temps après. La note du 26 janvier 1953 précise que « **Le SPR doit avoir accès à tout instant, en tout lieu de travail** ». Sachant que la pile Zoé, première pile française à eau lourde, fonctionnait dans la journée à une puissance de 500 W à des fins de physique expérimentale et la nuit à 15 kW pour la production de radioisotopes, je suis venu à Zoé vers 1 heure du matin pour faire quelques mesures afin

RP Magazine

de mieux détecter les faiblesses éventuelles de la radioprotection de la pile. Ma cueillette fut assez bonne :

- étalonnage des chambres d'ionisation γ erroné, d'un facteur trois par défaut, du fait de la pression du gaz contenu, passée avec le temps de 3 à 1 bar, par manque d'étanchéité,
- emplacements des chambres d'ionisation, pour le contrôle de l'irradiation dans le hall, mal choisis car le rayonnement émis sur le dessus du bloc pile étant nettement plus important que celui émis par ses parois verticales, le débit de dose augmentait en s'éloignant du bloc pile, du fait de la diffusion du rayonnement dans l'air. Il était donc plus judicieux de placer ces détecteurs sur le mur du hall plutôt que sur les parois verticales du bloc pile, ...

Le lendemain matin, ayant reçu un bref appel téléphonique du cabinet du Haut-commissaire, je suis allé à Zoé pour connaître les dessous de cet appel : suivant son habitude, en arrivant le matin, le chef de service de la pile est venu examiner le cahier de bord au tableau de commande de la pile ; celui-ci mentionnait mon passage. Très mécontent, il appela le Haut-commissaire pour protester. Résultat : il me fut demandé de ne pas hésiter à renouveler ce type de contrôle inopiné.

3.2 - Démarrage de la pile P2

En novembre 1952 la pile P2 eut un premier fonctionnement durant 36 heures à basse puissance. Je mis ce fonctionnement à profit pour trois types de mesures :

1. Étanchéité du gainage des éléments combustibles.

Les éléments combustibles étaient disposés dans des tubes plongeurs immergés dans l'eau lourde de P2 et refroidis par de l'azote à une pression de 7 bars.

J'effectuais, sur le circuit de refroidissement, des prélèvements d'azote pour en mesurer la radioactivité éventuelle pouvant résulter d'un manque d'étanchéité du gainage de l'uranium des éléments combustibles.

Il a été constaté effectivement dans ces prélèvements la présence de gaz de fission, en particulier du xénon-133 ($T_{1/2}$ 5,3 j et β 0,35 MeV). Il a pu être établi que, du fait de l'énergie de fission (environ 200 MeV) et de la diffusion des nucléides de fission dans l'uranium, une partie du xénon-133, produit jusqu'à une profondeur de 3 μ m du métal, se retrouve normalement retenu entre l'uranium de l'élément combustible et son gainage. De plus, en cas de défaut d'étanchéité du gainage, le xénon-133 se répand dans l'azote du circuit de refroidissement et en outre s'il y a combustion d'uranium, la totalité des gaz de fission, occlus dans la masse d'uranium brûlé, est libéré dans le gaz de refroidissement.

L'activité de xénon-133, formé par watt de fission, est à l'équilibre radioactif de 185 MBq soit 185 MBq/g d'uranium si le réacteur fonctionne à une puissance de 1 W/g d'uranium. Il en résulte qu'en cas de combustion d'uranium il est possible, par la mesure de l'activité du xénon-133, de déterminer la quantité d'uranium brûlé.

RP Magazine

2. Débit de fluence de neutrons thermiques dans le cœur de la pile.

Cette détermination a été rendue possible, parce qu'il existait un espace d'environ 20 cm entre le dessus du bloc tubulaire de la pile et le dessous de la hotte d'extraction des éléments combustibles.

À l'occasion du premier retrait d'éléments combustibles pratiqué après un fonctionnement à basse puissance et d'une durée de 36 heures, j'ai pu approcher une chambre d'ionisation portable à une distance d'environ 20 cm de la portion visible de l'élément combustible et effectuer ainsi des mesures tous les 20 cm environ, le long des éléments combustibles en cours d'extraction. L'ensemble des mesures effectuées a ainsi fourni la répartition relative des fluences de neutrons thermiques dans le volume du cœur de la pile P2.

En même temps, j'ai pu penser aux améliorations possibles à apporter à la radioprotection de la hotte d'extraction.

3. Disposition de sécurité en cas de surpression dans la cuve d'eau lourde.

Cette cuve en aluminium d'environ 2 mm d'épaisseur, serait certainement l'objet d'une rupture s'il survenait un défaut important de l'étanchéité d'un tube plongeur parcouru par de l'azote à 7 bars pour refroidir l'uranium.

Pour éviter un tel accident, le concepteur du projet P2 a rendu possible, en pareil cas, l'évacuation de l'azote en surpression, grâce à la rupture de la membrane d'une soupape de sûreté (aluminium d'une épaisseur d'environ 30 mg/cm²).

Oui, mais ladite soupape envoyait l'azote en surpression, en l'occurrence chargé de produits de fission, tout simplement dans l'atmosphère du hall où se trouvaient le tableau de commande de la pile ainsi que les expérimentateurs.

Signalant ce danger au chef de la pile, je lui demandais d'installer un habillage de protection recueillant les gaz contaminés, les évacués vers le sous-sol ventilé dont l'air, après filtration, était rejeté par la cheminée d'évacuation à l'extérieur du bâtiment. Celui-ci me répondit que cet accident n'arriverait jamais. Alors, pourquoi cette soupape dite de sûreté ?

Le refus d'installer cette protection indispensable se renouvelant tous les jours, je lui ai adressé une note engageant sa responsabilité. Cette note fut rapidement suivie d'effet.

Par la suite, cette soupape s'est avérée fort utile ; l'accident dit hautement improbable s'est produit quelques années plus tard sans entraîner d'exposition aux rayonnements, grâce à la protection complémentaire mise en place.

4 - Radioprotection de la pile à graphite gaz G1 (1952–1956)

4.1 - Construction de la pile

La construction du réacteur G1, lancée en 1953 à Marcoule (Gard), marqua un tournant dans le fonctionnement du CEA et de la radioprotection.

RP Magazine

Si les piles Zoé et P2 ont été réalisées par les seuls services techniques du CEA, la construction des installations de Marcoule, a fait appel à l'industrie française, beaucoup plus qu'aux services techniques ou technologiques du CEA.

Le règlement général sur la protection contre les radiations entra pleinement dans une phase d'application :

- *Contrôle des rayonnements pour la radioprotection.*

En application de ce règlement, le directeur industriel, chargé de la construction des installations du Centre de Marcoule, m'a demandé de définir les grandes lignes pour la réalisation d'un tableau de contrôle des rayonnements, en précisant les sensibilités requises pour les appareils de détection des rayonnements auprès de la pile, ainsi que pour les rejets des effluents radioactifs par la cheminée et comportant des signalisations d'alarmes.

Rapidement, des ingénieurs de la Société alsacienne de constructions mécaniques (SACM) et du Service de construction de la pile G1 ont tenu avec moi des réunions périodiques pour l'étude des appareils nécessaires à la de détection des rayonnements : chambres d'ionisation d'un volume de 25 litres pour la détection du rayonnement γ , chambres d'ionisation différentielles $\beta \gamma$ avec des volumes de deux fois 12 litres pour la détection de la radioactivité des gaz (argon-41 et éventuellement gaz rares de fission), détecteurs à grande surface pour la détection des neutrons rapides et enfin détecteurs d'aérosols radioactifs.

Après l'élaboration des projets sur plan, la construction de prototypes pour essai a été réalisée avant le lancement des fabrications nécessaires.

Ces études ont été menées avec rapidité et avec des résultats très satisfaisants.

Cette réalisation, pour le contrôle des rayonnements auprès de la pile, avait été précédée par la construction de trois stations de contrôle de la radioactivité atmosphérique à :

- Codolet, à 3 km de Marcoule sous le vent le plus fréquent (Mistral),
- Villeneuve-lès-Avignon, dans les combles de l'Hôtel de Ville,
- et Mornas, près d'Orange, sur le toit d'un garage.

- *Conseils de radioprotection.*

Sur le plan de la mission de Conseil du SPR précisée dans la note du 26 janvier 1953, il est à signaler un appel du chef du Département de physique mathématique, pour que je vienne assister à un entretien en cours avec le chef de la direction industrielle du centre de Marcoule, afin de définir l'épaisseur du mur de béton de protection de la pile G1.

Sur le plan théorique c'était un problème difficile à l'époque et la prudence avait conduit le Département de physique mathématique à demander une épaisseur de 4 m de béton de masse volumique $3,5 \text{ g/cm}^3$. De son côté le directeur industriel considérait, en se référant aux réacteurs graphite gaz qu'il avait visités aux USA, qu'une épaisseur de 2 m devait être suffisante.

RP Magazine

La question m'était posée du choix à faire afin de parvenir à un débit de dose, contre le béton de la pile, de 75 $\mu\text{Gy/h}$ (7,5 mrad/h, limite appliquée à l'époque). *A priori*, je n'avais aucune idée sur la question. J'ai donc proposé d'entreprendre une recherche bibliographique.

Avec beaucoup de chance, j'ai trouvé la publication de résultats de mesures γ et neutrons dans l'épaisseur de l'écran de béton de la pile BEPO à Harwell (Grande Bretagne) qui comportait également un modérateur de graphite et un refroidissement par air. Après étude de ce document, qui m'a paru sérieux, j'ai interpolé ou extrapolé, compte tenu des différences de structure du cœur et du modérateur, ainsi que des caractéristiques, des deux réacteurs.

En conclusion de cette étude, j'ai formulé qu'une épaisseur de 2,5 m de béton, de masse volumique 3,5 g/cm^3 , pourrait convenir pour parvenir au débit de dose recherché de 75 $\mu\text{Gy/h}$ au contact de la protection de béton.

La protection de la pile G1 a été réalisée avec cette épaisseur de 2,5 m.

Quelques semaines après la mise en fonctionnement du réacteur, mon chef de service m'informa de l'insuffisance de la protection en place.

Je suis donc allé sur place pour faire les mesures nécessaires.

J'ai constaté :

- 1 - l'existence d'une fuite de rayonnement γ importante tout autour du réacteur, dans un même plan horizontal au-dessus du sol. Cette fuite était due au fait que, lors de la construction du réacteur, la coulée du béton de protection a été stoppée durant plusieurs jours par suite d'une grève, ce qui a provoqué une mauvaise jonction à la reprise de la coulée de béton,
- 2 - l'existence d'un faisceau de rayonnement, à l'extérieur du bâtiment G1 et à la hauteur du haut du réacteur. Ce faisceau de rayonnement résultait de l'absence d'un bouchon de fermeture d'un canal expérimental à la partie supérieure de la pile.

Après la mise en place d'une protection de plomb au niveau de la fuite horizontale tout autour du réacteur et après la mise en place du bouchon d'obturation du canal expérimental, les mesures ont été refaites. Il a alors été vérifié que le débit de dose au contact du béton était très voisin de 75 $\mu\text{Gy/h}$.

4.2 – Accident du vendredi 26 octobre 1956 – Accident et dosimétrie

Un chiffon, demeuré dans le canal 19-13 de la pile, a été vraisemblablement (?) la cause de l'accident : la rupture de gaine, par défaut de refroidissement, s'est produite à 18 h 45. Cette heure a été établie par la montée de radioactivité des gaz de fission dans la chambre d'ionisation différentielle disposée près de la cheminée pour contrôler le rejet de radioactivité dans l'environnement.

Cette mesure n'étant pas encore reportée au tableau de commande de la pile, la rupture de gaines n'a pas été connue immédiatement par le conducteur de pile.

La détection d'une rupture de gaine éventuelle était effectuée par l'exploration de la totalité des canaux de la pile, avec une périodicité de 45 min. Dans le cas présent

RP Magazine

la rupture de gaine a été connue avec un retard de 30 min ; délai pendant lequel l'incendie de l'uranium s'est développé.

Nous verrons qu'un retard notable s'est manifesté lors d'une rupture de gaine en 1957 à la pile EL3 de Saclay. Là aussi les détecteurs du SPR ont donné une alarme immédiate, bien avant les détecteurs de rupture de gaines associés au tableau de commande de la pile.

Pour le canal 19-13 de G1 la masse d'uranium brûlé a été déterminée par plusieurs méthodes :

- mesure de la radioactivité β du xénon-133 dans la chambre à circulation d'air disposée à la cheminée pour la mesure de la radioactivité des gaz, argon-41 et xénon-133, rejetée dans l'environnement,
- mesure de la radioactivité β du xénon-133 dans la chambre à circulation d'air disposée à la station de surveillance atmosphérique de Codolet. Cette station se trouvait dans le lit du vent au moment de l'accident,
- mesure, *a posteriori*, de l'activité des produits solides de fission déposés dans la canalisation de détection de rupture de gaine du canal en cause.

L'uranium a brûlé dans le canal 19-13 de la pile après un fonctionnement à une puissance d'environ 1 W/g d'uranium. À cette puissance, et compte tenu du programme antérieur de fonctionnement, chaque gramme d'uranium contenait, au moment de l'accident, une activité de 1,1 GBq (30 mCi) de xénon-133. La mesure de l'activité ayant traversé la chambre d'ionisation, à circulation de l'air rejeté par la cheminée, a permis de connaître la masse d'uranium brûlé.

Ces trois mesures ont conduit à une masse d'uranium brûlé de 5 ± 2 kg.

« L'autopsie » de l'élément combustible accidenté, effectuée plusieurs années plus tard, a vérifié ce résultat.

Pour ce qui concerne le risque d'irradiation pour l'environnement, associée à la contamination radioactive de l'air, l'enregistrement effectué à Codolet a conduit à une exposition très faible, environ le dixième de la concentration maximale admissible pour 1 h d'exposition.

Les filtres avant rejet à la cheminée, d'une très bonne efficacité, ont laissé passer environ 0,3 g d'uranium soit le dix millième de l'uranium brûlé.

Retrait de l'élément combustible accidenté

Cet élément de 3,7 m de long est constitué de 37 barreaux d'uranium de 1 kg (26 mm de diamètre et 100 mm de longueur). Il est gainé de magnésium d'environ 65 mm de diamètre hors tout. L'équivalent de 40 cm d'uranium de l'élément combustible avait donc été brûlé, sur une longueur importante, ainsi que le gainage en magnésium de l'élément combustible.

Pour effectuer l'extraction de l'élément combustible accidenté, j'ai préconisé, en vain, d'utiliser un tube creux d'environ 68 mm de diamètre intérieur avec l'extrémité avant taillée en dents de scie pour faciliter l'avancement dans le canal graphite de diamètre 70 mm et y récupérer les restes de l'élément combustible accidenté.

RP Magazine

Le chef de pile a considéré qu'il serait beaucoup plus rapide de pousser avec un ringard. Ayant utilisé des ringards de diamètres de plus en plus gros et en tapant toujours plus fort, la situation après 8 jours d'effort s'est trouvée particulièrement aggravée ; l'élément combustible était cette fois totalement bloqué dans le graphite.

La masse d'uranium en cause, avant incendie, contenait une activité d'environ 200 TBq.

La radioactivité, demeurant dans le canal après l'incendie, était donc vraisemblablement loin d'être négligeable.

En conséquence, les entrées et sorties des ringards successifs, de grandes longueurs (plus de 10 m), n'ont pas été faites sans entraîner une contamination notable du hall de la pile.

Dans cette situation, le chef du service de construction de pile, dès son retour au centre de Marcoule, est intervenu et a demandé la mise en application de la méthode que j'avais préconisée au début. Dans la journée l'élément combustible fut extrait et introduit dans un cercueil de béton qui demeurera stocké pendant plusieurs années avant examen.

Pourtant, cet examen était d'autant plus intéressant que certains avis avaient avancé une masse d'uranium brûlée de seulement quelques grammes. Je n'ai eu connaissance de ces avis que par « on dit », n'ayant pas été sollicité pour assister à la réunion tenue à Marcoule en présence de Francis Perrin en vue de discuter de cet accident.

Épilogue

Quelques années plus tard, le dernier chef de la pile G1 en fonction a eu enfin la curiosité, très méritante, de faire construire une cellule chaude afin de savoir dans quel état se trouvait l'élément combustible 19-13 toujours contenu dans son cercueil.

C'est lors d'une réunion de la Commission centrale de sûreté des installations atomiques (CSIA) qu'il a donné le résultat de son intervention, indiquant une valeur de 3 à 4 kg d'uranium brûlé et ajoutant : « À l'époque, un ingénieur du SPR avait donné cette valeur ».

J'étais présent pour entendre cette réconfortante nouvelle.

4.3 - Réchauffage Wigner sur les réacteurs graphite gaz

Le graphite du réacteur, irradié par les neutrons de fission, subit une modification de sa structure entraînant des contraintes mécaniques (effet Wigner) qui deviennent, à la longue, nuisibles à la bonne tenue mécanique du graphite.

Pour annuler ces contraintes, il est nécessaire de procéder périodiquement à des « réchauffages Wigner » en portant la température du graphite à une température supérieure à la température habituelle de fonctionnement du réacteur. Cette transformation est délicate car elle est exothermique.

À partir de 1956, il a été procédé à plusieurs réchauffages Wigner sur la pile G1. Ces réchauffages se sont effectués sans incident.

RP Magazine

Il n'en fut pas du tout de même pour le réchauffage effectué sur la pile n°1 de Windscale (Grande Bretagne) le 8 octobre 1957. En effet ce réchauffage Wigner, mal contrôlé, a déclenché un incendie dans 150 canaux de la pile durant plusieurs jours ; la température y a dépassé 1 200 °C. Après 2 jours d'effort les lances à eau eurent raison de cet incendie. 750 TBq d'iode-131 ont été rejetés et ont été détectés jusqu'à Paris, sur les filtres métalliques de l'usine Kodak de Vincennes.

Malgré ce qui est écrit dans le « livre blanc » britannique sur l'accident de Windscale, l'effet Wigner ne semble pas avoir été la cause première de l'accident. En effet, comme à Tchernobyl l'accident a commencé par une excursion de puissance. La validité de cette information est d'ailleurs confortée par un autre « livre blanc » qui énumère les raisons pour lesquelles l'accident de Windscale n'était pas susceptible de se produire sur les piles de Calder Hall (Grande Bretagne) et parmi ces raisons, il est cité : « parce que les dispositifs de sécurité sur la période de divergence (montée en puissance) sont beaucoup plus fiables ».

5 - Fusion partielle d'un élément combustible à la pile EL3 (1957)

Durant la période d'essai, avant la mise en fonctionnement définitive de la pile EL3 au CENS, il a été utilisé, à des fins expérimentales, un élément combustible spécial qui, de par sa conception, ne pouvait pas être refroidi par l'eau lourde comme les autres éléments combustibles. Il ne devait être utilisé que pour des essais à faible puissance.

Cependant le jour de la première montée en puissance à 15 MW le remplacement de cet élément combustible par un élément standard a été oublié.

Lors de la montée en puissance, les klaxons d'alarme reliés à la chambre d'ionisation du SPR, placée auprès des enceintes de recombinaison du deutérium de décomposition de l'eau lourde irradiée, ont été déclenchés et l'enregistrement au tableau de contrôle indiquait une montée rapide jusqu'à plus de 10 000 fois la valeur normale de rayonnement γ en ce lieu.

L'ingénieur du SPR à EL3 demanda l'arrêt immédiat du réacteur et l'évacuation du hall de la pile. Il lui fut répondu que le matériel du SPR était en situation de mauvais fonctionnement ! L'ingénieur du SPR lui montra alors l'indication du détecteur portatif babylog qui était à son maximum de lecture de 10 cGy/h.

Le chef de la pile EL3 déclencha l'arrêt du réacteur et l'évacuation du hall de la pile ; ce qui fut fait en quelques minutes.

L'évacuation étant quasiment terminée, les klaxons d'alarme de rupture de gaine, associés au tableau de commande de la pile, entraient en fonctionnement.

L'exposition du personnel (équipé de styloélectromètres) a été inférieure à 0,1 cGy.

À mon arrivée sur les lieux vers 2 h du matin, le Chef de la Pile m'indiqua qu'il avait fait évacuer tout le personnel et que c'était maintenant « au SPR de jouer ».

RP Magazine

Avec le chef de groupe du SPR pour la radioprotection des piles et le harnachement de rigueur nous sommes entrés tous les deux dans le hall pile pour faire en quelques minutes un prélèvement sur le circuit de refroidissement par l'eau lourde.

Après mesure de la radioactivité du prélèvement et son examen au microscope montrant la présence de particules métalliques, nous sommes arrivés à la conclusion qu'il y avait eu fusion d'environ 3 kg d'uranium et diffusion dans l'eau lourde.

Il a été souvent reproché au SPR d'installer ses propres détecteurs, considérés comme inutiles puisqu'il y a tout ce qu'il faut pour le contrôle permanent du réacteur sur le tableau de commande.

Cependant il faut reconnaître que, lorsque tout va bien, une minuscule rupture de gaine est détectée et parfaitement localisée, après un certain temps, par les détecteurs associés aux éléments combustibles. Mais en cas d'accident grave, ce dispositif présente le grave défaut d'effectuer des prélèvements d'eau lourde allant, pour leur mesure, du cœur de la pile, EL3 dans le cas présent, jusqu'au troisième sous-sol du bâtiment par des canalisations de petit diamètre, d'où un délai de plusieurs minutes entre la rupture de gaine et le déclenchement de l'alarme.

Par contre, les détecteurs du SPR ont l'avantage de déclencher immédiatement l'alarme par ses détecteurs d'ambiance ou de contrôle de rejet des effluents et cette rapidité est nécessaire afin de pouvoir prendre les mesures de radioprotection pour le personnel de l'installation ainsi que pour l'environnement, sans aucune perte de temps.

6 – Accident sur le réacteur de recherche ALIZE (1959)

Le réacteur de recherche Alizé, eau lourde et uranium naturel, était disposé dans une fosse, *sans couverture de protection*, située dans le bâtiment dit « hall d'essai » du CENS.

Les appareils électroniques de commande étaient situés au plus près du bord de la fosse.

J'estimais cette situation, dangereuse pour les expérimentateurs et les personnes du SPR en cas d'excursion de puissance, comme celle qui s'est produite à Vinça (Yougoslavie) le 15 octobre 1958, à la suite d'une montée excessive d'eau lourde due à une fuite sur une vanne. L'excursion de puissance de quelques 10^{19} fissions a entraîné une exposition mortelle et cinq autres expositions graves qui ont nécessité une prise en charge par l'Institut Curie avec greffes de moelle osseuse, greffes qui se sont avérés efficaces.

Pour éviter un tel accident, j'ai demandé au chef du département des études de piles, avec insistance, la mise en place de la protection nécessaire pour la couverture de la fosse Alizé.

Une protection fer et eau a été mise en place. Alizé n'était plus un réacteur expérimental non protégé, et heureusement. En effet, quelques mois plus tard, à la suite d'une erreur de l'expérimentateur, Alizé était l'objet d'une excursion de puissance aussi importante que celle de Vinça.

RP Magazine

Quatre personnes, dont deux du SPR, étaient présentes à une distance de 2 à 3 m du cœur, pendant l'excursion de puissance. La présence de la couverture de protection complémentaire a limité l'exposition de ces personnes à environ 2 cGy. En son absence, elle aurait été très supérieure à celle des expérimentateurs de Vinça du fait des distances beaucoup plus faibles dans le cas d'Alizé.

Le conducteur de ce réacteur de recherche avait pourtant bénéficié d'une formation scientifique poussée, complétée par un séjour de 6 mois aux USA dans le domaine de la sûreté des réacteurs !

À cette erreur humaine, il a été associé à une autre erreur humaine, celle-ci de la part du SPR qui, le même jour a procédé, malencontreusement, à un déplacement des détecteurs de contrôle sans prendre la précaution de conserver au moins un détecteur permanent en secours.

Henri JOFFRE

Responsable du groupe de radioprotection des installations de physique du CEA (1952-1959) – Chef de la section puis du service de protection contre les radiations du CEN de Saclay (1960-1979) – Vice-président de la commission de radioprotection du CEA (1980-1983)