

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE*Faire avancer la sûreté nucléaire*

Mesures comparatives réalisées par l'IRSN, l'ACRO et la CRIIRAD sur quelques points d'une casemate du site du fort de Vaujours (77)

PRP-CRI/SIAR n° 2014 - 00163

Pôle radioprotection, environnement, déchets
et crise

Service d'Intervention et d'Assistance en Radioprotection

Sommaire

1 OBJET	4
2 HISTORIQUE DU SITE	4
3 ZONES CONCERNEES PAR LE CONTROLE	5
4 ELEMENTS RADIOACTIFS ATTENDUS	5
5 MESURES A REALISER	6
5.1 MESURES DE DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE	6
5.1.1 Généralités	6
5.1.2 Cas du RADEX	7
5.2 MESURES DE RAYONNEMENTS BETA	7
5.3 MATERIELS UTILISES PAR L'IRSN	7
6 PROTOCOLE DE MESURE	8
6.1 PROTOCOLE PREVU	8
6.2 PROTOCOLE MIS EN ŒUVRE	8
7 DEROULEMENT DES MESURES	9
7.1 BRUIT DE FOND	9
7.2 POINTS DE REFERENCE : SELECTION ET MESURES.....	9
7.3 MESURES SUR « CEA1 », « PC4 » ET « PC5 »	10
8 ANALYSES DES RESULTATS	11
8.1 POINT « CEA1 » ET POINT HORS PROTOCOLE	11
8.1.1 Mesure du débit d'équivalent de dose ambiant	11
8.1.2 mesures au pseudo-contact	11
8.1.3 Mesures du rayonnement bêta	12
8.2 POINTS « PC4 » ET « PC5 »	12
8.2.1 Mesure du débit d'équivalent de dose ambiant	12
8.2.2 mesures au pseudo-contact	12
8.2.3 Mesures du rayonnement bêta	12
8.3 BILAN	12
9 EXPERTISE DU « FRAGMENT »	13
9.1 DESCRIPTION DU « FRAGMENT »	13
9.2 MESURES DE RAYONNEMENTS	13
9.3 CARACTERISATION DE LA RADIOACTIVITE	14
9.3.1 Méthode.....	14
9.3.2 Résultat	14
10 DISCUSSION SUR LES MESURES	15
11 SYNTHESE DE L'EXERCICE DE MESURES	16

1 OBJET

En 2011, l'association « Les Abbesses de Gagny-Chelles » indique avoir mesurée sur le site du fort de Vaujours, dans la casemate TC1, une valeur de 3,3 $\mu\text{Sv/h}$, *a priori* au contact, avec un appareil de type RADEX.

Pour répondre à la polémique suscitée par le résultat de cette mesure, l'ASN a demandé, par saisines référencées CODEP-PRS-2014-007045 du 13 février 2014 et CODEP-PRS-2014-010317 du 10 mars 2014, à l'IRSN d'établir un protocole de mesures et de le mettre en œuvre concomitamment avec l'ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest). Cet exercice de mesure concerne trois points situés dans la casemate TC1.

Le protocole technique, proposé par l'IRSN et validé par l'ASN avant le début de l'intervention, a pour objet de décrire les mesures à mettre en œuvre *in situ* et la manière dont celles-ci doivent être réalisées de façon à ce que les résultats obtenus par les différents protagonistes puissent être comparés. *In fine*, le protocole a été construit pour corroborer la mesure réalisée par l'association précitée.

Il convient de préciser que l'exercice de mesures réalisé sur quelques points ponctuels du site de Vaujours ne vise pas à statuer sur l'absence de pollution par de l'uranium ou sur le risque encouru par les travailleurs.

Lors de l'intervention du 25 février 2014, la CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la RADioactivité) s'est jointe à l'IRSN et l'ACRO pour réaliser des mesures radiologiques comparatives.

Le présent document restitue les mesures réalisées par l'ensemble des participants (IRSN, ACRO et CRIIRAD) et apporte un éclairage sur le point de mesure à l'origine des polémiques.

2 HISTORIQUE DU SITE

Le fort de Vaujours a été utilisé comme dépôt de munitions par l'armée allemande entre 1940 et 1944, ensuite comme site d'essais pyrotechniques par la Poudrerie Nationale de Sevran et enfin de 1955 à 1997 comme site d'essai par la Direction des applications militaires du Commissariat à l'Energie Atomique pour réaliser des expérimentations d'édifices pyrotechniques qui ont porté sur l'étude des explosifs et du comportement dynamique de matériaux sous choc, notamment d'uranium naturel ou appauvri.

Le processus d'abandon de site a débuté en 1998 avec le dépôt par le CEA d'un dossier d'abandon des activités auprès de la Préfecture de Seine-et-Marne¹. L'instruction du dossier a donné lieu à deux enquêtes publiques l'une en mai/juin 2000 et l'autre en juin/juillet 2004 qui a été finalisée par un arrêté inter-préfectoral, publié en 2005, qui instaure des servitudes d'utilité publique sur l'utilisation des sols et du sous-sol ainsi que sur l'exécution de certains travaux, tels que les travaux de terrassement, d'excavation ou d'intervention sous la surface du sol, eu égard à la présence éventuelle d'une radioactivité résiduelle autre que naturelle. D'autres servitudes sont liées à la présence éventuelle de munitions anciennes ou de particules explosives.

Un projet d'exploitation des terrains en carrière de gypse sur l'emprise de cet ancien fort, situé à cheval sur les départements de Seine-Saint-Denis et de Seine-et-Marne, est porté par la société Placoplâtre.

¹ Pour mémoire, le site a fait l'objet de travaux d'assainissement menés par le CEA conformément aux critères radiologiques définis par la Direction Générale de la Santé (note référencée DGS/V55 n° 98035 du 20/01/1998).

3 ZONES CONCERNEES PAR LE CONTROLE

Les trois zones, référencées « CEA1 », « PC4 » et « PC5 », faisant l'objet de la demande de mesure se trouvent dans le couloir d'accès à la chambre de tir TC1, casemate située dans le fort central.

Le point « CEA1 » correspond à une cavité située dans l'angle constitué par le mur du fond du couloir d'accès et celui situé à la gauche du couloir lorsque l'on pénètre dans ce dernier. Cette cavité a vraisemblablement été créée lors des travaux d'assainissement.

Le point « PC4 » est situé à environ 2 m du sol dans le même plan vertical que le point « CEA1 ».

Le point « PC5 » correspond à une zone excavée, située au sol au droit d'une cavité carrée encadrée par un châssis métallique, présente sur le mur du fond du couloir. L'excavation est vraisemblablement consécutive aux travaux d'assainissement. Dans cette zone est également inclus le débouché d'un tuyau métallique encastré dans le mur du fond du couloir.

La localisation et l'illustration de ces points figurent en annexe 1.

4 ELEMENTS RADIOACTIFS ATTENDUS

L'uranium utilisé pour les essais de tirs était de l'uranium naturel et de l'uranium appauvri.

Qu'il soit naturel ou appauvri, l'uranium émet les mêmes types de rayonnements, seule leur proportion diffère.

Les éléments radioactifs attendus sont donc :

- pour l'uranium 238 (à l'équilibre avec ses premiers descendants) : uranium 238, thorium 234, protactinium 234 métastable ;
- pour l'uranium 235 (à l'équilibre avec son premier descendant) : uranium 235 et thorium 231 ;
- pour l'uranium 234 : uranium 234.

Le tableau ci-dessous présente les principales énergies des différents rayonnements associés aux radionucléides concernés qui sont susceptibles d'être détectés.

	Emission gamma (énergie et intensité)	Emission bêta (énergie max et intensité)	Emission alpha (énergie et intensité)
Famille de l'uranium 238			
²³⁸ U	15,31 keV - 7,9 %	-	4 151 keV - 22,3 % 4 198 keV - 77,5 %
²³⁴ Th	63,28 keV - 4,8 %	198,5 keV - 70,3 %	-
^{234m} Pa	1 001,03 keV - 0,8 %	2 269 keV - 97,5 %	-
Famille de l'uranium 235			
²³⁵ U	143,76 keV - 10,96 % 185,72 keV - 57,2 %	-	4 366,1 keV - 17 % 4 397,8 keV - 55 %
²³¹ Th	25,64 keV - 14,1 % 84,21 % - 6,6 %	288,1 keV - 40 % 305,3 keV - 33 %	-
Uranium 234			
²³⁴ U	53,20 keV - 0,1 %	-	4 774,6 keV - 71,4 %

5 MESURES A REALISER

Les mesures, demandées dans le cadre de la saisine ASN, sont des mesures de débit d'équivalent de dose gamma et des mesures de rayonnements bêta-gamma. Par « débit d'équivalent de dose gamma », il faut comprendre « débit d'équivalent de dose ambiant ».

Ces deux types de mesures n'ayant pas le même objectif, les paragraphes 5.1 et 5.2 ci-dessous explicitent les raisons de ces différences.

Compte tenu de la nature des supports (béton et pierre présentant des surfaces poreuses), et du faible parcours des alpha dans l'air, la mesure du rayonnement alpha n'est pas pertinente dans le cadre de cet exercice de mesures.

5.1 MESURES DE DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE

5.1.1 GENERALITES

Le débit d'équivalent de dose est une grandeur opérationnelle mesurable utilisée dans le domaine de la radioprotection pour estimer le niveau d'exposition externe aux rayonnements ionisants d'un individu placé non loin de la source. Cette grandeur est généralement un estimateur majorant des grandeurs de protection tel que la dose efficace qui sont non mesurables mais sur lesquelles reposent les limites réglementaires.

Les appareils de radioprotection de terrain mesurent le débit d'équivalent de dose ambiant sous une profondeur d'équivalent tissu de 10 mm. Cette grandeur est notée $\dot{H}^*(10)$. Elle s'applique plus spécifiquement aux rayonnements fortement pénétrants tels que les rayonnements gamma.

Pour qu'une mesure de débit d'équivalent de dose ambiant puisse être utilisée comme un estimateur du niveau d'exposition d'un individu, celle-ci doit, en règle générale, être réalisée à une distance de quelques dizaines de cm (en pratique entre 50 et 70 cm) de la source d'exposition, distance considérée comme représentative de l'exposition corps entier pour un individu adulte.

Lorsqu'une mesure est réalisée au contact, elle ne peut plus être considérée comme un estimateur du débit d'équivalent de dose ambiant dans la mesure où les conditions physiques du champ de rayonnements dans lequel se trouve l'appareil de mesure ne sont pas celles requises par l'ICRU (International Commission on Radiation Units). Une mesure au contact ne peut donc en aucun cas être employée pour évaluer le niveau d'exposition externe d'un individu au niveau du corps entier. Toutefois, une telle mesure permet de détecter la présence de radioactivité si celle-ci est en quantité suffisante pour être mesurable.

5.1.2 CAS DU RADEX

Le RADEX est un appareil qui permet de mesurer le débit d'équivalent de dose ambiant mais qui, d'après les informations figurant dans sa notice, détecte également les rayonnements bêta. Lorsque le RADEX mesure les rayonnements bêta, l'information affichée reste du débit d'équivalent de dose ambiant ($\dot{H}^*(10)$). Or, pour ce type de rayonnement, faiblement pénétrant dans la matière, la grandeur qui devrait être mesurée est le débit d'équivalent de dose personnel mesuré sous 7 mg/cm² d'équivalent tissu appelé $\dot{H}_p(0,07)$. En conséquence, lorsque l'appareil mesure du rayonnement bêta, l'information donnée par celui-ci est erronée au regard de la grandeur mesurée $\dot{H}^*(10)$.

5.2 MESURES DE RAYONNEMENTS BETA

On appelle mesure de rayonnements bêta, une mesure réalisée avec une sonde spécifique permettant de mesurer les rayonnements bêta. La particularité de ce type de sonde est qu'elle mesure également les rayonnements gamma. Pour discriminer les deux types de rayonnement, en pratique, il est interposé un écran adapté (quelques mm de plexiglas par exemple). Ce dernier permet de s'affranchir du rayonnement bêta et alors de ne mesurer que le rayonnement gamma.

La mesure de rayonnements bêta est une mesure de dénombrement de rayonnements (coups/seconde), généralement employée pour rechercher la présence, en faible quantité (quelques Becquerels), d'un radioélément émetteur de rayonnements bêta déposée sur une surface.

Ce type de mesure est réalisé au contact du point à contrôler.

5.3 MATERIELS UTILISES PAR L'IRSN

Pour réaliser des mesures de débit d'équivalent de dose ambiant, l'IRSN a employé une « sonde bas flux » (ensemble constitué par un Ad6 et un Adb) qui permet de mesurer des niveaux de quelques dizaines de nSv/h pour une gamme d'énergie très large couvrant la grande majorité des émetteurs gamma attendus.

Par ailleurs, en complément, un appareil de type RADEX a également été choisi afin de disposer d'une mesure comparable (avec le même type d'équipement) à celle de l'association citée au paragraphe 1.

S'agissant de la mesure du rayonnement bêta, un MIP 21 associé à une sonde SB70-2 spécifique pour la mesure du rayonnement bêta a été choisi. Cet équipement mesure le rayonnement bêta d'énergie supérieure à 30 keV mais reste sensible aux rayonnements gamma.

A titre indicatif, une mesure avec la sonde bas flux de l'ordre de 100 nSv/h, en plus du bruit de fond, au pseudo-contact² d'une source ponctuelle constituée par les premiers descendants des familles naturelles de l'uranium, correspond à une activité estimée à 5 000 Bq en ²³⁸U.

De même, une mesure avec le RADEX de l'ordre de 100 nSv/h, en plus du bruit de fond, au pseudo-contact d'une source ponctuelle constituée par les premiers descendants des familles naturelles de l'uranium, correspond à une activité estimée à 2 000 Bq en ²³⁸U.

² En réalité le calcul est effectué à 4 cm de la source car pour la sonde bas flux, le point de référence du détecteur pour la mesure est situé à 4 cm de la surface extérieure de l'équipement.

La liste des équipements utilisés dans le cadre de l'exercice de mesures est reportée en annexe 2. Figure également dans cette annexe la liste des équipements utilisés par l'ACRO et par la CRIIRAD.

6 PROTOCOLE DE MESURE

6.1 PROTOCOLE PREVU

Le protocole de mesure prévu avant l'intervention est détaillé dans le document PRP-CRI/SIAR 14-00093.

Pour rappel, le protocole technique prévoyait la réalisation des étapes suivantes :

- mesure du bruit de fond pour l'ensemble des équipements de mesure,
- sélection de points de référence pour mettre en perspective les résultats des mesures pratiquées sur les zones à contrôler,
- des mesures au pseudo-contact, à 20 cm et à 50 cm sur les points de référence,
- mesures de débit d'équivalent de dose ambiant sur les points « CEA1 », « PC4 » et « PC5 »,
- si l'une des mesures précédente est supérieure de 30 % à celle relevée sur le point de référence ou si un écart significatif (différence de 50 %) est constaté entre 2 équipements de mesure, alors les mesures complémentaires suivantes sont pratiquées :
 - mesure du rayonnement bêta avec une sonde au plus proche du point à contrôler,
 - mesure avec la même sonde derrière un écran de plexiglas d'environ 9 mm d'épaisseur (pour s'affranchir du rayonnement bêta).

6.2 PROTOCOLE MIS EN ŒUVRE

Le jour de l'intervention, sur demande de la CRIIRAD, et en accord avec l'ASN, le protocole a été modifié *in situ*. Par ailleurs, compte tenu du déroulement de l'intervention ainsi modifié, il n'a pas été possible de conduire le protocole tel que défini jusqu'à son terme, en particulier pour des raisons de temps disponible.

Les étapes déroulées lors de l'intervention par l'ensemble des participants sont rappelées ci-dessous :

- mesure du bruit de fond à l'entrée du couloir d'accès à la casemate,
- sélection de 2 équipements de mesure par entité,
- sélection collégiale de points de référence,
- réalisation de mesures avec les appareils sélectionnés sur les points de référence,
- réalisation de mesures avec les appareils sélectionnés sur les zones concernées par le contrôle.

Les équipements sélectionnés par chaque participant sont listés dans le tableau ci-dessous.

	Equipements sélectionnés
IRSN	Ensemble Ad6 + Adb et RADEX
ACRO	MCB2 et ensemble FH40GL10 + FHZ672E
CRIIRAD	MCB2 et RADEX

Le nombre d'équipements a été limité à deux par entité compte tenu du temps disponible pour la réalisation des mesures et il a été acté que chaque entité retienne un équipement de même type que l'un des deux autres participants. Ce dernier point explique pourquoi ont été utilisés deux RADEX, deux MCB2 et deux équipements équivalents pour la mesure du débit d'équivalent de dose ambiant.

Selon le protocole établi initialement, la mesure avec des équipements autres que ceux permettant de mesurer un débit d'équivalent de dose devait intervenir dans un second temps. Toutefois, la CRIIRAD a décidé de mettre en œuvre, dès le début de l'exercice de mesures, l'appareil MCB2 qui permet d'identifier la présence de rayonnements alpha-bêta-gamma. Le déroulement tel que prévu dans le protocole n'a donc pas été respecté.

Compte tenu des considérations précédentes et du temps disponible pour la réalisation des mesures, l'équipement de mesure du rayonnement bêta de l'IRSN n'a pas été mis en œuvre *in situ*.

7 DEROULEMENT DES MESURES

Les mesures se sont déroulées le 25 février 2014 entre 15 h 40 et 18 h.

Les recommandations formulées dans le protocole initial sur la façon de réaliser les mesures (temps d'acquisition, relevé de la valeur ...) ont globalement été respectées.

Il convient de rappeler que, pour toutes les mesures présentées dans la suite du document, une incertitude d'au moins 20 % doit être considérée.

L'ensemble des résultats des mesures pratiquées est consigné en annexe 3. Ces résultats ont été validés par les différents intervenants de la mesure.

7.1 BRUIT DE FOND

Pour chaque équipement de mesure utilisé, un relevé du bruit de fond a été réalisé à l'entrée du couloir d'accès à la casemate TC1 à environ 1 m du sol (cf. annexe 1). Cette mesure, réalisée à l'écart de toute radioactivité ajoutée, permet de noter le niveau de radioactivité naturelle présent localement.

7.2 POINTS DE REFERENCE : SELECTION ET MESURES

Les points de référence sont des points sur lesquels aucune radioactivité ajoutée n'est présente mais qui ont une configuration, en termes de géométrie (surface plane ou anguleuse) et de nature de matériau, comparable à celle des points à contrôler. Sachant que les matériaux peuvent contenir de la radioactivité naturelle, la comparaison entre une mesure sur un point de référence et une mesure sur un point à contrôler permet de s'affranchir de la radioactivité présente dans les matériaux de construction.

Les points de référence ont été retenus et validés par l'ensemble des participants.

Les points « CEA1 » et « PC4 » étant situés dans un angle, deux points de référence ont été également pris dans un angle sur des matériaux de nature identique.

Le troisième point de référence a été choisi au sol à proximité du point « PC5 ».

La localisation de ces points de référence est reportée sur le plan et l'illustration en annexe 1.

Les mesures réalisées sur ces points de référence sont des mesures au pseudo-contact avec les équipements énumérés au paragraphe 6.2.

7.3 MESURES SUR « CEA1 », « PC4 » ET « PC5 »

Sur le point « CEA1 », des mesures avec les mêmes équipements qu'évoqués précédemment ont été réalisées au pseudo-contact puis à 20 et 50 cm, comme prévu dans le protocole initial.

Après que les mesures aient été réalisées sur le point « CEA1 » par les participants avec l'ensemble des équipements sélectionnés, la CRIIRAD a réalisé une nouvelle série de mesures au MCB2 au pseudo-contact de ce même point et a signalé qu'elle ne retrouvait pas les mêmes résultats que précédemment. Elle a alors procédé à des mesures au niveau du sol au droit du point « CEA1 » et identifié un « fragment » à l'origine de mesures significatives au MCB2. L'ACRO a confirmé qu'un « fragment » était présent au sol à l'aide du contaminamètre LB124 de grande surface (170 cm²).

Le « fragment » a été conditionné dans une boîte de Petri. En accord avec l'ASN et l'ensemble des participants, l'échantillon a été récupéré par l'IRSN pour être analysé en laboratoire. Il est prévu qu'une analyse contradictoire soit ensuite réalisée par l'ACRO et la CRIIRAD.

Sur les points « PC4 » et « PC5 », seules des mesures au pseudo-contact ont été réalisées, compte tenu du fait que les résultats sont comparables à ceux relevés sur les points de référence.

Hors protocole, la CRIIRAD a réalisé une mesure supplémentaire au contact en dehors de la zone qui délimite le point « PC4 » et a mis en évidence un point présentant une mesure au MCB2 supérieure aux valeurs relevées sur les points de référence. Ce point est situé à environ 20 cm en dessous du point « PC4 ». Les résultats de ces mesures complémentaires figurent en annexe 3.

8 ANALYSES DES RESULTATS

8.1 POINT « CEA1 » ET POINT HORS PROTOCOLE

8.1.1 MESURE DU DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE AMBIANT

Pour les mesures réalisées à distance (20 et 50 cm), seules mesures représentatives du débit d'équivalent de dose ambiant, on peut noter que les valeurs relevées sont comparables à celles du bruit de fond. Seule la valeur à 20 cm pour l'un des deux RADEX est supérieure d'un facteur 2 à celle du bruit de fond. Dans la mesure où les valeurs relevées avec les MCB2, appareil plus sensible que le RADEX, à 20 cm ne révèlent pas la présence d'un niveau de rayonnement supérieur au bruit de fond, cette valeur n'est pas retenue comme un indicateur de présence de radioactivité ajoutée.

8.1.2 MESURES AU PSEUDO-CONTACT

Les résultats des mesures pratiquées, au pseudo-contact du point « CEA1 » et du point hors protocole, avec les ensembles Ad6 + Adb (IRSN) et FH40GL10 + FHZ672E (ACRO), appelés « sondes bas flux » par la suite, sont comparables à ceux obtenus sur les points de référence, et affichent des valeurs de l'ordre de 40 à 60 nSv/h avec les deux équipements.

Les valeurs mesurées au pseudo-contact avec les RADEX (IRSN et CRIIRAD) sur le point « CEA1 » et le point hors protocole sont supérieures à celles relevées sur les points de référence. Ces valeurs comprises entre 740 et 1 520 nSv/h révèlent la présence d'une radioactivité ajoutée à celle naturellement présente.

Il convient de préciser que les appareils RADEX ont été positionnés à l'intérieur de la cavité matérialisant le point « CEA1 », sans qu'il soit possible de savoir si la face avant de l'équipement était orientée vers le point à mesurer. Une explication sur l'influence du positionnement de l'appareil sur la mesure est apportée au paragraphe 10.

En comparant les résultats des mesures pour l'ensemble des équipements, hors MCB2, il est noté un écart significatif (de plus d'un facteur 10) entre les résultats obtenus avec les sondes bas flux (IRSN et ACRO) et ceux obtenus avec les RADEX (IRSN et CRIIRAD) sur le point « CEA1 ». Au-delà de la différence de géométrie des détecteurs et donc des conditions de mesure qui diffèrent, cet écart peut être lié à la présence d'un rayonnement bêta, détectable avec le RADEX dans une certaine configuration, et non mesurable par les sondes bas flux.

Afin de confirmer cette hypothèse, un écran de plexiglas (polyméthacrylate de méthyle) de 9 mm d'épaisseur³, destiné à s'affranchir du rayonnement bêta, a été disposé entre la source et le RADEX (IRSN). Une diminution significative (de 1 520 à 90 nSv/h) de la valeur affichée est constatée du fait de la présence de l'écran, ce qui est un indicateur de la présence de rayonnements bêta.

Une différence d'un facteur deux est constatée entre les résultats des deux RADEX. Ce constat peut trouver son origine dans le fait que la radioactivité présente n'est pas répartie de façon homogène sur la zone contrôlée et donc qu'un écart infime de positionnement entre les deux équipements par rapport au point à mesurer peut avoir une incidence significative.

³ la portée maximale des électrons de l'uranium naturel ou appauvri est de l'ordre de 9 mm dans le plexiglas.

8.1.3 MESURES DU RAYONNEMENT BETA

Les valeurs mesurées avec les MCB2 (ACRO et CRIIRAD) sur le point « CEA1 » et le point hors protocole sont supérieures à celles relevées sur les points de référence. Ces valeurs comprises entre 44 et 124 c/s pour le point « CEA1 » et entre 27 et 37 c/s pour le point hors protocole confirment le constat fait au paragraphe 8.1.2 sur la présence d'une radioactivité ajoutée à celle naturellement présente.

On constate une différence d'un équipement à l'autre, que ce soit sur le point « CEA1 » ou sur le point hors protocole. L'explication précédente relative au positionnement s'applique également pour ces équipements.

8.2 POINTS « PC4 » ET « PC5 »

8.2.1 MESURE DU DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE AMBIANT

Les mesures au pseudo-contact étant comparables à celles relevées sur les points de référence, aucune mesure à distance n'a été réalisée.

8.2.2 MESURES AU PSEUDO-CONTACT

Les mesures pratiquées au pseudo-contact, aux points « PC4 » et « PC5 », avec les sondes bas flux (IRSN et ACRO), sont comparables à celles obtenues sur les points de référence, à savoir de l'ordre de 40 à 60 nSv/h avec les deux équipements.

Avec les équipements de type RADEX (IRSN et CRIIRAD), aux incertitudes de mesure près, il n'y a pas d'écart notable entre les valeurs relevées sur ces points et celles relevées aux points de référence. Les valeurs sont de l'ordre de 90 à 140 nSv/h c'est-à-dire équivalentes à celle du bruit de fond.

8.2.3 MESURES DU RAYONNEMENT BETA

Avec les équipements de type MCB2 (ACRO et CRIIRAD), aux incertitudes de mesure près, il n'y a pas d'écart notable entre les valeurs relevées sur ces points et celles relevées aux points de référence. Les valeurs sont de l'ordre de 2 à 5 c/s c'est-à-dire équivalente à celle du bruit de fond.

8.3 BILAN

Malgré les écarts constatés entre les équipements de même type, liés au positionnement des équipements par rapport au point à mesurer, on peut noter que les mesures sont globalement cohérentes.

Les mesures de débit d'équivalent de dose ambiant (à 20 et 50 cm de la source de rayonnements ionisants) réalisées sur le point « CEA1 » ne montrent aucune élévation par rapport au bruit de fond et par rapport aux valeurs relevées sur les points de référence. Pour les points « PC4 » et « PC5 », il est possible par extrapolation de tirer la même conclusion. En effet, les résultats des mesures au contact étant comparables à la valeur du bruit de fond, on peut considérer que le débit d'équivalent de dose ambiant est également comparable au bruit de fond.

Par ailleurs, sur les points « CEA1 » et le point hors protocole, les mesures avec les équipements permettant d'identifier la présence de rayonnement bêta (MCB2 et RADEX) mettent en évidence la présence d'une

radioactivité ajoutée à celle naturellement présente. En effet, les valeurs relevées sont de l'ordre de 10 à 20 fois supérieures à celles mesurées sur les points de référence.

Enfin, les valeurs obtenues avec les RADEX (IRSN et CRIIRAD) au pseudo-contact ne constituent qu'un indicateur pour signaler la présence de rayonnement bêta. Conformément à ce qui est rappelé au paragraphe 5.1, les valeurs ne sont pas utilisables pour estimer le débit d'équivalent de dose ambiant.

9 EXPERTISE DU « FRAGMENT »

9.1 DESCRIPTION DU « FRAGMENT »

Le « fragment » est constitué d'un agrégat de petite dimension présentant à sa surface des taches jaunes.

Les caractéristiques du « fragment » sont :

- dimensions (mm) : 4,5 x 3 x 1 ;
- masse (mg) : 38,5.

Une photo en annexe 4 présente le « fragment ».

9.2 MESURES DE RAYONNEMENTS

Sachant que l'ensemble des mesures prévues *in situ* n'a pu être réalisé en intégralité, les mesures complémentaires prévues dans le protocole initial ont été réalisées en laboratoire sur le « fragment ». D'autres mesures ont également été réalisées avec des équipements adaptés pour mesurer la contamination surfacique. La liste des équipements et les caractéristiques de ces derniers sont fournies en annexe 1.

Les résultats des mesures sont repris dans le tableau ci-dessous :

	Bruit de fond (c/s)	Mesure au pseudo-contact du fragment (c/s)
MIP21 + SB70-2	2,2 à 2,6	60 à 70
MIP10 + SMIBM	0,8 à 1,2	40 à 50
MIP10 + SMIA	0	1
COMO 170	0 en α et 10 à 12 en $\beta\gamma$	0 à 2 en α et 92 à 96 en $\beta\gamma$

Une mesure sur le « fragment » avec l'ensemble MIP21 + SB70-2 derrière un écran de plexiglas a également été réalisée. La valeur relevée correspond à celle du bruit de fond, ce qui confirme le constat fait avec le RADEX (cf. paragraphe 8.1), à savoir que le rayonnement bêta est le principal contributeur pour les mesures au pseudo-contact.

Par ailleurs, les mesures réalisées ne mettent pas en évidence la présence de rayonnement alpha de façon significative. Ce constat ne signifie pas qu'il n'y a pas d'émission de ce type de rayonnement mais montre que ce rayonnement n'est pas détectable dans le contexte des mesures réalisées *in situ* et en laboratoire. De fait, ce type de rayonnement ne participe pas à l'exposition externe d'un individu.

9.3 CARACTERISATION DE LA RADIOACTIVITE

9.3.1 METHODE

Afin d'identifier et de quantifier la radioactivité présente dans l'échantillon, la caractérisation radiologique de ce dernier est réalisée à partir d'une analyse par spectrométrie gamma et d'une modélisation avec le logiciel Winnertrack⁴. La modélisation nécessite de connaître les principales caractéristiques de l'échantillon (dimensions, masse, constitution).

9.3.2 RESULTAT

L'analyse par spectrométrie gamma a permis d'identifier la présence de ²³⁴Th, de ^{234m}Pa et d'²³⁵U. Les deux premiers radionucléides sont caractéristiques de la présence de l'²³⁸U.

L'analyse permet également de dire que les autres émetteurs gamma associés aux chaînes naturelles de l'²³⁸U et de l'²³⁵U ne sont pas présents au-delà des limites de détection de l'équipement de mesure.

Ces constats permettent de valider la présence d'uranium anthropique dans l'échantillon (rupture des chaînes naturelles de l'uranium).

La modélisation associée à la spectrométrie gamma a permis de quantifier les radionucléides identifiés. Le résultat de cette quantification est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

Famille	Radionucléide	Activité (Bq)	Incertitude (Bq)
²³⁸ U	²³⁴ Th	335	62
	^{234m} Pa	354	23
²³⁵ U	²³⁵ U	14	0,7

En considérant que l'²³⁸U et l'²³⁵U sont à l'équilibre avec leurs premiers descendants, il en ressort que l'échantillon contient environ 350 Bq d'²³⁸U et 14 Bq d'²³⁵U.

Le rapport ²³⁵U/²³⁸U (en activité) est globalement compris entre 0,033 et 0,054 aux incertitudes près, ce qui laisse penser qu'il s'agit plutôt d'uranium naturel que d'uranium appauvri.

La détermination du rapport isotopique n'a pu être réalisée de façon plus précise avec cette technique de mesure du fait d'une quantité trop faible de matière. Pour améliorer et valider ce résultat, une analyse destructive serait nécessaire. Celle-ci n'a pas été mise en œuvre à ce stade car il a été convenu que ce « fragment » serait analysé dans un premier temps par spectrométrie gamma par l'ensemble des participants.

En considérant que le « fragment » est constitué uniquement d'uranium, il est également possible d'estimer l'activité en ²³⁸U et en ²³⁵U, connaissant les activités massiques de ces éléments pour de l'uranium naturel. Les activités calculées en ²³⁸U et en ²³⁵U, sachant que la masse de l'échantillon est de 38,5 mg, sont respectivement de 477 Bq et 22 Bq.

En tenant compte des incertitudes, les activités estimées par les deux méthodes sont du même ordre de grandeur.

⁴ Winnertrack est un logiciel de modélisation mathématique des courbes d'efficacité applicable pour la spectrométrie gamma. Il utilise la méthode de Monte Carlo pour calculer les courbes d'efficacité à partir des caractéristiques internes du détecteur et de la configuration de mesure. Cette dernière est modélisée par l'opérateur via une interface logicielle en trois dimensions.

10 DISCUSSION SUR LES MESURES

Des mesures en laboratoire dans des configurations différentes ont été réalisées avec le RADEX au pseudo-contact du « fragment » afin de vérifier l'influence du positionnement de l'appareil sur le résultat de mesure. Les photos illustrant ces configurations ainsi que les résultats de ces mesures sont fournies en annexe 5. Il ressort de ces tests que, lorsque l'équipement est utilisé dans sa configuration « normale » permettant de mesurer un débit d'équivalent de dose, c'est-à-dire face avant orientée vers le point de mesure, la valeur mesurée sur le « fragment » est de l'ordre du bruit de fond. En revanche, lorsque la mesure est réalisée en positionnant l'équipement de telle sorte que l'une de ses faces latérales soit positionnée au pseudo-contact du « fragment », on constate que la mesure est très significativement différente de la mesure en condition « normale ». En effet, dans ce cas de figure, on mesure jusqu'à 2,18 $\mu\text{Sv/h}$.

En fait, lorsque l'une des faces latérales de l'appareil est positionnée au pseudo-contact du point à mesurer, l'appareil détecte le rayonnement bêta, du fait notamment des fentes présentes sur sa coque qui laissent « passer » les rayonnements bêta.

Ces constats corroborent celui fait au paragraphe 8 sur l'utilisation de la mesure du RADEX et permet d'estimer que les valeurs mesurées avec les RADEX ont été acquises avec la face latérale de l'équipement positionnée sur le point à mesurer.

Les mesures au pseudo-contact réalisées avec les MCB2 sur le point « CEA1 » avant et après détachement du « fragment », ainsi que celles faites avec le RADEX sur ce même point avant détachement du « fragment » et sur le « fragment » isolé, montrent que l'essentiel du flux de rayonnements mesuré initialement provient du « fragment ». Le tableau ci-dessous illustre ce constat par les mesures réalisées par les différents participants.

	Mesure au pseudo-contact du point « CEA1 » avant détachement du « fragment »	Mesure au pseudo-contact du point « CEA1 » après détachement du « fragment »	Mesure au pseudo-contact sur le « fragment »
RADEX (IRSN)	1,5 $\mu\text{Sv/h}$	non réalisée	2,18 $\mu\text{Sv/h}$
MCB2 (ACRO et CRIIRAD)	55 à 124 c/s	5 à 15 c/s	140 c/s

L'activité présente dans l'échantillon est insuffisante pour générer une mesure décelable au-delà du bruit de fond, qu'elle soit réalisée au pseudo-contact ou à distance, avec les sondes bas flux ainsi qu'avec le RADEX lorsque ce dernier est utilisé en configuration « normale » (cf. explication au paragraphe 5.3).

11 SYNTHÈSE DE L'EXERCICE DE MESURES

De cet exercice de mesures organisé le 25 février 2014, on peut retenir que, bien que le protocole de mesures n'ait pas été respecté, les résultats obtenus par l'ensemble des participants sont globalement comparables.

Pour ce qui concerne le débit d'équivalent de dose ambiant (à 20 et 50 cm de la source de rayonnements ionisants), les résultats des mesures pratiquées sont de l'ordre de grandeur de celui relevé en région parisienne. Toutefois, les mesures au pseudo-contact faites avec les appareils de type RADEX et MCB2 ont révélé la présence d'une radioactivité ajoutée à la radioactivité naturelle locale au niveau du point « CEA1 » et d'un autre point, hors protocole, situé à environ 20 cm sous le point « PC4 ».

Pendant la réalisation des mesures, un « fragment » s'est détaché du point « CEA1 » et s'est déposé sur le sol. Celui-ci a été prélevé puis conditionné pour être analysé en laboratoire. Après accord de l'ASN, de la CRIIRAD et de l'ACRO, l'IRSN a recueilli ce « fragment » et a procédé à son analyse afin de déterminer la nature et la quantité de radioactivité qu'il contient. La caractérisation radiologique de ce fragment a été réalisée par spectrométrie gamma, analyse non destructive. La particule analysée (d'une taille de 4,5 x 3 x 1 mm et d'une masse de 38,5 mg) est une particule d'uranium d'origine anthropique qui semble avoir des proportions d'²³⁸U et d'²³⁵U comparables à celles de l'uranium naturel. L'activité en ²³⁸U est d'environ 400 Bq. A titre de comparaison, l'activité estimée en ²³⁸U dans cette particule est équivalente à celle que l'on retrouve dans environ 8 kg de terre provenant de la région parisienne⁵. Dans le but de disposer d'une analyse contradictoire, le « fragment » a été adressé à l'ACRO qui se chargera de le transmettre à la CRIIRAD.





A la lumière des constats fait lors de cet exercice de mesures, il ressort que, si la valeur relevée par l'association « Les Abbesses de Gagny-Chelles » (mesure effectuée avec un appareil RADEX au pseudo-contact) révèle un point de contamination résiduelle, elle ne peut en aucun cas être utilisée pour évaluer le niveau d'exposition externe du corps entier aux rayonnements ionisants. En effet, le niveau d'exposition s'évalue sur la base d'un débit d'équivalent de dose ambiant obtenu au moins à quelques dizaines de centimètres de distance de la source de rayonnements ionisants, distance considérée comme représentative de l'exposition corps entier pour un individu adulte. La mesure réalisée au pseudo-contact par l'association « Les Abbesses de Gagny-Chelles » ne répond pas à cette exigence et ne peut donc être utilisée pour estimer l'exposition externe du corps entier d'un individu.





⁵ L'activité massique moyenne présente dans le sol de la région parisienne est de l'ordre de 50 Bq/kg en ²³⁸U

Annexe 1 : localisation des points de mesure et illustration des points à contrôler



TC1
Zone à réhabiliter

-  CEA1 : zone située au niveau de la jonction entre le mur du fond du couloir et celui situé sur la gauche
-  PC4 : zone située au dessus de la référence « CEA1 »
-  PC5 : zone située au sol, le long du mur du fond du couloir
-  Point hors protocole

-  Bruit de fond
-  Référence n° 1 : située entre « CEA1 » et « PC4 » à 30 cm au dessus de « CEA1 »
-  Référence n° 2 : située au sol
-  Référence n° 3 : située dans un angle pour être dans une configuration de mesure proche de « CEA1 » et « PC4 »



Vue du couloir d'accès depuis l'entrée

Localisation des points singuliers :



CEA 1

Point « CEA1 » :



Annexe 2 : équipements de mesure employés

- Par l'IRSN

	Appareil de mesure	N° série	Date de vérification	Grandeur mesurée	Gamme d'énergie ou rendement	Gamme de mesure
In-situ	Ad6 + Adb	92389 + 93891	04/2013	H*(10)	γ, X : 23 keV à 7 MeV	1 nSv/h à 99 μ Sv/h
	RADEX 1706	N0713246DC13150	Neuf	H*(10) (sauf pour la mesure β)	γ : 100 keV à 1,25 MeV X : 30 keV à 3 MeV β : 250 keV à 3,5 MeV	50 nSv/h à 999 μ Sv/h
En laboratoire	MIP21	731	14/11/2013	Taux de comptage	-	0 à 9 999 c/s
	SB70-2	758	13/11/2013		$\beta > 30$ keV	-
	MIP 10	1211	10/07/2013		-	0 à 9 999 c/s
	SMIA 70	1135	28/03/2013		39,7 % pour ^{241}Am	-
	SMIBM	815	13/11/2013		$\beta > 50$ keV	-
	COMO 170	3895	18/11/2013		37 % pour ^{60}Co 22 % pour ^{241}Am	0 à 9 999 c/s

- Par l'ACRO

Appareil de mesure	N° série	Date de vérification	Grandeur mesurée	Gamme d'énergie ou rendement	Gamme de mesure
FH40GL10 + FHZ672E	0841 - 42540/66	28/10/2011	H*(10)	γ : 47 keV à 4,4 MeV	< 100 μ Sv/h
MCB2	111	19/11/2013	Taux de comptage	β > 30 keV	1 à 9 999 c/s
LB124	20 - 7093	25/10/2012		50 % pour ^{36}Cl 23 % pour ^{239}Pu	0 à 5 000 c/s (voie α) 0 à 50 000 c/s (voie $\beta\gamma$)

- Par la CRIIRAD

Appareil de mesure	N° série	Date de vérification	Grandeur mesurée	Gamme d'énergie ou rendement	Gamme de mesure
RADEX RD 1503	13-100	26/03/2013 (contrôle interne à l'achat) 24/02/2014 (contrôle interne)	H*(10) (sauf pour la mesure β)	γ : 100 keV à 1,25 MeV X : 30 keV à 3 MeV β : 250 keV à 3,5 MeV	50 nSv/h à 9,99 μ Sv/h
MCB2	314	16/03/2012 (contrôle usine) 28/06/2013 (contrôle interne)	Taux de comptage	β > 30 keV	1 à 9 999 c/s
SPP2 NF	3898	16/01/2014 (contrôle usine)	Taux de comptage	X, γ : 30 keV à 3,5 MeV	0 à 15 000 c/s

Annexe 3 : mesures réalisées sur site

- Bruit de fond

Mesure réalisée par	Appareil	Bruit de fond		Commentaire
		nSv/h	c/s	
IRSN	RADEX	90	-	-
IRSN	Ad6 + Adb	40	-	-
CRIIRAD	MCB2	-	0,6 à 3,8	Mesure réalisée sans capot
CRIIRAD	RADEX	70 - 80	-	3 mesures faites successivement
CRIIRAD	SPP2	-	40	-
ACRO	FH40GL10 + FHZ672E	33,6*	-	Détecteur orienté vers le fond du couloir d'accès à la casemate TC1
ACRO	FH40GL10 + FHZ672E	33,3*	-	Détecteur orienté vers l'entrée du couloir d'accès à la casemate TC1
ACRO	FH40GL10 + FHZ672E	33,3 - 35,4	-	Mesures instantanées
ACRO	MCB2	-	0,6 à 1,8	Mesure réalisée sans capot

* mesure en mode intégration sur 30 s

- Mesures sur les points de référence

Mesure réalisée par	Référence point de mesure	Appareil	Mesure		Commentaire
			nSv/h	c/s	
IRSN	1	RADEX	110	-	-
IRSN	1	Ad6 + Adb	45 à 51	-	-
CRIIRAD	1	MCB2	-	2,6 à 5,6	-
CRIIRAD	1	RADEX	260	-	Le RADEX est positionné face latérale sur le point de mesure
CRIIRAD	1	SPP2	-	45	-
ACRO	1	FH40GL10 + FHZ672E	40,2 à 41,9	-	-
ACRO	1	MCB2	-	2,2 à 3,6	-
IRSN	2	RADEX	90	-	-
IRSN	2	Ad6 + Adb	45	-	-
CRIIRAD	2	MCB2	-	0,6 à 3	-
ACRO	2	MCB2	-	< 2	-
IRSN	3	RADEX	250	-	-
IRSN	3	Ad6 + Adb	50	-	-
CRIIRAD	3	MCB2	-	3,2 à 5,8	-
ACRO	3	MCB2	-	1,6 à 3,6	-

- Point « CEA1 »

Mesure réalisée par	Appareil	Mesure						Commentaire
		Pseudo-contact		A 20 cm		A 50 cm		
		nSv/h	c/s	nSv/h	c/s	nSv/h	c/s	
IRSN	RADEX	1 460 - 1 520	-	110	-	100	-	2 mesures successives réalisées au pseudo-contact
IRSN	RADEX	90	-	-	-	-	-	Mesure faite derrière un écran de plexiglas de 9 mm d'épaisseur
IRSN	Ad6 + Adb	35	-	44 à 50	-	-	-	-
CRIIRAD	MCB2	-	55 à 124	-	1 à 2,4	-	-	-
CRIIRAD	MCB2	-	8 à 25	-	-	-	-	Impossibilité de dire si cette mesure a été réalisée avant ou après le détachement du « fragment »
CRIIRAD	RADEX	740 - 830	-	210	-	120	-	2 mesures successives réalisées au pseudo-contact. Le RADEX est positionné face latérale sur le point de mesure
CRIIRAD	SPP2	-	55	-	45 à 50	-	-	-
ACRO	FH40GL10 + FHZ672E	41,4 à 43,6	-	41,1 à 47,8	-	-	-	En complément, une mesure en mode intégration sur 30 s a été réalisée. Le résultat est de 43,8 nSv/h
ACRO	MCB2	-	44	-	0,4 à 1,2	-	-	-
Les mesures suivantes ont été réalisées après qu'un « fragment » se soit détaché du point CEA1								
CRIIRAD	MCB2	-	5 à 15	-	-	-	-	-
ACRO	MCB2	-	< 5	-	-	-	-	-

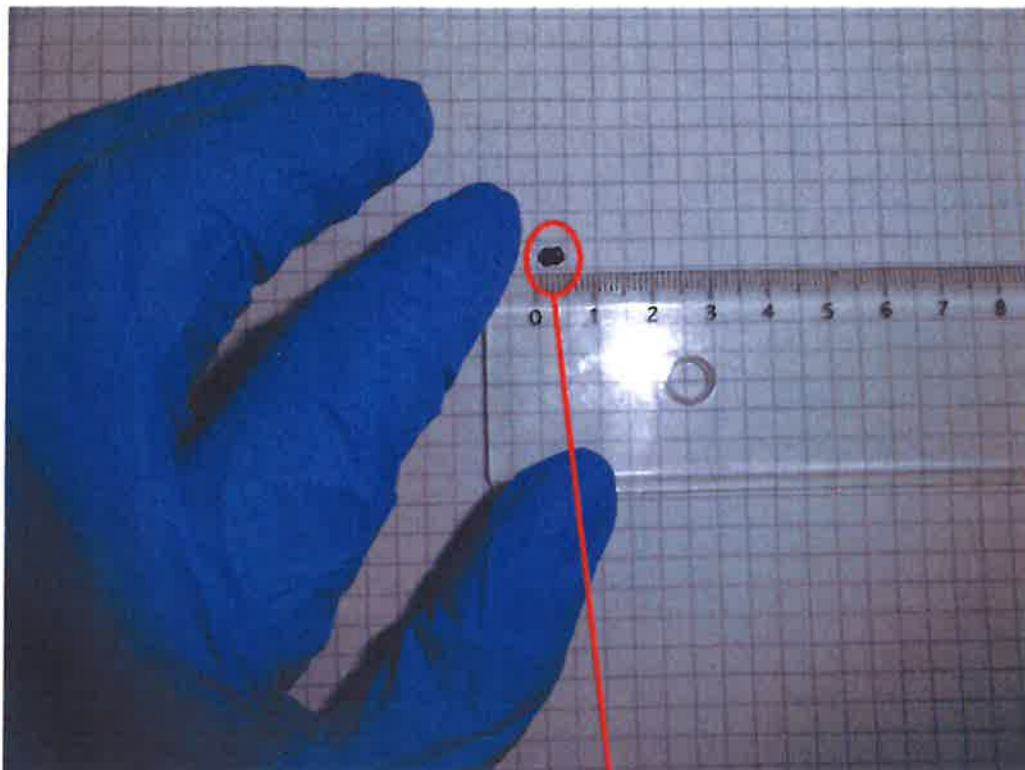
- Point « PC4 » et « PC5 »

Mesure réalisée par	Référence point de mesure	Appareil	Mesure au pseudo-contact		Commentaire
			nSv/h	c/s	
IRSN	PC4	RADEX	90	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
IRSN	PC4	Ad6 + Adb	55 à 60	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
CRIIRAD	PC4	MCB2	-	2,2 à 5,4	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
ACRO	PC4	MCB2	-	2,4 à 3,6	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
ACRO	PC4	FH40GL10 + FHZ672E	45,7 à 47,0	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée. Une mesure en mode intégration sur 30 s a été réalisée. Le résultat est de 45,1 nSv/h
IRSN	PC5	RADEX	140	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
IRSN	PC5	Ad6 + Adb	55	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
CRIIRAD	PC5	MCB2	-	2,2 à 5,4	Mesures réalisées dans une canalisation sortant du mur
CRIIRAD	PC5	MCB2	-	0,6 à 3,6	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
ACRO	PC5	MCB2	-	< 2	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée
ACRO	PC5	FH40GL10 + FHZ672E	42,1 à 42,5	-	Mesures réalisées sur l'ensemble de la zone délimitée. Une mesure en mode intégration sur 30 s a été réalisée. Le résultat est de 42,0 nSv/h

- Point hors protocole

Mesure réalisée par	Appareil	Mesure au pseudo-contact		Commentaire
		nSv/h	c/s	
IRSN	RADEX	230	-	-
IRSN	Ad6 + Adb	55	-	-
CRIIRAD	MCB2	-	37	-
ACRO	MCB2	-	27	Valeur maximale relevée

Annexe 4 : photos du « fragment »



Annexe 5 : mesure avec le RADEX sur le « fragment »



Mesure avec le « fragment »
sur la partie avant de l'équipement



Mesure avec le « fragment »
sur la face latérale gauche de l'équipement



Mesure avec le « fragment » sur la face latérale droite de l'équipement

Le tableau ci-dessous, présente la synthèse des mesures réalisées en ayant laissé un temps d'acquisition d'au moins un cycle complet de mesure.

Position du « fragment »	Mesure ($\mu\text{Sv/h}$)
Sur face avant	0,12
Sur face latérale gauche	2,18
Sur face latérale droite	0,7