Bilan radiologique de l'environnement terrestre des installations du GIP CYCERON de Caen

- année 2003 -

rapport

Association
pour le **C**ontrôle
de la **R**adioactivité
dans l'**O**uest

laboratoire indépendant
d'analyse de la radioactivité

138 rue de l'Eglise
14200 HEROUVILLE ST CLAIR

tél. : 02.31.94.35.34
fax : 02.31.94.85.31

acro-laboratoire@wanadoo.fr

SIRET 950 369 00027
APE 743B

Version 01 du 05/01/04

Feuille qualité

DEMANDE	
Mission	Bilan radiologique de l'environnement terrestre des installations du GIP CYCERON de Caen – 2003 1er volet : Bilan radioécologique (émetteurs gamma) 2ème volet : Cartographie du rayonnement gamma ambiant 3ème volet : Mesures neutrons
Demandeur	GIP CYCERON Bd Henri Becquerel – BP 5229 14074 CAEN Cedex 5
Commande	N°03F12622 du 14/11/03

REALISATION	
Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest 138 rue de l'Eglise 14200 HEROUVILLE SAINT CLAIR tél. : 02.31.94.35.34 / fax : 02.31.94.85.31	
Responsable Scientifique	P. BARBEY
Auteur(s)	G.PIGREE, A. BERNOLLIN, M. JOSSET
Prélèvements	A.BERNOLLIN & E.DUNAND
Mesures *in situ*	M.JOSSET & G.PIGREE
Traitement des échantillons	E. DUNAND
Analyses	de radioactivité : M.JOSSET
DOCUMENT	
Date d'édition	05/01/04
Version n°	01
Pages (nombre)	31 (annexes comprises)
Objet	Détailler et commenter les résultats obtenus
Mots-clés	radioactivité, rayonnement gamma ambiant, neutron, recherche médicale, cyclotron, Calvados
Paramètres	éléments radioactifs : Na22, Al26, Co60, Cs134, Cs137, Eu152, Eu154, Th234, Pa234m, Ra226,Pb214, Ac228, Pb212, K40, Be7.
	physico-chimiques : néant
	lieu(x) : Caen (14)
REMARQUE(S) PARTICULIERE(S)	
de l'A.C.R.O. :	La reproduction du document n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.

Sommaire

Feuille qualité **1**
1 – Bilan radioécologique (émetteurs gamma) **3**
1 – a) Cadre général 3
1 – b) Localisation, nature et calendrier des prélèvements 5
1 – c) Synthèse des prélèvements et analyses 6
1 – d) Commentaire des résultats 8
2 – Cartographie du rayonnement gamma ambiant **9**
2 – a) Cadre général 9
2 – b) Commentaire de résultats 10
2-b.α) La campagne du 18 novembre 10
2-b.β) La campagne du 19 novembre 13
2-b.χ) La campagne du 20 novembre 14
2-b.δ) La campagne du 24 novembre 15
2-b.ε) Conclusion 16
3 – Mesures neutrons **17**
3 – a) Cadre général 17
3 – b) Résultats 17
3-b.α) La campagne du 20 novembre 17
3-b.β) La campagne du 21 novembre 18
3 – c) Commentaire des résultats 18
Annexe 1 : Résultats des mesures par spectrométrie gamma ..... **i**
Annexe 2 : Résultats des mesures du rayonnement ambiant ..... **iv**
A2 – a) Bruit de fond & définition du seuil de discrimination v
A2 – b) Résultats campagne du 18/11/03 vi
A2 – c) Résultats campagne du 18/11/03 autour du local à déchets radioactifs vii
A2 – d) Résultats campagne du 19/11/03 vii
A2 – e) Résultats campagne du 20/11/03 viii
A2 – f) Résultats campagne du 24/11/03 viii
Annexe 3 : Matérie l et méthodes ..... **ix**
A3 – a) Méthodologie pour le prélèvement des échantillons x
A3 – b) Méthodologie pour le traitement des échantillons x
A3 – c) Matériel employé pour les mesures in situ xi
A3 – d) Matériel & méthode employés pour les analyses en laboratoire xi
A3-b.α) spectrométrie gamma xi

1 – Bilan radioécologique (émetteurs gamma)

Dans le cadre du fonctionnement normal de l'installation, des rejets d'effluents radioactifs gazeux sont régulièrement effectués, principalement par le biais de deux émissaires qui s'apparentent à des cheminées d'une hauteur d'environ 10 m par rapport au sol. L'une concerne les manipulations opérées au sein du bâtiment B139 (chimie chaude) alors que l'autre s'intéresse à la production de radionucléides à l'aide d'un cyclotron.

Si les radionucléides fabriqués, que sont l'^{15}O, le ^{11}C et le ^{18}F, ont une période physique inférieure à 2h, d'autres produits d'activation mais de période physique beaucoup plus longue sont également formés ; leur création est involontaire.

Dans les rejets d'effluents radioactifs gazeux, ces radionucléides « parasites » peuvent coexister avec les premiers et être, à la différence de ceux-ci, à l'origine d'un marquage durable de l'environnement, variable selon les compartiments étudiés.

1 – a) Cadre général

L'approche consiste en un inventaire des radionucléides émetteurs gamma présents dans différents compartiments de l'environnement du GIP CYCERON.

Dans le cas présent, on s'intéresse à l'influence sur l'environnement du fonctionnement passé de l'installation. La recherche est donc centrée sur les produits d'activation d'une période physique suffisamment longue pour avoir induit un marquage durable de l'environnement. Tenant compte des contraintes métrologiques, il ne peut s'agir que de radionucléides ayant une période physique au moins égale à 8 jours.

N'ayant pas de données précises sur le terme source, aucune analyse spécifique de radionucléides émetteurs bêta ou alpha purs n'est mise en œuvre. De même aucune mesure de la grandeur bêta ou alpha total n'est retenue en raison de la variabilité des concentrations dans le temps et l'espace, laquelle peut rendre l'interprétation de ces grandeurs délicates lorsque les mesures sont ponctuelles.

L'évaluation s'appuie alors sur la recherche de radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma. Avec cette méthode d'analyse multi-éléments, on ne préjuge pas des radionucléides à rechercher mais seulement de la nature du rayonnement émis ; la plupart des radionucléides émettent un rayonnement gamma au cours de leur désintégration.

Parmi l'ensemble des radionucléides émetteurs gamma pouvant être analysés par spectrométrie gamma, seuls ceux jugés comme étant caractéristiques (de l'environnement et du fonctionnement) sont présentés[1] dans les tableaux de résultats. Il va s'agir de radionucléides d'origine naturelle (^{7}Be, ^{40}K et de produits de filiation appartenant aux chaînes de l'^{238}U et du ^{232}Th) mais également d'origine artificielle (^{22}Na, ^{26}Al, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{152}Eu et ^{154}Eu).

Concernant les compartiments échantillonnés, ils ont en commun d'être concernés par les dépôts atmosphériques (secs et humides) et sont de deux types :

- Ceux qui constituent un vecteur potentiel d'atteinte à l'homme parce qu'ils participent au processus de contamination de la chaîne alimentaire ou d'irradiation externe. La nature des compartiments sélectionnés dépend alors des processus d'échanges des radionucléides dans le milieu terrestre tels que présentés à la figure 1 et des potentialités qu'offrent le site (présence ou non de culture par exemple).

[1] L'absence d'indication concernant les autres radionucléides artificiels signifie qu'ils n'ont pas été mis en évidence.

- Ceux connus de longue date pour leur aptitude à révéler la présence de radionucléide à l'état de trace dans l'atmosphère. Par définition, ils ne permettent pas d'évaluer les transferts à l'homme mais sont d'excellents outils dans le cadre d'une approche qualitative visant à cibler les éventuels polluants radioactifs devant faire l'objet d'une attention particulière. Ils se dénomment bioindicateurs et les plus connus sont les lichens. Le choix d'échantillonner un bioindicateur plutôt qu'un autre repose alors principalement sur les potentialités qu'offrent le site (comme l'abondance par exemple) mais aussi sur la facilité d'identification.

La distribution géographique des prélèvements tient compte, outre des potentialités qu'offre le site, de l'accessibilité du lieu par le public et de l'intensité estimée des dépôts.
Dans ce contexte les 3 hectares du campus Jules HOROWITZ, où est implanté le GIP CYCERON, font partie intégrante de l'étendue géographique d'évaluation.

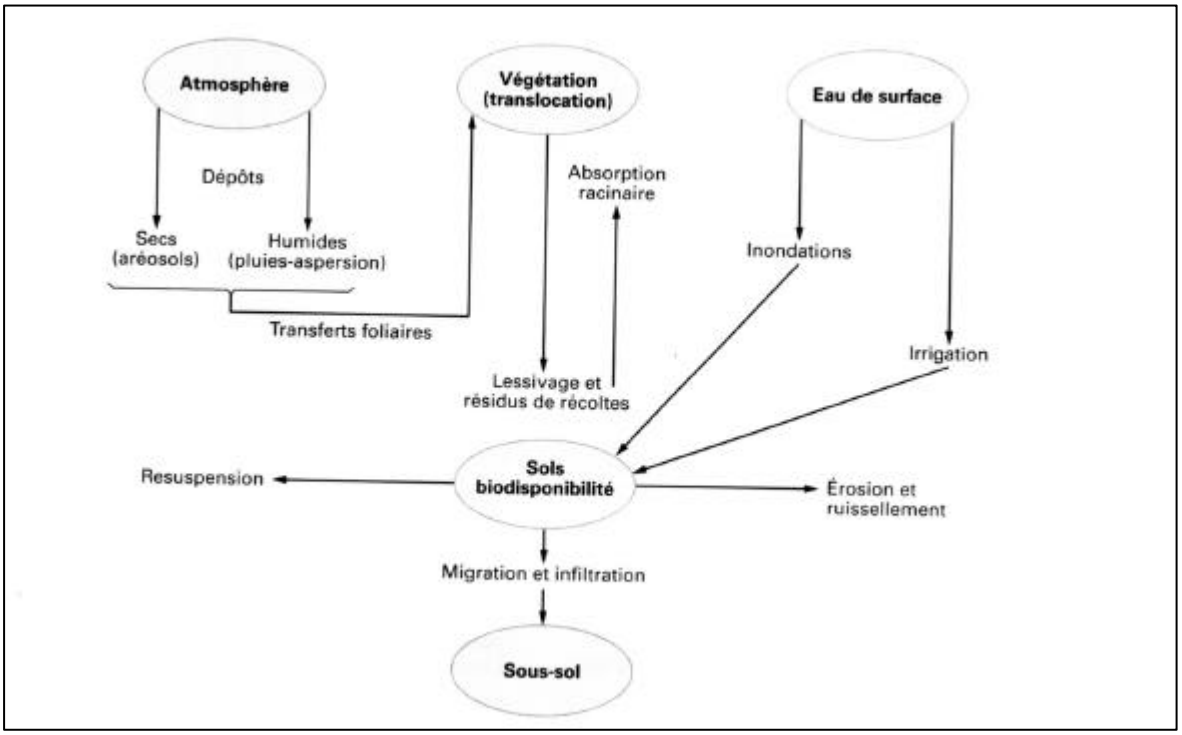


Figure 1 : processus d'échanges des radionucléides dans le milieu terrestre[2].

[2] FOURNIER (L.) – Radioécologie, origine des radioéléments. Collection Techniques de l'Ingénieur. Ed. 2002.

1 – b) Localisation, nature et calendrier des prélèvements

Les prélèvements effectués pour cette évaluation se répartissent en trois étendues distinctes (fig. 2).

- **La première étendue concerne les 3 hectares du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON en raison de l'accessibilité du lieu par le public et de l'existence (théorique) de dépôts plus importants qu'ailleurs**.
  Bien qu'il existe des restrictions d'usage, ce campus est accessible au public tous les jours ouvrés de la semaine entre 8h et 18h. En conséquence, tout un chacun peut accéder librement à un moment de la journée à proximité des bâtiments constituant l'installation. C'est pourquoi, ces 3 hectares de campus ne peuvent être classés comme faisant partie de l'installation.
  Par ailleurs, les évaluations faites à l'aide du code GASCON[3] (et notamment les coefficients de transferts atmosphériques (CTA) obtenus pour différents endroits) suggèrent que c'est à moins de 100 m de l'installation que la dilution des gaz rejetés est la moins importante. Tenant compte du cadastre, c'est donc sur les 3 hectares du campus où est implanté le GIP CYCERON que la situation devrait être la plus pénalisante en terme d'exposition.

  Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne <u>cinq endroits distincts répartis en deux zones :</u>

  1. le bassin d'orage (**zone 1**)
     Ce bassin d'orage, situé au nord, est le point de collecte et d'infiltration dans le sol par percolation des eaux météoriques précipitées à la fois sur la totalité du site GIP CYCERON et sur une partie du GANIL. Il va donc recueillir les radionucléides rejetés dans l'atmosphère et piégés par les eaux de pluie. Dès lors, les eaux infiltrées constituent un vecteur de contamination du sous-sol mais également des terres agricoles situées non loin.

     Les prélèvements réalisés le 18/11/03 ont concerné :
     - **les eaux**
     - **des végétaux aquatiques**, **lentilles d'eau**, en l'absence de sédiments et comme bionindicateur de la qualité des eaux du bassin d'orage.

  2. l'environnement immédiat des bâtiments du GIP CYCERON dans la limite de 100 m autour des émissaires de rejets gazeux (**zone 2**)
     Considérant la rose des vents mais également l'absence de trajectoires résiduelles d'écoulements d'air, 4 endroits distincts ont été retenus et sont distribués à partir de la direction des vents dominants (NE) avec un pas d'environ 90° par rapport à ce même axe. Tenant compte des contraintes d'urbanisation, il n'a pas été possible de prélever à une même distance des émissaires de rejets (cheminées). Aussi, les lieux de prélèvements se situent à environ 75±15 m des cheminées.

     Les prélèvements réalisés entre le 18/11/03 et le 05/12/03 ont concerné :
     - **le couvert végétal (herbe)**, sur une superficie de 2 m²
     - **les sols**, sur une profondeur comprise entre 0 et 10 cm.

- **La seconde étendue concerne la zone agricole située au nord des émissaires de rejets gazeux en raison de son utilisation à des fins de production de denrées alimentaires**.
  Le plateau sur lequel est implanté le GIP CYCERON était anciennement utilisé pour des activités agricoles. Avec l'urbanisation grandissante de ces dernières décennies, il ne subsiste plus que des terres agricoles au Nord de l'installation.
  S'il n'y a apparemment plus d'élevage, les observations *in situ* confirment en revanche

[3] Voir dossier d'enquête publique déposé par CYCERON, version du 17 juin 2003.

l'exploitation de terrains (proches de l'installation) à des fins de culture, notamment celle du maïs. En conséquence, il existe des potentialités d'atteinte à l'homme par la contamination de denrées entrant dans la chaîne alimentaire.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne une seule zone :

1. la parcelle exploitée située la plus proche du GIP CYCERON, en l'occurrence à environ 300 m au NNE de l'installation (**unique zone**).

   Les prélèvements réalisés le 13/10/03 et le 05/12/03 ont concerné :
   - **le maïs**, prélevé de manière à obtenir un échantillon représentatif de la parcelle cultivée
   - **les sols**, sur une profondeur comprise entre 0 et 10 cm, en un seul point.

➢ **La troisième étendue concerne une zone située sous les vents dominants à l'extérieur des limites cadastrales du GIP CYCERON en raison de la possibilité d'y prélever un bioindicateur atmosphérique.**
Les observations faites sur le terrain ont montré qu'il n'existe pas de bioindicateurs atmosphériques sous les vents dominants dans les limites cadastrales. C'est pourquoi, les investigations ont été étendues dans cette direction. Néanmoins, il n'a pas été possible d'inventorier de mousses terrestres et de lichens faute de biodisponibilité. Dans ce contexte, les aiguilles de pins ont été choisies.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne une seule zone :

1. la zone sélectionnée se situe en contrebas du talus NE, à la limite extérieure du site GIP CYCERON et à la croisée avec le parking de l'entreprise SIEMENS. Elle est orientée NE par rapport aux émissaires de rejets et se situe à environ 100 m de ces derniers.

   Les prélèvements réalisés le 18/11/03 ont concerné :
   - **un bioindicateur atmosphérique, des aiguilles de pins**.

1 – c) Synthèse des prélèvements et analyses

Treize prélèvements, donnant lieu chacun à une analyse par spectrométrie gamma (**γ**), ont été effectués.

Site	Localisation par rapport à CYCERON	Date de prélèvement	Bioindicateur atmosphérique	Production agricole	Couvert végétal	Sols	Eau	Végétaux aquatiques
1.1	Bassin d'orage à ≅ 120 m au nord	18/11/03					γ	γ
1.2.A	60 m (dir. NE)	18/11/03				γ		
		04/12/03			γ			
1.2.B	72 m (dir. SE)	18/11/03				γ		
		04/12/03			γ			
1.2.C	72 m (dir. SO)	18/11/03				γ		
		05/12/03			γ			
1.2.D	80 m (dir. NO)	18/11/03				γ		
		05/12/03			γ			
2.1	terres agricoles à ≅ 300 m au NNE	13/10/03		γ				
		18/11/03				γ		
3.1	limite extérieure du site à ≅ 120 m au NE	18/11/03	γ					

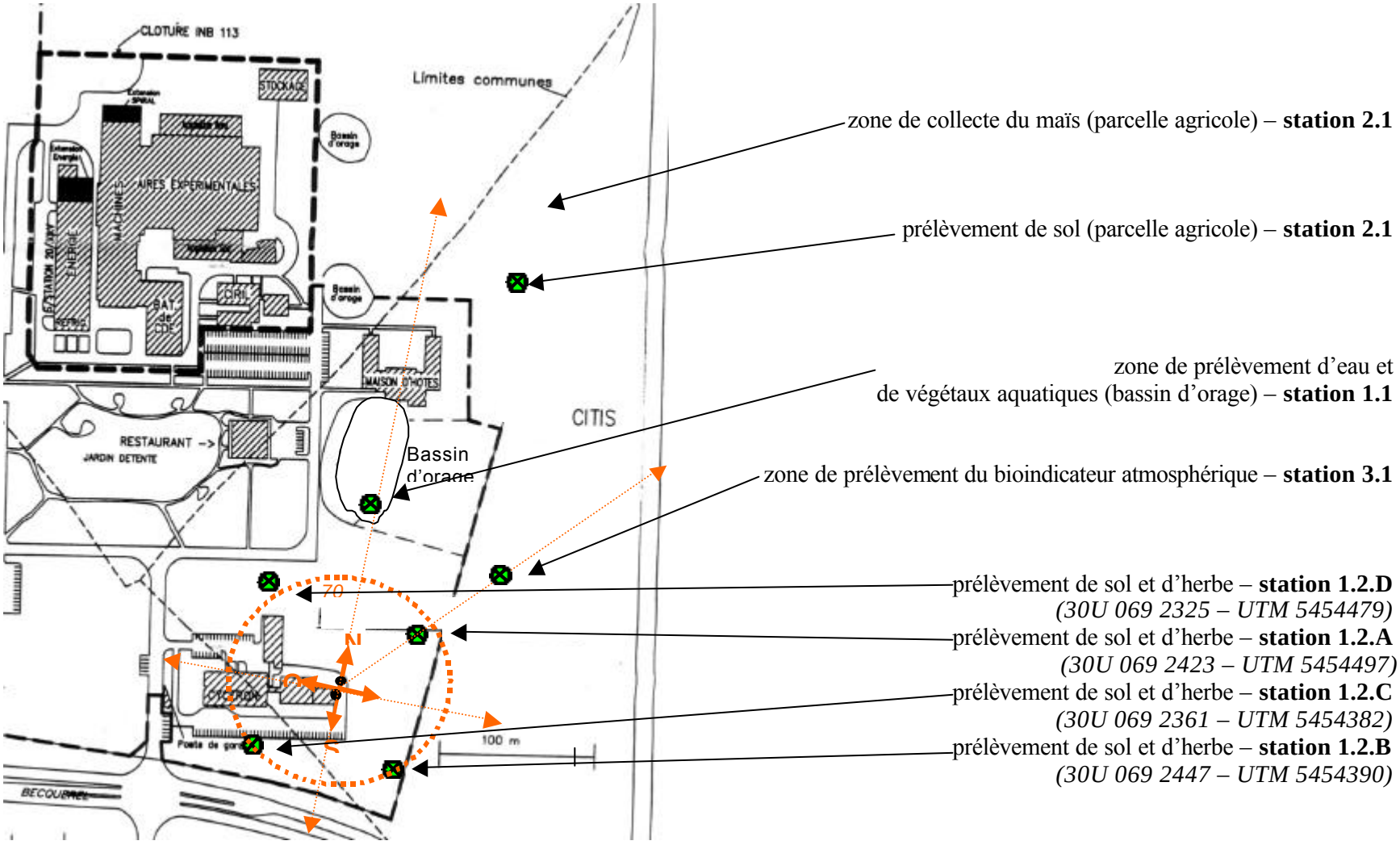


Figure 2 : localisation des prélèvements effectués dans l'environnement du GIP CYCERON, d'octobre à décembre 2003.

1 – d) Commentaire des résultats

Les résultats des analyses sont détaillés en annexe 1.

Seuls les analyses faites sur les sols mettent en évidence la présence, à des niveaux significatifs, d'une radioactivité d'origine artificielle. Dans le cas présent, celle-ci est constituée exclusivement de ^{137}Cs (césium-137), un produit de fission de période physique de 30 ans.

La présence de ^{137}Cs n'est pas due aux activités du GIP CYCERON, le cyclotron ne pouvant être à l'origine de la création de produits de fission.

En fait, la présence de ^{137}Cs dans des environnements non influencés par les activités industrielles liées au cycle du combustible résulte de certaines actions passées de l'homme, principalement des essais atmosphériques de l'arme atomique et de l'accident survenu à la centrale ukrainienne de Tchernobyl en avril 1986. Tous ces évènements ont été à l'origine d'une dissémination très importante de radionucléides sous la forme d'aérosols, lesquels ont contaminé de grandes étendues.
Bien que la majorité des radionucléides mis en jeu au cours de ces émissions aient aujourd'hui disparu, certains, comme le ^{137}Cs (un émetteur β-γ), subsistent encore de nos jours en raison de leur longue demi-vie qui limite leur élimination par décroissance physique. De plus, dans le cas du césium-137, sa forte affinité avec les constituants du sol limite les transferts aux eaux de ruissellement et par là-même la décontamination des sols.

Il est donc courant d'observer du ^{137}Cs. Dans les sols et les sédiments de surface, les niveaux varient généralement dans l'ouest de la France, de quelques becquerels à une dizaine de becquerels par kilogramme de matière sèche.
Dans le cas présent, les niveaux observés sont conformes sauf pour les sols des stations 1.2.A et 1.2.C. où ils sont inférieurs à 0,6 Bq/kg sec. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par le fait qu'il s'agit là de terres de remblais qui ont pu provenir de couches plus profondes (donc moins contaminées) obtenues lors des opérations d'excavation nécessaires à la création du bassin d'orage.

Concernant la radioactivité d'origine naturelle, les résultats obtenus n'appellent pas à formuler de commentaires particuliers en ce sens qu'ils sont conformes à ceux attendus : les résultats sont semblables à ceux observés pour des matrices identiques prélevées en d'autres endroits de la région.

En conclusion, les mesures faites par spectrométrie gamma suggèrent que les activités passées du GIP CYCERON n'ont pas été à l'origine d'un marquage[4] durable[5] de l'environnement.

[4] à des niveaux significatifs et par des radionucléides émetteurs gamma
[5] décelable sur une période égale ou supérieure à 8 jours.

2 – Cartographie du rayonnement gamma ambiant

2 – a) Cadre général

L'approche consiste à vérifier, à l'extérieur des bâtiments, le niveau d'exposition dû au rayonnement gamma. On cherche ainsi à mettre en évidence toute augmentation du rayonnement ambiant, laquelle pourrait avoir comme origine possible :

- une accumulation localisée de radionucléides, déposés ou en suspension dans l'air, à la suite de rejets avec les effluents gazeux ;
- l'existence d'une source d'irradiation à l'intérieur des bâtiments.

En relation avec la première des origines, l'étendue concernée par les investigations a été définie de manière à intégrer la totalité des 3 ha du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON car il s'agit de la zone la plus sensible aux dépôts atmosphériques[6].

L'évaluation repose sur la mise en œuvre *in situ* d'un appareil portatif adapté à la détection des rayonnements gamma, en l'occurrence le DG5 de Novelec. Cet appareil est basé sur l'utilisation d'un capteur à scintillation et d'une électronique à microcontrôleur effectuant l'acquisition et l'interprétation des mesures selon le principe de l'information quantifiée (brevet CEA). L'information délivrée est exprimée en chocs/seconde (c/s) et se réfère au nombre de rayonnements gamma détectés dès lors que leur énergie est supérieure à 50 keV.

Du fait de la rapidité d'acquisition du DG5 et de la fiabilité de la mesure, il n'a pas été procédé à des mesures statiques en plusieurs endroits selon un maillage prédéfini (cas de figure habituel) mais à un balayage selon des parcours étudiés de manière à fournir des grandeurs représentatives pour la totalité de la zone étudiée.
A chaque fois que le seuil fixé a été dépassé, l'approche a consisté à évaluer la superficie concernée et à noter la valeur la plus forte ; valeur déterminée de manière statique.
Lorsque le long d'un parcours le seuil n'a pas été dépassé, une ou plusieurs valeur(s), qualifiée(s) de représentative(s) a (ont) été notée(s) après avoir été obtenue(s) en position statique.

Il faut souligner que la valeur retenue pour une mesure statique correspond toujours à la moyenne de vingt acquisitions faites successivement au même point. De cette manière, il est possible d'obtenir une grandeur représentative du rayonnement gamma ambiant du lieu eu égard aux fluctuations statistiques de ce dernier.

La mise en évidence d'une situation radiologique atypique s'est faite par comparaison à **un seuil de discrimination (SD),** lui même exprimé en chocs/seconde et obtenu dans les mêmes conditions de mesure. Ce seuil de discrimination correspond, en fonction de la nature des sols (terre *vs* bitume) à la plus forte valeur obtenue lors de mesures statiques en des endroits non influencés par les activités de CYCERON et similaires en terme de composante radiologique (voir annexe 2, ch.A2-a).

- **Dans le cas d'une terre de remblai** (cas autour de CYCERON), les mesures statiques de bruit de fond oscillent de 93,1 à 102,4 chocs/seconde et **le seuil de discrimination a été fixé à 102,4 c/s**.
- **Dans le cas d'une voirie bitumée**, les mesures statiques de bruit de fond oscillent de 113,2 à 141,8 chocs/seconde et **le seuil de discrimination a été fixé à 141,8 c/s**.

Plusieurs campagnes ont été organisées entre le 18 et le 24 novembre 2003. La principale d'entre elles, a eu lieu le 18 novembre et a donné lieu à une cartographie détaillée. Par la suite, les campagnes faites les 19, 20 et 24 novembre, moins fournies, ont eu pour objectif de comprendre les situations radiologiques atypiques mises en évidence le 18 novembre.

[6] D'après l'évaluation faite à l'aide du code GASCON (voir dossier d'enquête publique déposé par CYCERON, version du 17 juin 2003).

Il est possible de résumer la démarche ainsi :

- 18/11 : évaluation exhaustive (de 14:00 à 17:30) durant une journée de fonctionnement ; *évaluation toutes contributions confondues*.
- 19/11 : évaluation partielle (de 16:00 à 17:00) durant une journée de fonctionnement ; *vérification de la rémanence des surexpositions mises en évidence la veille*.
- 20/11 : évaluation partielle (de 14:30 à 15:30) durant une journée de fonctionnement ; *recherche de nouvelles surexpositions*.
- 24/11 : évaluation partielle (de 10:00 à 11:00) après 48h d'arrêt de fonctionnement ; *évaluation de la résultante « durable » due à une contamination de l'environnement par des radionucléides de longue période*.

2 – b) Commentaire de résultats

Par la suite, afin d'apprécier les écarts en s'affranchissant des fluctuations du bruit de fond, les résultats sont tous exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD). Ainsi, toute valeur strictement supérieure à 0% du SD témoigne d'une situation radiologique jugée atypique et une valeur de +100% du SD représente approximativement une valeur double de celle du bruit de fond.

2-b.α) La campagne du 18 novembre

Le 18 novembre, la totalité des 3 ha du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON a été balayée entre 14h00 et 17h30. Au total, 68 mesures statiques ont été faites pour renseigner sur le rayonnement gamma ambiant et sa distribution spatiale.
Il faut ajouter qu'il a été procédé en sus, ce même jour, à une caractérisation du rayonnement gamma ambiant autour du local à déchets radioactifs, situé à l'extérieur (fig. 5).

La localisation des mesures statiques est indiquée sur la figure 3, les valeurs s'y rapportant (exprimées en ± X% du SD) sont représentées graphiquement sur la figure 4 et la totalité des données est détaillée dans le tableau 8, annexe 2. Pour le local à déchets radioactifs, les références sont respectivement : figure 5, figure 6 et tableau 9 de l'annexe 2.

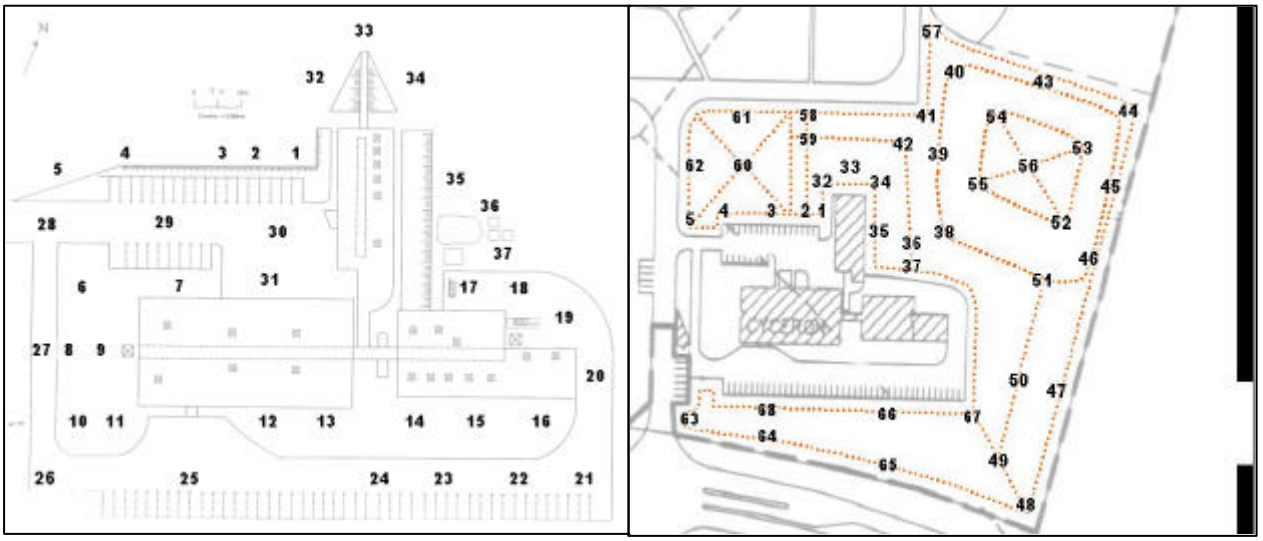


Figure 3 : Localisation des mesures statiques du rayonnement gamma ambiant effectuées sur les 3 ha du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON – campagne du 18/11/03.

Parmi les 68 mesures statiques, 24 fournissent des valeurs supérieures au seuil de discrimination (SD) et l'excès dépasse +10% du SD dans 45% des cas et atteint jusqu'à +134% du SD (point 7).

Concernant les valeurs supérieures au SD, elles ne sont pas regroupées dans une même zone mais égrainées autour des bâtiments.

Plusieurs situations radiologiques sont observées :

- Au point 7, on note une augmentation du rayonnement ambiant (+134% du SD) sur plusieurs m² sans variation apparente en fonction de la distance au bâtiment.
- Au point 18, on note une légère élévation du rayonnement ambiant (+16% du SD) sur quelques m² avec une augmentation très nette au fur et à mesure que l'on s'approche du local à déchets radioactifs, notamment du point G (+2700% du SD).
- A l'entrée du bâtiment (porte ouest), on observe une légère augmentation du rayonnement ambiant sur une centaine de m² au moins (+27% du SD au point 30), laquelle atteint sont paroxysme au point 31 (+118% du SD sur 1 m²) situé à 3 m du bâtiment. Au pied du bâtiment, les valeurs enregistrées lors d'un balayage n'excèdent pas la valeur du SD.
- Concernant les autres points supérieurs au SD, les augmentations sont géographiquement localisées à quelques m², voire dizaines de m², éparpillés autour des bâtiments.

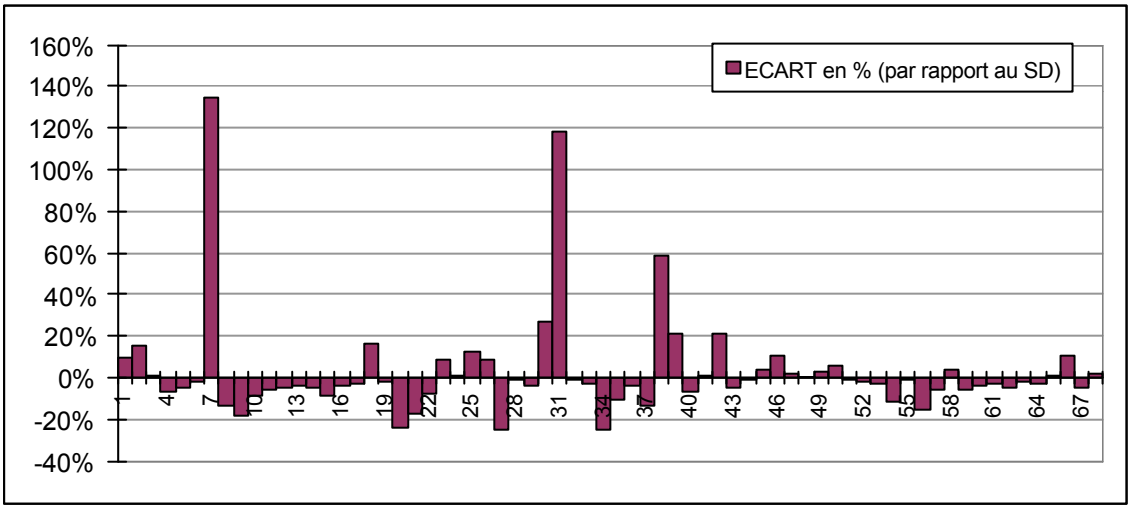


Figure 4 : niveaux du rayonnement gamma ambiant mesurés le 18/11/03 et exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD).

Le cas du local à déchets radioactifs

A l'extérieur du local et juste au contact de celui-ci, 8 mesures statiques ont été faites ; elles sont référencées de B à I. Les résultats montrent que le rayonnement ambiant n'est pas homogène et fluctue dans des proportions qui peuvent atteindre 3 ordres de grandeur. On note ainsi des valeurs qui sont pour les points C, D et E inférieures au SD alors que pour les autres points, elles dépassent le seuil de discrimination pour atteindre +2700% du SD au point G.

Lorsqu'on s'écarte du local, les niveaux décroissent très rapidement et deviennent, à 5 m au plus, inférieurs au SD.
Considérant l'accès au bâtiment principal (point A), il faut souligner que la valeur statique obtenue à la porte est inférieure au SD. Il n'y a donc pas de surexposition gamma à considérer dans cette direction.

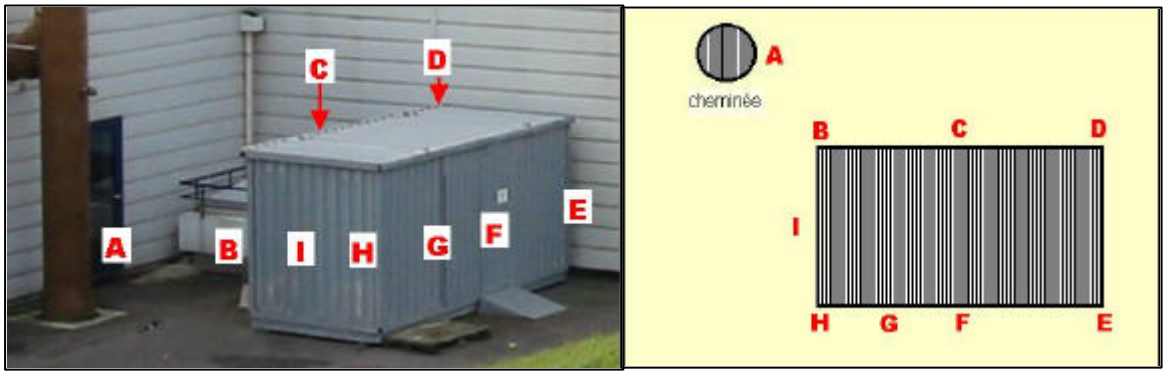


Figure 5 : Localisation des mesures statiques du rayonnement gamma ambiant effectuées autour du local à déchets radioactifs du GIP CYCERON – campagne du 18/11/03.

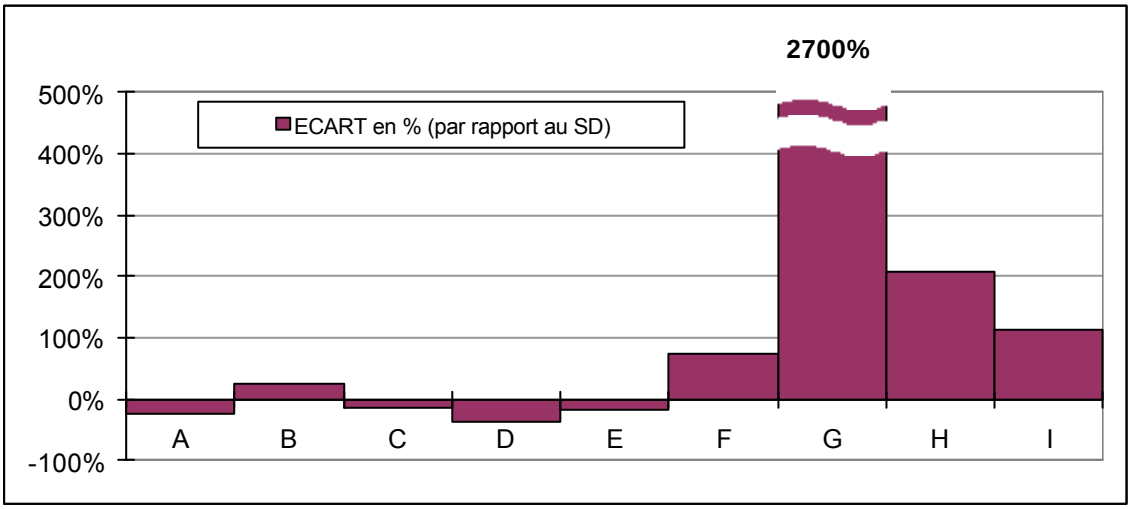


Figure 6 : niveaux du rayonnement gamma ambiant mesurés le 18/11/03 autour du local à déchets radioactifs et exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD).

Observations (campagne du 18 novembre) :

Hormis à proximité du local à déchets radioactifs où la présence de sources à l'intérieur de celui-ci est à l'origine de l'augmentation du rayonnement ambiant, les anomalies relevées ce jour sont à rapprocher de la présence dans l'environnement de radionucléides artificiels en suspension dans l'air et/ou déposés sur le sol.

2-b.β) La campagne du 19 novembre

La campagne du 19 novembre a concerné partiellement l'environnement du GIP CYCERON. Il s'agissait d'évaluer la rémanence de certaines surexpositions mises en évidence la veille.
Dans ce contexte, il a été principalement procédé à un balayage autour des bâtiments (« au pied de ceux-ci »), aux endroits où les valeurs les plus fortes avaient pu être observées le 18/11/03.

La localisation des mesures statiques est indiquée sur la figure 7, les valeurs s'y rapportant (exprimées en ± X% du SD) sont représentées graphiquement sur la figure 8 et la totalité des données est détaillée dans le tableau 10 de l'annexe 2.

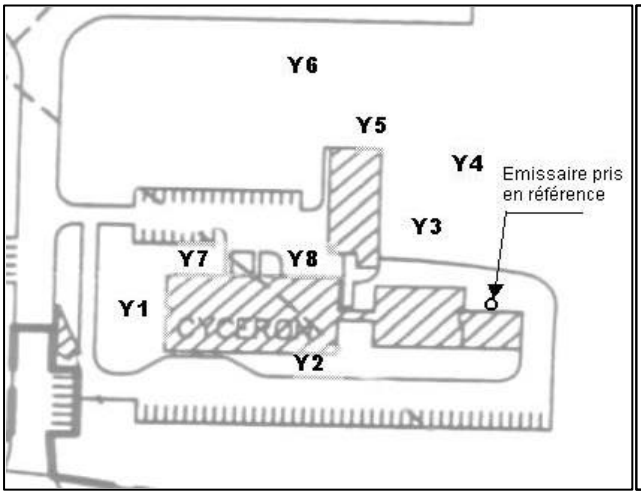


Figure 8 : Localisation des mesures statiques du rayonnement gamma ambiant effectuées autour du GIP CYCERON – campagne du 19/11/03.

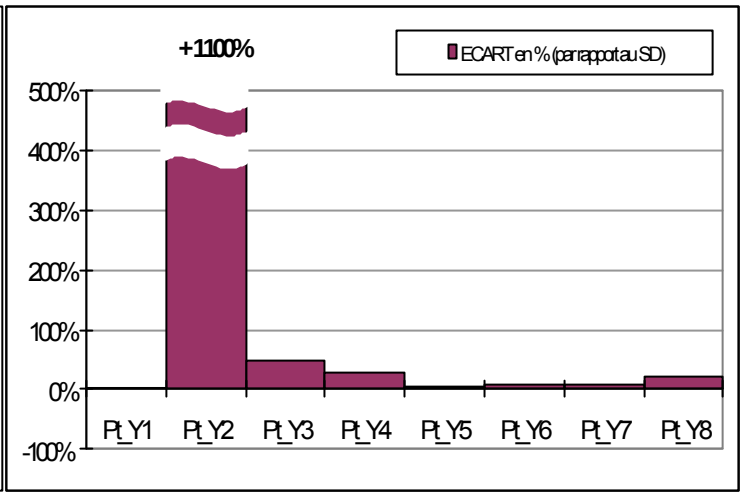


Figure 7 : niveaux du rayonnement gamma ambiant mesurés le 19/11/03 et exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD).

Par rapport au jour d'avant, des différences notables sont observées :

- Aux points 7 (Y7) et 31 (Y8), où les valeurs statiques étaient respectivement de +137% et +118% du SD la veille, on n'enregistre plus que des valeurs proches du seuil de discrimination avec +20% au maximum.
- A contrario, au point 12 (Y2) où aucune anomalie n'avait été mise en évidence, on relève environ +1100% du SD le 19 novembre. Cet excès est mesuré à 3 m du bâtiment et les niveaux décroissent lorsqu'on s'éloigne de ce point, notamment en se rapprochant du bâtiment. La superficie concernée par cette excès dépasse la dizaine de m².
- Au point 36 (Y3), le précédent cas de figure se répète. A une journée d'intervalle, le résultat qui était inférieur au seuil de discrimination passe ainsi à +50% du SD. Une dizaine de m² est concernée par cette augmentation.

En revanche, la situation reste identique autour du local à déchets radioactifs.

Il convient d'ajouter que le balayage effectué autour des bâtiments n'a pas révélé l'existence d'autres anomalies que celles évoquées ci-dessus.

Observations (campagne du 19 novembre) :
Hormis à proximité du local à déchets radioactifs où la présence de sources à l'intérieur de celui-ci est toujours à l'origine d'une augmentation du rayonnement ambiant dans des proportions similaires, les anomalies relevées ce jour sont, comme le jour d'avant, à rapprocher de la présence fluctuante dans l'environnement de radionucléides artificiels en suspension dans l'air et/ou déposés sur le sol.

2-b.χ) La campagne du 20 novembre

La campagne du 20 novembre a concerné partiellement l'environnement du GIP CYCERON. Il s'agissait d'apprécier la variabilité spatiale des niveaux d'exposition. Dans ce contexte, il a été procédé à un balayage autour des bâtiments « aux pieds de ceux-ci » et à la clôture.

La localisation des mesures statiques est indiquée sur la figure 9, les valeurs s'y rapportant (exprimées en ±X% du SD) sont représentées graphiquement sur la figure 10 et la totalité des données est détaillée dans le tableau 11 de l'annexe 2.

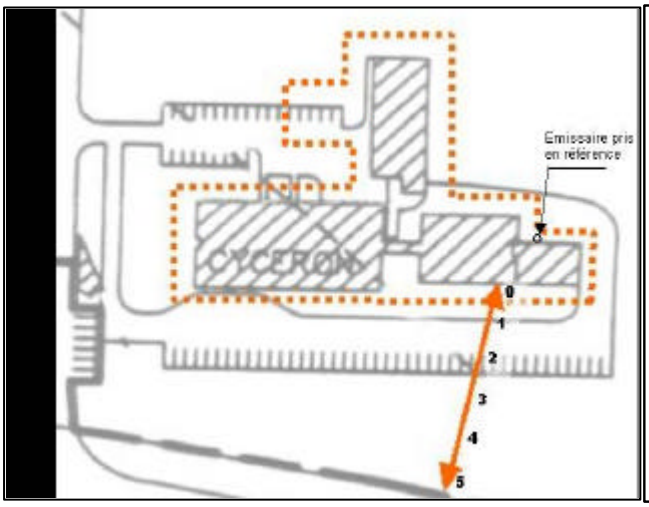


Figure 9 : Localisation des mesures statiques du rayonnement gamma ambiant effectuées autour du GIP CYCERON et description du parcours effectué autour des bâtiments – campagne du 20/11/03.

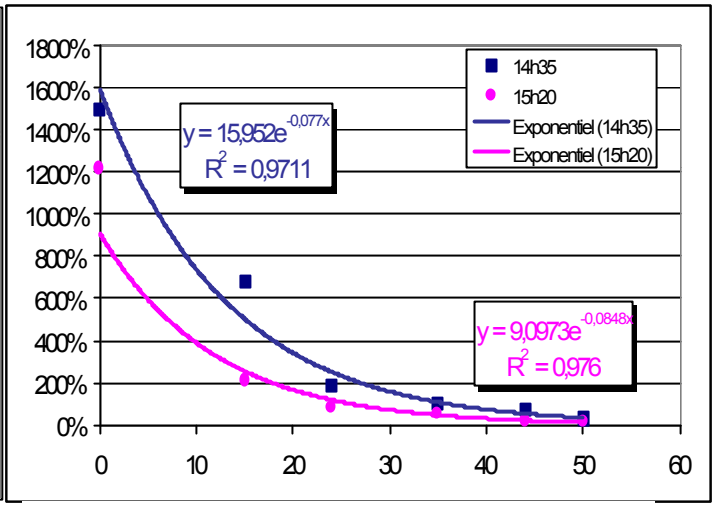


Figure 10 : niveaux du rayonnement gamma ambiant mesurés le 20/11/03 et exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD). Distribution des valeurs en fonction de l'éloignement au bâtiment

Ce jour là, le balayage autour des bâtiments et à la clôture n'a révélé qu'une seule anomalie. Dans tous les autres cas, les mesures faites de manière dynamique n'ont jamais excédé le seuil de discrimination y compris aux endroits où des anomalies avaient été détectées les jours précédents[7].

Concernant l'anomalie de ce jour, elle est observée selon un axe depuis le bâtiment Est (à proximité du point 15 – fig. 3) jusqu'à la clôture située le long du boulevard Becquerel ; environ 50 m séparent les deux extremums. Au pied du bâtiment, on enregistre +1500% du SD à 14h35, niveau qui s'atténue selon une loi exponentielle avec l'éloignement pour atteindre +29% du SD à la clôture. A 15h20, soit presque une heure après, le phénomène est encore visible mais est moins intense.

Observations (campagne du 19 novembre) :
L'anomalie relevée ce jour n'est pas à rapprocher de la présence dans l'environnement de radionucléides mais de l'existence d'une source d'irradiation située à l'intérieur du bâtiment.
Cette dernière n'émet pas dans tout l'espace (4π). Le faisceau est « pincé » puisque à l'aplomb des bâtiments et parallèle à ceux-ci, l'atténuation est beaucoup plus forte que perpendiculairement. On retrouve ainsi lorsqu'on s'éloigne de l'endroit où la valeur la plus forte est notée, des valeurs proches du seuil de discrimination en quelques mètres le long d'une droite parallèle aux bâtiments alors que le long d'une droite perpendiculaire au bâtiment les valeurs sont encore significatives à 50 m, soit à la clôture (limite d'investigation).

[7] Exception faite des environs immédiats du local à déchets radioactifs.

2-b.δ) La campagne du 24 novembre

La campagne du lundi 24 novembre a concerné partiellement l'environnement du GIP CYCERON. Il s'agissait de vérifier la résultante du rayonnement gamma ambiant après 48h d'arrêt de fonctionnement et donc de rejets d'effluents gazeux radioactifs dans l'atmosphère.

Dans ce contexte, il a été procédé principalement à un balayage autour des bâtiments « aux pieds de ceux-ci » et à la clôture. Onze résultats (mesures statiques) ont été notés pour traduire la situation. Ils concernent presque tous des endroits où des anomalies avaient pu être observées du 18 au 20/11/03.

La localisation des mesures statiques est ind iquée sur la figure 11, les valeurs s'y rapportant (exprimées en ±X% du SD) sont représentées graphiquement sur la figure 12 et la totalité des données est détaillée dans le tableau 12 de l'annexe 2.

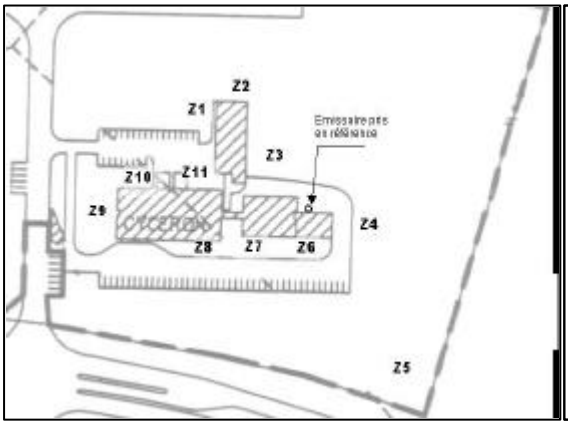


Figure 11 : Localisation des mesures statiques du rayonnement gamma ambiant effectuées autour du GIP CYCERON – campagne du 24/11/03.

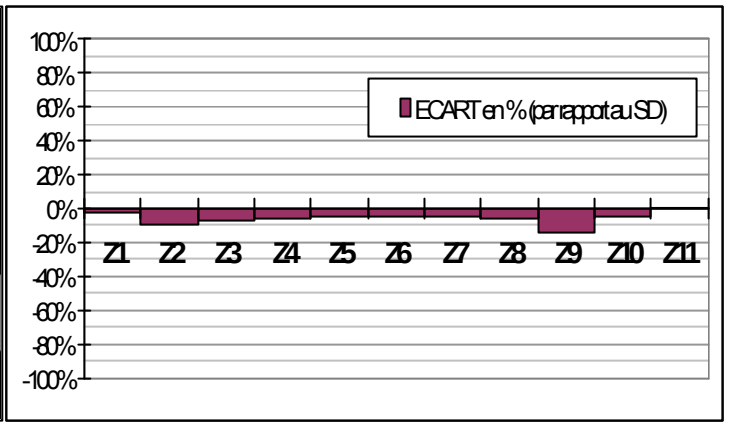


Figure 12 : niveaux du rayonnement gamma ambiant mesurés le 24/11/03 et exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD).

Observations (campagne du 24 novembre) :
Ce jour là et hormis à proximité du local à déchets radioactifs, le balayage autour des bâtiments et de la clôture n'a révélé aucune anomalie, les valeurs obtenues (de manière statique et dynamique) étaient toutes inférieures ou égales au seuil de discrimination.

2-b.ε) Conclusion

Indépendamment du fonctionnement de l'installation, on observe une augmentation du rayonnement gamma ambiant uniquement à proximité du local à déchets radioactifs. Celle-ci résulte *a priori* de l'entreposage, à cet endroit, d'éléments de l'ancien cyclotron.
L'augmentation induite est modérée puisqu'à 5 m au plus dans l'axe le plus concerné par l'irradiation, les valeurs enregistrées n'excèdent pas le bruit de fond.

En relation avec le fonctionnement de l'installation, une augmentation du rayonnement gamma ambiant peut être observée – et ceci de façon fluctuante – en plusieurs endroits des 3 ha où est implanté le GIP CYCERON. Deux causes distinctes sont à considérer :

- le relâchement de radionucléides dans l'atmosphère avec les effluents gazeux ;
- le rayonnement de source(s) radioactive(s) située(s) à l'intérieur des bâtiments.

Dans le premier cas, l'augmentation induite est géographiquement disséminée autour des bâtiments (effet « taches ») dans des proportions qui peuvent être très variables d'un endroit à l'autre mais qui semblent s'atténuer avec l'éloignement par rapport à l'installation.
Du fait de la très courte période des radionucléides rejetés et de l'importance jouée par les conditions météorologiques sur la distribution spatiale des radionucléides émis, une situation radiologique observée ne se répète pas d'un jour sur l'autre. Il existe une grande variabilité des niveaux dans le temps, que les mesures faites dans le cadre de ce travail ne permettent pas de cerner.
Durant la semaine d'investigations, la plus forte valeur mesurée en relation avec cette origine a été d'environ +1100% du SD, soit un excès d'environ 11 fois le bruit de fond. C'est à seulement quelques mètres des bâtiments qu'a été obtenu ce résultat comme tous ceux qui sont significativement élevés. Aux limites cadastrales, rares sont les anomalies qui ont pu être notées durant la même période et lorsque le cas s'est produit, l'excès constaté était particulièrement faible avec des valeurs atteignant au plus +10% du SD.

Dans le second cas, l'augmentation induite dépend vraisemblablement de manipulations particulières opérées à l'intérieur des bâtiments ; lesquelles ne sont pas effectuées tous les jours et en tout instant d'une journée donnée. Par définition, l'anomalie n'existe que le temps des manipulations.
Pour le seul cas observé, celui du 20/11, l'augmentation était géographiquement localisée et concernait une étendue le long d'un axe depuis les bâtiments (B139) jusqu'à la clôture le long du boulevard becquerel (soit 50 m plus loin). Pour information, les niveaux mesurés atteignaient +1500% du SD au pied du bâtiment et +29% du SD à la clôture.

Après arrêt de l'installation (48h au minimum), on n'observe aucune augmentation du rayonnement gamma ambiant sur les 3 ha où est implanté le GIP CYCERON, hormis à proximité du local à déchets radioactifs (voir le premier paragraphe).
Le relâchement de radionucléides avec les effluents gazeux ne conduit donc pas à un marquage durable de l'environnement qui aurait pour conséquence d'entraîner une surexposition.

3 – Mesures neutrons

3 – a) Cadre général

L'approche consiste à vérifier, à l'extérieur des bâtiments, le niveau d'exposition dû aux neutrons émis lors d'une session de production de radionucléides à l'aide du cyclotron.

Pour ce faire on recourt à des acquisitions dans différentes directions à proximité de la casemate abritant le cyclotron et durant le fonctionnement de ce dernier (production de ^{18}FDG).

L'évaluation repose sur la mise en ouvre *in situ* d'un appareil portatif adapté, le LB6411 de EG&G BERTHOLD. La détection s'effectue à l'aide d'un compteur proportionnel (le gaz utilisé est l'hélium 3) placé à l'intérieur d'une sphère modératrice en polyéthylène.

Deux campagnes de mesures ont été réalisées :

- le 20/11, autour de la casemate et à hauteur d'homme ;
- le 21/11, sur le toit de la casemate.

3 – b) Résultats

Par la suite, les résultats de débit de dose sont exprimés en µSv/h et sont obtenus par intégration sur un certain laps de temps (au moins 10mn). Pour information, le bruit de fond mesuré dans les mêmes conditions est de 0,010 ± 0,007µSv/h.

3-b.α) La campagne du 20 novembre

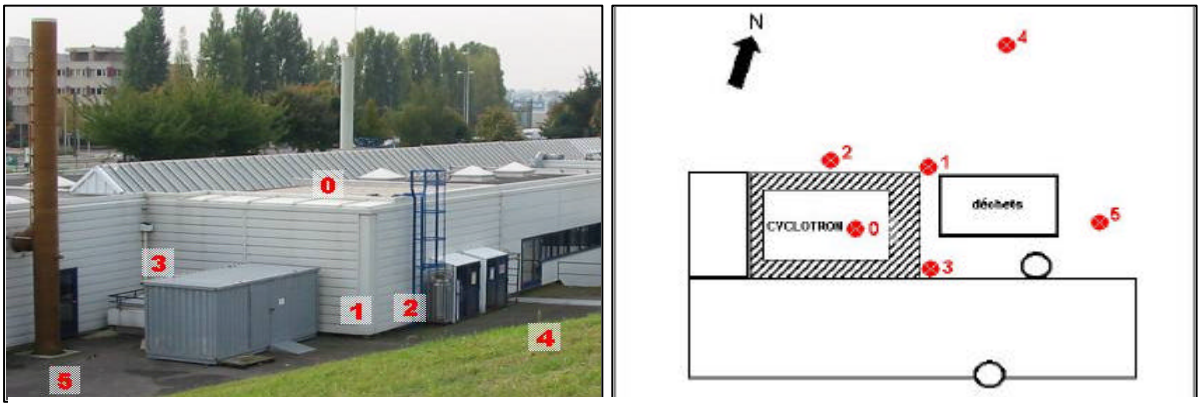


Figure 13 : Localisation des points de mesure de dose équivalente neutron ambiant autour du bâtiment abritant le cyclotron. Campagnes réalisées les 19,20 et 21 novembre 2003.

Tableau 1 : Débit de dose équivalent neutron ambiant (en µSv/h) mesuré le 20/11/03, entre 7h30 et 8h30, autour du bâtiment abritant le cyclotron ; séquence de production de ^{18}FDG à l'aide d'un faisceau de protons de 20µA.

site	le 20/11/03 de 7h30 à 8h30
Pt_1	0,017
Pt_2	0,008
Pt_3	0,021
Pt_4	0,015
Pt_5	0,008
	Mesure intégrée sur 15 min
	Incertitude (2σ) de 50% sur la mesure

3-b.β) La campagne du 21 novembre

Tableau 2 : Débit de dose équivalent neutron ambiant (µSv/h) mesuré le 21/11/03 sur le toit du bâtiment abritant le cyclotron (point 0).

heures d'intégration		Dose équivalente
début	fin	neutron ambiante (µSv/h)
07:25	07:40	0,018
07:40	07:55	0,21
07:55	08:10	0,28
08:10	08:25	0,27
08:25	08:40	0,16
08:40	08:55	0,013
08:55	09:10	0,008
09:10	09:25	0,007
09:25	09:40	0,008
09:40	09:55	0,006
09:55	10:10	0,007
10:10	10:25	0,013
10:25	10:40	0,018
10:40	10:55	0,011
10:55	11:10	0,013
11:10	11:25	0,016
11:25	11:40	0,008
11:40	11:55	0,013
11:55	12:10	0,018

Séquence de fonctionnement du cyclotron (7h30 à 8h30). Production de ^{18}FDG avec un faisceau de proton à 20 µA.

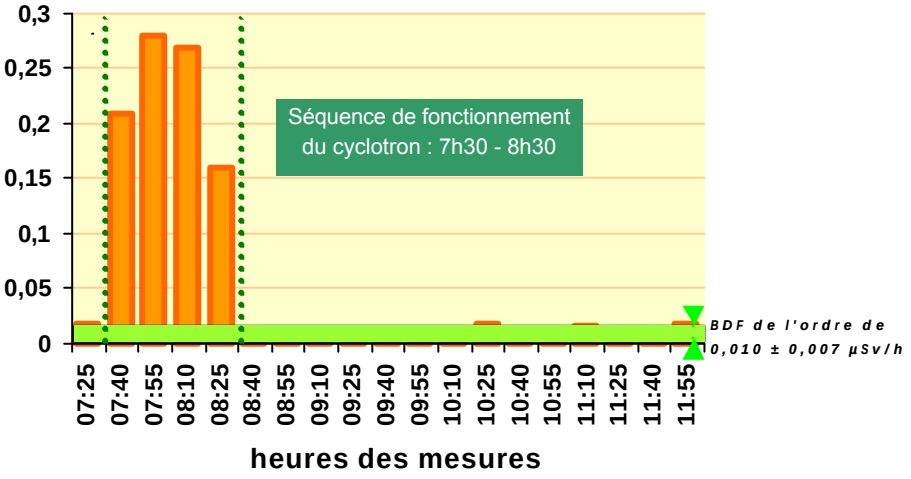


Figure 14 : représentation graphique du débit de dose équivalent neutron ambiant (µSv/h) mesuré sur le toit de la casemate du cyclotron (point 0) le 21/11/03.

3 – c) Commentaire des résultats

Les mesures faites durant une séquence de fonctionnement du cyclotron (production de ^{18}FDG) mettent en évidence :

- l'absence de surexposition significative autour de la casemate à hauteur d'homme ;
- une augmentation très nette du rayonnement neutron ambiant (d'environ 20 fois le bruit de fond) exclusivement sur le toit de la casemate.

Annexe 1 :
Résultats des mesures par spectrométrie gamma

Tableau - 3 : teneurs (Bq/kg sec) en radioéléments émetteurs gamma des sols prélevés le 18/11/03 dans le domaine terrestre autour du GIP CYCERON.

n° d'enregistrement		181103-CYC-03	181103-CYC-04	181103-CYC-05	181103-CYC-06	181103-CYC-02
n° de manipulation		4377	4378	4376	4359	4353
Géométrie (en cc)		500	500	500	500	500
âge de l'échantillon (jours)		22	24	21	14	9
âge du conditionnement (jours)		15	16	14	7	2
Date		18-nov-03	18-nov-03	18-nov-03	18-nov-03	18-nov-03
distance / emissaire		60 m	72 m	72 m	80 m	environ 200m
Localisation GPS		30U 069 2423 UTM 545 4497	30U 069 2447 UTM 545 4390	30U 069 2361 UTM 545 4382	30U 069 2325 UTM 545 4479	champ cultivé au NNE
Station (code)		**1.2.A**	**1.2.B**	**1.2.C**	**1.2.D**	**2.1**
Dénomination		sols [0-10cm]	sols [0-10cm]	sols [0-10cm]	sols [0-10cm]	sols [0-10cm]
Psec / Pfrais		78%	76%	77%	75%	81%
Densité analysée		1,20	1,1	1,20	1,20	1,30
22 Na : sodium 22	2,6 ans	< 0,6	< 0,5	< 0,6	< 0,4	< 0,5
26 Al : aluminium 26	7,4 10^5 ans	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,3	< 0,3
60 Co : Cobalt 60	5,3 ans	< 0,6	< 0,4	< 0,6	< 0,3	< 0,4
134 Cs : Césium 134	2,07 ans	< 0,5	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,4
137 Cs : Césium 137	***30,0 ans***	***0,54 ± 0,30***	***3,3 ± 0,5***	***< 0,6***	***3,1 ± 0,5***	***3,6 ± 0,5***
152 Eu : europium 152	13,4 ans	< 2	< 0,9	< 2	< 0,6	< 0,9
154 Eu : europium 154	8,5 ans	< 0,8	< 0,6	< 0,8	< 0,5	< 0,6
234 Th (63,3)	Ch. 238U	29 ± 12	30 ± 12	34 ± 14	35 ± 14	38 ± 15
234m Pa	Ch. 238U	< 77	< 68	< 84	< 48	46 ± 27
226 Ra (max)	Ch. 238U	68 ± 11	73 ± 11	69 ± 11	78 ± 11	84 ± 12
214 Pb	Ch. 238U	35,5 ± 4,9	39,1 ± 5,2	36,0 ± 5,0	37,1 ± 4,8	36,1 ± 4,8
228 Ac	Ch. 232Th	38,9 ± 5,3	41,6 ± 5,8	42,5 ± 6,2	40,7 ± 5,4	42,2 ± 5,8
212 Pb	Ch. 232Th	38,5 ± 4,7	37,9 ± 4,5	40,0 ± 4,9	39,4 ± 4,7	41,4 ± 5
40 K	1,3 10^9 ans	443 ± 54	455 ± 55	462 ± 56	459 ± 55	475 ± 58
7 Be	53,2 jours	< 6	< 5	< 6	< 3	< 4

Tableau - 4 : teneurs (Bq/kg sec ou Bq/L) en radioéléments émetteurs gamma des eaux et lentilles d'eau prélevées le 18/11/03 dans le bassin d'orage du GIP CYCERON.

n° d'enregistrement		181103-CYC-08	181103-CYC-07
n° de manipulation		4357	4347
Géométrie (en cc)		500	500
âge de l'échantillon (jours)		13	1,8
âge du conditionnement (jours)		3	1
Date		18-nov-03	18-nov-03
distance / emissaire		environ 100m	environ 100m
Localisation GPS		bassin d'orage au nord	bassin d'orage au nord
Station (code)		**1.1**	**1.1**
Dénomination		eau douce	lentilles d'eau
Psec / Pfrais		-	7%
Densité analysée		1,00	0,80
22 Na : sodium 22	2,6 ans	< 0,04	< 5
26 Al : aluminium 26	7,4 10^5 ans	< 0,03	< 4
60 Co : Cobalt 60	5,3 ans	< 0,03	< 5
134 Cs : Césium 134	2,07 ans	< 0,03	< 4
137 Cs : Césium 137	**30,0 ans**	**< 0,04**	**< 5**
152 Eu : europium 152	13,4 ans	< 0,05	< 7
154 Eu : europium 154	8,5 ans	< 0,04	< 5
234 Th (63keV)	Ch. 238U	-	-
234m Pa	Ch. 238U	-	< 872
226 Ra (max)	Ch. 238U	-	-
214 Pb	Ch. 238U	-	-
228 Ac	Ch. 232Th	-	-
212 Pb	Ch. 232Th	-	-
40 K	1,3 10^9 ans	-	753 ± 113
7 Be	53,2 jours	-	72 ± 21

Tableau - 5 : teneurs (Bq/kg sec) en radioéléments émetteurs gamma des indicateurs biologiques prélevées du 18/11/03 au 05/12/03 dans le domaine terrestre autour du GIP CYCERON.

n° d'enregistrement		181103-CYC-11	181103-CYC-10	181103-CYC-12	181103-CYC-13	181103-CYC-01	181103-CYC-09
n° de manipulation		4369	4364	4370	4371	4329	4372
Géométrie (en cc)		500	500	500	500	500	500
âge de l'échantillon (jours)		1,1	0,13	1,1	2,1	14	20
âge du conditionnement (jours)		1,1	0,13	1,1	2,1	10	10
Date		04-déc-03	04-déc-03	05-déc-03	05-déc-03	13-oct-03	18-nov-03
distance / emissaire		60 m	72 m	72 m	80 m	environ 200m	environ 150m
Localisation		30U 069 2423 UTM 545 4497	30U 069 2447 UTM 545 4390	30U 069 2361 UTM 545 4382	30U 069 2325 UTM 545 4479	champ cultivé au NNE	prox hôtel au NE
Station (code)		**1.2.A**	**1.2.B**	**1.2.C**	**1.2.D**	**2.1**	**3.1**
Dénomination		Herbe	Herbe	Herbe	Herbe	grains de maïs	aiguilles de Pin
Psec / Pfrais		32%	20%	32%	35%	81%	44%
Densité analysée		0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,40
22 Na : sodium 22	2,6 ans	< 2	< 3	< 3	< 2	< 0,6	< 2
26 Al : aluminium 26	$7,4\ 10^{5}$ ans	< 2	< 3	< 2	< 2	< 0,4	< 2
60 Co : cobalt 60	5,3 ans	< 3	< 3	< 2	< 2	< 0,4	< 1
134 Cs : césium 134	2,07 ans	< 2	< 3	< 2	< 2	< 0,4	< 1
137 Cs : césium 137	***30,0 ans***	***< 2***	***< 3***	***< 2***	***< 2***	***< 0,4***	***< 1***
152 Eu : europium 152	13,4 ans	< 3	< 5	< 3	< 3	< 0,6	< 3
154 Eu : europium 154	8,5 ans	< 2	< 3	< 2	< 2	< 0,5	< 1
234 Th (63keV)	Ch. 238U	-	-	-	-	-	-
234m Pa	Ch. 238U	< 336	< 412	< 336	< 312	< 68	< 128
226 Ra (max)	Ch. 238U	-	-	-	-	-	-
214 Pb	Ch. 238U	-	-	-	-	-	-
228 Ac	Ch. 232Th	-	-	-	-	-	-
212 Pb	Ch. 232Th	-	-	-	-	-	-
40 K	$1,3\ 10^{9}$ ans	488 ± 67	732 ± 101	383 ± 54	393 ± 55	157 ± 21	167 ± 26
7 Be	53,2 jours	486 ± 60	371 ± 48	460 ± 56	372 ± 46	< 0,4	47,2 ± 8,4

Annexe 2 :
Résultats des mesures du rayonnement ambiant

A2 – a) Bruit de fond & définition du seuil de discrimination

Tableau 6 : **Bruit de fond – terre**. Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits (sols constitués de terre) a priori non influencés par les activités du GIP CYCERON.

	longitude	latitude			distance	mesure		
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)		
Site	**GPS 30U**	**GPS UTM**	**date**	**heure**	**en m**	**moy**	**mini**	**maxi**
émissaire	**2398**	**4442**						
Mesure du bruit de fond (ACRO)								
acro_1	5215	3719	18/11/03	13h30	2908	84,9	76	99
acro_2	5215	3719	19/11/03	15h45	2908	83,8	75	93
acro_3	5215	3719	20/11/03	14h20	2908	82.5	71	105
acro_4	5215	3719	20/11/03	15h30	2908	88.1	79	99
acro_5	5215	3719	24/11/03	10h00	2908	84.2	74	95
		synthèse pour la période concernée :				**84,7**	**82,5**	**88,1**
Mesure du bruit de fond (campus Jules HOROWITZ)								
campus JH_1	2252	4385	18/11/03	14H00	157	99.9	92	113
campus JH_2	2252	4385	18/11/03	17h05	157	93,1	87	107
campus JH_3	2252	4385	19/11/03	16h00	157	**102,4**	93	111
campus JH_4	2252	4385	20/11/03	15h20	157	100.0	86	111
campus JH_5	2252	4385	24/11/03	10h20	157	100.4	88	116
		synthèse pour la période concernée :				**99,1**	**93,1**	**102,4**
Mesure du bruit de fond (zone d'activité du CITIS)								
Citis_1	2895	4964	20/11/03	14h26	721	97,8	89	107
Citis_2	2735	4556	20/11/03	14h35	356	98,1	89	108
		synthèse pour la période concernée :				**98.0**	**97.8**	**98.1**

Tableau 7 : **Bruit de fond – voiries**. Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 pour différentes voiries bitumées a priori non influencées par les activités du GIP CYCERON

	longitude	latitude			distance	mesure		
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)		
Site	**GPS 30U**	**GPS UTM**	**date**	**heure**	**en m**	**moy**	**mini**	**maxi**
émissaire	**2398**	**4442**						
Mesure du bruit de fond (de voiries autour de ACRO)								
acro_voie_1			18/11/03	19h00	2900	136,2	119	146
acro_voie_2			18/11/03	19h00	2900	125,6	112	143
acro_voie_3			18/11/03	19h01	2900	113,2	105	128
acro_voie_4			18/11/03	19h02	2900	141,8	127	156
		synthèse pour la période concernée :				**129**	**113,2**	**141,8**

A2 – b) Résultats campagne du 18/11/03

Tableau 8 : Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits autour du GIP CYCERON le 18/11/03.

	longitude	latitude			distance	mesure			Ecart
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)			en % du SD
Site	**GPS 30U**	**GPS UTM**	**date**	**heure**	**en m**	**moy**	**mini**	**maxi**	
émissaire	**2398**	**4442**							
Références prises comme seuil de discrimination (SD)									
	valeur retenue pour les sols constitués de terre :							102,4	
	valeur retenue pour les voiries bitumées :							141,8	
les lignes grisées correspondent à des mesures faites sur les voiries bitumées									
résultats sans soustraction du BDF									
1	2347	4452	18/11/03	14h00	52	112	105	124	9%
2	2333	4452	18/11/03	14h03	66	118	111	126	15%
3	2320	4450	18/11/03	14h06	78	104	93	113	1%
4	2305	4446	18/11/03	14h09	93	96	89	116	-6%
5	2299	4437	18/11/03	14h12	99	97	85	104	-5%
6	2306	4420	18/11/03	14h15	95	100	91	108	-2%
7	2326	4428	18/11/03	14h18	73	240	220	260	134%
8	2308	4411	18/11/03	14h21	95	88	82	96	-14%
9	2318	4408	18/11/03	14h24	87	84	74	88	-18%
10	2311	4395	18/11/03	14h27	99	94	89	98	-8%
11	2322	4397	18/11/03	14h30	88	97	89	106	-6%
12	2350	4402	18/11/03	14h33	62	98	84	109	-4%
13	2365	4410	18/11/03	14h36	46	99	96	103	-4%
14	2384	4415	18/11/03	14h39	30	97	93	105	-5%
15	2398	4420	18/11/03	14h42	22	94	84	103	-8%
16	2406	4422	18/11/03	14h45	22	99	84	115	-3%
17	2388	4452	18/11/03	14h48	14	138	129	145	-3%
18	2394	4443	18/11/03	14h51	4	165	151	179	16%
19	2404	4441	18/11/03	14h54	6	139	123	153	-2%
20	2417	4433	18/11/03	14h57	21	108	103	117	-24%
21	2420	4414	18/11/03	15h00	36	117	106	129	-18%
22	2405	4408	18/11/03	15h05	35	132	106	146	-7%
23	2395	4406	18/11/03	15h10	36	154	139	177	8%
24	2373	4400	18/11/03	15h15	49	144	132	155	1%
25	2340	4390	18/11/03	15h20	78	159	144	169	12%
26	2306	4381	18/11/03	15h25	110	154	137	173	8%
27	2300	4402	18/11/03	15h30	106	106	91	120	-25%
28	2294	4424	18/11/03	15h35	106	141	132	150	-1%
29	2327	4439	18/11/03	15h40	71	136	115	146	-4%
30	2341	4445	18/11/03	15h45	57	180	162	195	27%
31	2345	4431	18/11/03	**15h50**	54	309	293	322	118%
32	2345	4468	18/11/03	15h51	59	102	85	116	-1%
33	2351	4479	18/11/03	15h52	60	99	92	103	-3%
34	2361	4475	18/11/03	15h53	50	77	66	92	-25%
35	2371	4466	18/11/03	15h54	36	92	83	103	-10%
36	2383	4458	18/11/03	15h55	22	99	94	105	-4%
37	2384	4451	18/11/03	15h56	17	88	80	96	-14%
38	2393	4453	18/11/03	15h57	12	163	152	176	59%
39	2382	4473	18/11/03	15h58	35	124	116	135	21%
40	2372	4517	18/11/03	15h59	79	95	87	114	-7%
41	2367	4505	18/11/03	16h00	70	104	88	110	1%
42	2375	4477	18/11/03	16h03	42	124	104	137	22%
43	2407	4528	18/11/03	16h06	86	98	92	103	-5%
44	2448	4524	18/11/03	16h09	96	101	92	113	-1%
45	2454	4486	18/11/03	16h12	71	106	97	113	4%
46	2448	4458	18/11/03	16h15	52	113	104	124	10%
47	2453	4424	18/11/03	16h18	58	104	97	117	2%
48	2458	4375	18/11/03	16h21	90	103	91	115	0%
49	2447	4378	18/11/03	16h24	81	105	91	122	3%
50	2440	4407	18/11/03	16h27	55	109	101	118	6%
51	2430	4449	18/11/03	**16h30**	33	102	85	113	-1%
52	2427	4468	18/11/03	16h33	39	100	94	108	-2%
53	2424	4507	18/11/03	16h36	70	99	90	112	-3%
54	2390	4501	18/11/03	16h39	60	91	83	97	-12%
55	2410	4465	18/11/03	16h42	26	101	90	115	-1%
56	2413	4484	18/11/03	16h45	45	87	79	98	-15%
57	2366	4533	18/11/03	16h48	96	96	83	105	-6%
58	2322	4490	18/11/03	16h51	90	106	96	117	4%
59	2326	4476	18/11/03	16h54	80	96	85	114	-6%
60	2308	4469	18/11/03	16h57	94	98	91	108	-4%
61	2295	4482	18/11/03	17h00	110	100	88	109	-3%
62	2280	4462	18/11/03	**17h05**	120	98	92	104	-5%
63	2308	4365	18/11/03	17h10	118	101	90	111	-2%
64	2366	4372	18/11/03	17h15	77	100	90	107	-3%
65	2410	4372	18/11/03	17h20	71	104	94	110	1%
66	2406	4396	18/11/03	17h25	47	113	99	123	11%
67	2429	4408	18/11/03	17h30	46	97	91	109	-5%
68	2364	4387	18/11/03	17h35	65	105	97	110	2%

A2 – c) Résultats campagne du 18/11/03 autour du local à déchets radioactifs

Tableau 9 : Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits autour du local à déchets radioactifs du GIP CYCERON le 18/11/03.

	longitude	latitude			distance	mesure			Ecart
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)			en % du SD
Site	GPS 30U	GPS UTM	date	heure	en m	moy	mini	maxi	
émissaire	2398	4442							
Références prises comme seuil de discrimination (SD)									
valeur retenue pour les sols constitués de terre :								102,4	
valeur retenue pour les voiries bitumées :								141,8	
les lignes grisées correspondent à des mesures faites sur les voiries bitumées									
résultats sans soustraction du BDF									
A			18/11/03	14h50		107	95	124	-25%
B			18/11/03	14h50		179	160	200	26%
C			18/11/03	14h50		120	116	125	-15%
D			18/11/03	14h50		92	80	102	-35%
E			18/11/03	14h50		119	109	126	-16%
F			18/11/03	14h50		246	210	299	73%
G			18/11/03	14h50		4000	3800	4200	2721%
H			18/11/03	14h50		438	419	457	209%
I			18/11/03	14h50		302	39	374	113%

A2 – d) Résultats campagne du 19/11/03

Tableau 10 : Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits autour du GIP CYCERON le 19/11/03

	longitude	latitude			distance	mesure			Ecart
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)			en % du SD
Site	GPS 30U	GPS UTM	date	heure	en m	moy	mini	maxi	
émissaire	2398	4442							
Références prises comme seuil de discrimination (SD)									
valeur retenue pour les sols constitués de terre :								102,4	
valeur retenue pour les voiries bitumées :								141,8	
les lignes grisées correspondent à des mesures faites sur les voiries bitumées									
résultats sans soustraction du BDF									
Pt_Y1	2317	4398	19/11/03	16h30	92	105	90	119	3%
Pt_Y2	2365	4405	19/11/03	16h30	50	1193	1151	1233	1065%
Pt_Y3	2371	4466	19/11/03	16h30	36	153	142	164	50%
Pt_Y4	2382	4473	19/11/03	16h30	35	132	118	144	29%
Pt_Y5	2361	4475	19/11/03	16h30	50	108	99	118	5%
Pt_Y6	2325	4479	19/11/03	16h30	82	112	101	121	9%
Pt_Y7	2326	4428	19/11/03	16h30	73	111	102	114	8%
Pt_Y8	2332	4444	19/11/03	16h30	66	170	157	188	20%

A2 – e) Résultats campagne du 20/11/03

Tableau 11 : Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits autour du GIP CYCERON le 20/11/03.

	longitude	latitude			distance	mesure			Ecart
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)			en % du SD
Site	GPS 30U	GPS UTM	date	heure	en m	moy	mini	maxi	
émissaire	2398	4442							
Références prises comme seuil de discrimination (SD)									
valeur retenue pour les sols constitués de terre :								102,4	
valeur retenue pour les voiries bitumées :								141,8	
les lignes grisées correspondent à des mesures faites sur les voiries bitumées									
résultats sans soustraction du BDF (1ère campagne)									
20_0			20/11/03	14h35	0	1635	1576	1716	1497%
20_1			20/11/03	14h35	6	799	770	837	680%
20_2			20/11/03	14h35	15	405	387	419	186%
20_3			20/11/03	14h35	26	203	185	217	98%
20_4			20/11/03	14h35	35	177	161	193	73%
20_5			20/11/03	14h35	50	132	117	150	29%
résultats sans soustraction du BDF (2ème campagne)									
20_0			20/11/03	15h20	0	1348	1182	1492	1216%
20_1			20/11/03	15h20	6	319	281	338	211%
20_2			20/11/03	15h20	15	257	241	264	81%
20_3			20/11/03	15h20	26	157	139	168	54%
20_4			20/11/03	15h20	35	124	115	134	21%
20_5			20/11/03	15h20	50	118	106	126	15%

A2 – f) Résultats campagne du 24/11/03

Tableau 12 : Niveaux d'exposition du rayonnement gamma ambiant mesurés à l'aide du DG5 en différents endroits autour du GIP CYCERON le 24/11/03

	longitude	latitude			distance	mesure			Ecart
	069	545			à l'émissaire	(en coups / seconde)			en % du SD
Site	GPS 30U	GPS UTM	date	heure	en m	moy	mini	maxi	
émissaire	2398	4442							
Références prises comme seuil de discrimination (SD)									
valeur retenue pour les sols constitués de terre :								102,4	
valeur retenue pour les voiries bitumées :								141,8	
les lignes grisées correspondent à des mesures faites sur les voiries bitumées									
résultats sans soustraction du BDF									
Pt_Z1	2347	4452	24/11/03	10h30	52	99,7	89	114	-3%
Pt_Z2	2361	4475	24/11/03	10h30	50	93,1	85	108	-9%
Pt_Z3	2384	4451	24/11/03	10h30	17	94,6	79	106	-8%
Pt_Z4	2426	4438	24/11/03	10h30	28	96,0	88	108	-6%
Pt_Z5	2447	4390	24/11/03	10h30	71	97,6	86	110	-5%
Pt_Z6	2399	4425	24/11/03	10h30	17	98,0	76	120	-4%
Pt_Z7	2384	4415	24/11/03	10h30	30	97,2	79	111	-5%
Pt_Z8	2365	4405	24/11/03	10h30	50	96,9	85	118	-5%
Pt_Z9	2317	4398	24/11/03	10h30	92	88,1	69	107	-14%
Pt_Z10	2327	4425	24/11/03	10h30	73	97,1	82	110	-5%
Pt_Z11	2332	4444	24/11/03	10h30	66	141,5	127	153	0%

Annexe 3 :
Matériel et méthodes

A3 – a) Méthodologie pour le prélèvement des échantillons

Les méthodes citées ci-après ont été employées dans le respect des recommandations de la série de normes AFNOR NF M60-780 relatives aux techniques d'échantillonnage d'indicateurs de l'environnement ainsi qu'à leur préparation et leur conservation.

Pour mener à bien cette évaluation radioécologique, plusieurs jours de prélèvements ont été nécessaires, notamment pour permettre une meilleure gestion des échantillons au laboratoire et ainsi limiter leur temps d'attente avant leur traitement.

Pour l'ensemble des prélèvements effectués, une même ligne méthodologique a été observée :

- Le renseignement, pour chaque échantillon, d'une fiche comprenant entre autre, la date, l'heure, la position GPS, les conditions météorologiques et les caractéristiques physiques de l'échantillon.
- Le conditionnement immédiat de l'échantillon sous sachet en polyéthylène individuel référencé.
- La conservation des échantillons au laboratoire à 4°C en attente de traitement et de conditionnement (le temps d'attente n'excédant pas 48h).

Dans le bassin d'orage.
Les eaux : 20 litres sont prélevés manuellement par immersion totale d'un conteneur de type jerricane, préalablement rincé avec l'eau du site. A l'issue de l'opération, l'eau est acidifiée à l'acide nitrique de façon à obtenir un pH égal à 2.
Les végétaux aquatiques (lentilles d'eau) sont prélevées manuellement par « ratissage » de la surface du bassin.

Dans l'environnement terrestre du GIP CYCERON.
Le couvert végétal (herbe) : un prélèvement manuel est effectué pour chacun des quatre points et la surface prise en référence s'étend sur 2 m² afin de collecter un échantillon de 250g frais au minimum.
Les sols : le prélèvement est réalisé à l'aide d'une pelle-bêche de manière à obtenir une «carotte » qui s'apparente à un pavé d'environ 20cm x 20cm sur une profondeur de 10cm.
Le maïs : le prélèvement concerne les épis et ces derniers sont sélectionnés de manière à obtenir un échantillon représentatif de la zone cultivée.
Les aiguilles de pin : elles sont prélevées manuellement sur deux arbres.

A3 – b) Méthodologie pour le traitement des échantillons

L'eau : 5 litres sont filtrés à 0,45µm sur filtre Whatmann. Après quoi il est procédé à une concentration de l'échantillon par évaporation (chauffage de l'eau sous agitation constante à 80±1°C) jusqu'à la réduction du volume initial à 500 ml. Celui-ci est ensuite conditionné en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma.

Les végétaux aquatiques : Les lentilles d'eau prélevées ne subissent aucun traitement. Il est simplement procédé à l'élimination des fractions indésirables comme les brindilles. Après égouttage, les lentilles d'eau sont conditionnées en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma. A l'issue de l'analyse, l'échantillon est desséché à 60°C afin de déterminer le rapport Poids sec / Poids frais.

Le couvert végétal (herbe) : aucun traitement n'est appliqué, les bruns sont coupés afin qu'ils n'excèdent pas une longueur de 5 cm puis l'ensemble est homogénéisé. Une aliquote de 250g représentative est alors conditionnée en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma. A l'issue de l'analyse, l'échantillon est desséché à 60°C afin de déterminer le rapport Poids sec / Poids frais.

Les sols : chaque prélèvement est émotté et les fractions indésirables (pierres, racines…) sont écartées. Après quoi l'échantillon est séché à 60°C puis tamisé à 2 mm et homogénéisé. Une aliquote est ensuite conditionnée en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma.

Le maïs : seuls les grains sont conservés. Il est alors procédé à un séchage de ces derniers à 60°C. Le résidu sec est ensuite réduit en poudre et homogénéisé puis conditionné en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma.

Les aiguilles de pin. Il est procédé à un séchage de ces dernières à 60°C. Le résidu sec est ensuite réduit en poudre et homogénéisé puis conditionné en géométrie de type SG 500, d'un volume utile de 500 ml, pour comptage en spectrométrie gamma.

A3 – c) Matériel employé pour les mesures in situ

Détecteur gamma portatif DG5 de NOVELEC
Il s'agit d'un détecteur à scintillateur organique associé à un photomultiplicateur sensible au rayonnement gamma ambiant. La réponse donnée en coups par seconde (c/s) traduit le nombre de rayonnement détecté sans tenir compte de leur énergie dés lors que celle-ci est supérieure au seuil de détection (50 keV).

Détecteur neutron LB 6411 associé au moniteur UMo LB-123 de EG&G BERTHOLD
La détection s'effectue à l'aide d'un compteur proportionnel (le gaz utilisé est l'hélium 3) placé à l'intérieur d'une sphère modératrice en polyéthylène, chargée de ralentir les neutrons incidents. Ce système de détection permet la mesure du débit de dose équivalent neutron en micro sievert par heure (µSv/h) en accord avec les recommandation de la CIPR[8] 60.

A3 – d) Matériel & méthode employés pour les analyses en laboratoire

A3-b.α) spectrométrie gamma

La mesure des émetteurs gamma est effectuée avec une chaîne de spectrométrie gamma Ortec de type N équipée d'un château de plomb d'épaisseur 10 cm.

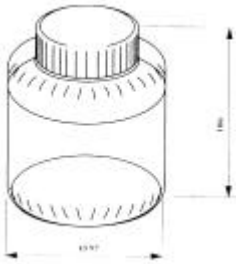
La chaîne d'analyse comprend un analyseur «DSPEC », système d'acquisition numérique (Ortec), associé à un détecteur au germanium hyperpur de type N (Ortec), d'efficacité 32%, monté dans un cryostat vertical.

La plage d'énergie prise en référence s'étend de 60 à 2000 keV.

L'efficacité de référence du détecteur pour la plage d'énergie prise en référence est déterminée à l'aide d'une source liquide multi-radionucléide et d'une source liquide de 133Ba en tenant compte des phénomènes de sommation de coïncidences qui existent avec ce radionucléide. Les sources employées sont des solutions étalons certifiées.

Les flacons utilisés pour la spectrométrie gamma sont en polyéthylène translucide de type SG500 jaugés d'un volume utile de 500 ml.

SG500



- mesure des émetteurs gamma

Les mesures sont réalisées avec des géométries identiques à celles des sources de référence et concernent les radionucléides (artificiels ou naturels) émetteurs gamma présentant une ou plusieurs raies d'émission sur la plage d'énergie prise en référence.

Parmi l'ensemble des radionucléides évoqués précédemment, seuls les plus caractéristiques sont présentés dans les tableaux de résultats (voir tableau 13).

Seules les activités supérieures à la limite de détection de la chaîne d'analyse sont exprimées. Dans le cas contraire et pour les radionucléides mentionnés, la limite de détection -Ld- (ou plus petite activité décelable) précédée du signe " < "est rapportée. Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer une activité massique (ou une limite de détection) de manière satisfaisante, les données chiffrées sont remplacées par « - ».

L'activité de chaque radionucléide présent dans l'échantillon est exprimée en becquerel (Bq) par kilogramme sec (kg sec) pour les solides et en becquerel (Bq) par litre (L) pour les liquides. Le résultat est suivi de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95%. Toute activité exprimée, y compris pour la limite de détection, est rapportée au jour de prélèvement.

Les phénomènes d'auto-atténuation en rapport avec la densité de l'échantillon sont pris en compte pour des énergies supérieures à 60 keV ; les facteurs correctifs sont déterminés par calcul. Néanmoins, pour des énergies inférieures à 100 keV, les phénomènes d'auto-atténuation en rapport avec la composition intrinsèque de l'échantillon sont généralement prépondérants. Aussi, les résultats pour les radionucléides émetteurs gamma de faible énergie (< 100 keV) sont à considérer avec prudence (^{234}Th)

[8] Publication n°60 de la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) datée de 1990 ; il s'agit de recommandations élaborées pour prendre en compte les données les plus récentes sur les effets des radiations.

La bibliothèque de données nucléaires utilisée pour la spectrométrie gamma est celle communiquée par le Bureau National de Métrologie : NUCLEIDE-LARA (version de juillet 2000).

La siccité des échantillons solides est également indiquée (Psec / Pfrais) ; la valeur donnée est à considérer avec prudence car elle dépend des méthodes employées pour le traitement et la conservation de l'échantillon.

- Le cas du 226Ra

Le radium 226, produit de filiation de l'uranium 238, est généralement mêlé à l'uranium dans les matières naturelles. Le calcul de l'activité du ^{226}Ra seul, par spectrométrie gamma, est alors difficile. La mesure se fait sur une seule raie, de taux d'émission faible, qui interfère avec une raie de l'uranium 235 de taux d'émission fort.
C'est pourquoi une seule valeur de ^{226}Ra est rapportée. Il s'agit de la valeur dite « maximale » (^{226}Ra max) dans l'hypothèse où le radium est seul.

Dans l'hypothèse où le radium est associé à de l'uranium naturel en proportion isotopique normale (^{238}U/^{235}U=21) et sous réserve d'équilibre séculaire pour la famille de l'uranium-238, la teneur en radium-226 peut être déduite en multipliant la valeur ^{226}Ra (max) par un facteur de 0,556. Ce facteur est calculé à partir des caractéristiques nucléaires données pour les isotopes de l'uranium par P. Galle dans Toxiques nucléaires (1982) et de celles communiquées par le Bureau National de Métrologie dans la Bibliothèque NUCLEIDE-LARA (v. 2000).

Tableau 13 : radionucléides caractéristiques rapportés dans les tableaux de résultats et leur(s) énergie(s) utilisée(s) pour les calculs de la limite de détection et de l'activité massique

Radionucléide	Energie (keV) pour le calcul de la Ld	Energie(s) (keV) pour le calcul de l'activité	Observation(s)
		Radionucléides artificiels	
^{22}Na	1274,6	1274,6	Produit d'activation
^{26}Al	1808,7	1808,7 – 1129,7	Produit d'activation
^{60}Co	1332,5	1173,2 – 1332,5	Produit d'activation
^{134}Cs	604,7	604,7 – 795,8	Produit d'activation
^{137}Cs	661,7	661,7	Produit de fission ubiquiste
^{152}Eu	121,8	344,3 – 778,9 – 1408	Produit d'activation
^{154}Eu	123,1	1274,42 – 723,3 – 1004,8	Produit d'activation
		Radionucléides naturels	
^{234}Th	-	63,3	Atténuation (due à la composition) non retenue
^{234m}Pa	1001	1001	
^{226}Ra	-	186,2	Voir « le cas du 226Ra »
^{214}Pb	-	351,9 – 295,2 – 242	
^{228}Ac	-	911,2 – 969 – 338,3	
^{212}Pb	-	238,6	
^{40}K	-	1460,8	
^{7}Be	477,6	477,6	

- Les abréviations dans les tableaux de résultats :

" INQ " Lorsqu'un radionucléide émetteur gamma a été décelé mais ne peut être quantifié, la mention "Identifié Non Quantifié " (INQ) est rapportée.

" nr " Lorsqu'un radionucléide mentionné n'a pas été recherché, la mention « non recherché » (nr) est rapportée.

" <x,x " Lorsqu'un radionucléide concerné n'a pas été décelé, la limite de détection précédée du signe " < " est rapportée.

" – " Lorsqu'il n'est pas possible de déduire une activité massique (ou une limite de détection) de manière satisfaisante, les données chiffrées sont remplacées par " - ".

- Intercomparaison et qualification technique

A ce jour, le laboratoire dispose d'une qualification technique conformément aux dispositions du décret n°88-715 du 09 mai 1988 relatif à l'harmonisation des mesures de la radioactivité dans l'environnement et les denrées destinées à la consommation.
Cette qualification est accordée par la Direction Générale de la Santé dans les catégories suivantes :

- mesure des radioéléments émetteurs gamma de forte, moyenne énergie (100 keV) et de faible énergie (arrêté du 13 juin 2002).
- mesure du tritium dans les eaux (arrêté du 19 juillet 2001)

L'aptitude du laboratoire est vérifiée chaque année depuis 1997 dans le cadre d'une campagne annuelle d'intercomparaison qui, jusqu'en 2001, était organisée par l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI). D'une manière générale, les intercomparaisons portent sur des matières de références certifiées et concernent plus d'une trentaine de laboratoires en France.

Tableau 14 : bilan des intercomparaisons faites à ce jour.

Année	Organisateur ou participants	Détermination(s) proposée(s)	Détermination(s) effectuée(s)	Succès
1991	ACRO / LDA / Cogéma-La Hague	^{137}Cs, ^{60}Co et ^{40}K	^{137}Cs, ^{60}Co et ^{40}K	Oui
1997	Réseau OPRI (éch. 63 SH 300)	^{137}Cs, ^{40}K et ^{3}H	^{137}Cs, ^{40}K et ^{3}H	Oui
1998	Réseau OPRI (éch. 64 L 300)	^{90}Sr, ^{40}K, ^{137}Cs et 2 autres radionucléides à identifier et quantifier	^{90}Sr, ^{40}K, ^{137}Cs, ^{54}Mn et ^{110m}Ag	Oui
1999	Réseau OPRI (éch. 65 SR 300)	^{40}K, ^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U, ^{228}Th, ^{230}Th, ^{232}Th.	^{40}K, ^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{235}U, ^{238}U, ^{228}Th et ^{230}Th.	Non
2000	Réseau OPRI (éch. 66 SH 300)	^{3}H, bêta total et alpha total.	^{3}H	Oui
2000	*Exercice international d'intercomparaison de mesures* in situ			
2001	Réseau OPRI (éch. 67 L 300)	^{40}K et 4 radionucléides artificiels β-γ à identifier et quantifier.	^{40}K, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{51}Cr et ^{129}I	Oui
2002	*Aucune intercomparaison organisée par le réseau OPRI*			
2003	Réseau IRSN (éch. 71 SH 300)	^{3}H et ^{90}Sr	En cours	-