

Feuille qualité

DEMANDE	
Mission	Surveillance radiologique de l'environnement du GIP CYCERON – 3 ^{ème} trimestre 2009. 1 ^{er} volet : Suivi des émetteurs gamma dans les échantillons biologiques 2 ^{ème} volet : Mesures intégrées du rayonnement ambiant (débit de dose) 3 ^{ème} volet : Cartographie du rayonnement gamma ambiant 4 ^{ème} volet : Contrôle des niveaux de radioactivité des effluents liquides (semestriel).
Demandeur	GIP CYCERON Bd Henri Becquerel – BP 5229 14074 CAEN Cedex 5
Commande	N°09FC0773 du 18/02/09

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)	A.BERNOLLIN
Prélèvements	A.BERNOLLIN, E.DUNAND
Mesures <i>in situ</i>	A.BERNOLLIN, M.JOSSET
Traitement des échantillons	A.BERNOLLIN
Analyses	de radioactivité : A. BERNOLLIN, E. DUNAND

DOCUMENT	
Date d'édition	21/12/09
Identification	RAP091020(T3)CYC_v1
Version n°	01
Pages (nombre)	16 (annexes comprises)
Objet	Matériels et Méthodes, Détails des résultats.
Mots-clés	radioactivité, rayonnement gamma ambiant, débit de dose, recherche médicale, cyclotron, Calvados
Paramètres	éléments radioactifs : ²⁴ Na, ⁴⁶ Sc, ⁶⁰ Co, ⁶⁵ Zn, ⁸² Br, ¹²² Sb, ¹²⁴ Sb, ¹²³ I, ¹³¹ Ba, ¹³³ Ba, ¹³⁷ Cs, ¹⁵³ Sm, ¹⁵² Eu, ²³⁴ Th, ²¹² Pb, ⁴⁰ K, ⁷ Be. 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.

	Auteur	Vérificateur	Responsable Scientifique
Date			
Visa			
NOM			

Suivi radiologique de l'environnement des installations du GIP CYCERON – année 2009.

RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'ANALYSES DU 3^{ème} TRIMESTRE 2009

Période du 08/07/2009 au 20/10/09

Introduction

Depuis 2005, l'exploitant du GIP Cycéron a mis en place un plan de surveillance radiologique de l'environnement de ses installations comprenant les données suivantes :

- Mesures de radioactivité sur des indicateurs biologiques représentatifs
- Mesures de débit de dose dans l'environnement proche des installations en fonctionnement.

L'ACRO ayant été sollicitée fin 2003 pour la réalisation d'un Bilan radiologique de l'environnement terrestre des installations du GIP Cycéron, dans le cadre d'un projet d'extension des installations, elle s'est vue confier la mise en place de cette surveillance radiologique pour les années 2005 à 2008. Le but premier étant de fournir des éléments d'appréciation quant à l'impact de ces installations sur le milieu environnant et les personnes. Cette évaluation participe à la conduite opérationnelle de la radioprotection et permet de s'assurer du respect des seuils réglementaires imposés à l'exploitant du GIP.

L'organisation générale de la surveillance pour l'année 2009 sera toujours basée sur la mise en place d'un programme annuel, prenant en compte l'exposition externe et le marquage de l'environnement. A la différence des années précédentes, une évolution est apportée à ce suivi, dans le cadre de l'évolution de la réglementation relative à la gestion des effluents contaminés par les radionucléides.

Ainsi, l'ACRO a établi le plan suivant, découpé en quatre volets distincts :

- **1^{er} volet : Mesures de radioactivité (émetteurs gamma) dans des échantillons biologiques**
- **2^{ème} volet : Mesure de dosimétrie ambiante intégrée (rayonnement gamma)**
- **3^{ème} volet : Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle par cartographie du rayonnement gamma ambiant.**
- **4^{ème} volet : Contrôle des effluents avant rejet dans le réseau collectif d'assainissement.**

L'ensemble des trois premiers volets sera traité dans chacune des communications trimestrielles, tandis que le volet relatif aux effluents liquides sera traité semestriellement. Chacune des communications rapportera à la fois les moyens d'études et les résultats des différentes analyses et mesures *in situ*.

Rappel du contexte

Dans le cadre du fonctionnement normal de l'installation, des rejets d'effluents radioactifs gazeux sont effectués régulièrement, principalement par le biais d'émissaires constitués par deux 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'¹⁵O, le ¹¹C et le ¹⁸FDG, 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) et peuvent coexister dans les rejets atmosphériques avec les radionucléides classiques de courtes périodes.

Au cours du bilan radioécologique 2003 ainsi que du suivi 2005 à 2008, les analyses faites par spectrométrie gamma sur des échantillons d'herbe, n'ont révélé aucun marquage¹ durable de l'environnement (c'est à dire décelable sur une période égale ou supérieure à 8 jours) du site du GIP CYCERON en relation avec le fonctionnement normal des installations.

¹ à des niveaux significatifs et par des radionucléides émetteurs gamma

Toutefois, suite aux différentes cartographies du rayonnement gamma ambiant du site, réalisées au cours de ces quatre années, des variations ont été mises en évidence – de manière fluctuante - en plusieurs endroits des 3 ha du GIP Cycéron. Les deux principales causes à considérer sont le relâchement de radionucléides dans l'atmosphère avec les effluents gazeux et le rayonnement de sources radioactives situées à l'intérieur des bâtiments, salle de synthèse notamment.

A cela s'ajoute la réorganisation interne du bâtiment du GIP Cycéron et notamment, la modification des abords immédiats de la casemate du cyclotron en vue d'alimenter le futur site des Laboratoires Cyclopharma (radio-pharmaceutiques) en construction début 2009 sur le campus Jules Horowitz. Cette évolution devrait avoir pour conséquence une augmentation de la production de radio-isotopes par le cyclotron.

Ainsi, en regard de ces informations, il apparaît nécessaire, dans le cadre de la surveillance régulière de l'environnement d'une installation telle que le GIP Cycéron, de poursuivre à la fois l'évaluation de l'exposition ambiante ponctuelle et intégrée, de même que l'utilisation du couvert végétal comme bioindicateur des dépôts de particules radioactives se réalisant à proximité des installations, étant donné son rôle d'interface privilégiée entre le milieu atmosphérique et le milieu terrestre (sols), [figure 1].

Définition des moyens

a) Mesures de radioactivité : émetteurs gamma sur échantillons biologiques

Objectif

L'approche consiste en la surveillance des niveaux des radionucléides émetteurs gamma présents dans le compartiment biologique de l'environnement du GIP Cycéron, caractéristiques de l'environnement et du fonctionnement des installations. D'une manière générale, l'intérêt porte sur les radionucléides ayant une période physique suffisamment longue pour induire un marquage durable de l'environnement.

Les radionucléides présentés dans les tableaux de résultats sont d'abord les radionucléides d'origine naturelle tels que ^7Be , ^{40}K et les produits de filiation appartenant aux chaînes de ^{238}U et du ^{232}Th .

Concernant la recherche des radionucléides artificiels, l'approche retenue auparavant (depuis 2003) était basée essentiellement sur des données bibliographiques recensant les produits issus de l'activation des bétons des enceintes des cyclotrons.

A partir du troisième trimestre 2006, l'approche bénéficie du retour d'expérience relatif à l'analyse qualitative (par spectrométrie gamma) du système de filtration de la casemate du cyclotron du GIP, effectuée lors du remplacement de celui-ci en avril 2006. Un certain nombre de radionucléides mis en évidence lors de cette analyse n'étaient pas, jusqu'à présent, recherchés, la liste des produits d'activation pris en compte a donc été étendue ; elle comporte les radionucléides suivants : ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{82}Br , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{123}I , ^{131}Ba , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{153}Sm , ^{152}Eu .

Localisation et Nature des prélèvements

La distribution géographique des sites de prélèvements présentée ci-dessous, tient compte, à la fois des potentialités qu'offre le site et de l'intensité estimée des dépôts (secs et humides) relatifs aux émissions gazeuses de l'installation.

La zone de prélèvements concerne les 3 hectares du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON en raison de l'existence théorique de dépôts plus importants qu'ailleurs.

Les évaluations faites à l'aide du code GASCON² (et notamment les coefficients de transferts atmosphériques (CTA) obtenus pour différents endroits) suggèrent que c'est à moins de 100m 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 termes d'exposition.

² Voir dossier d'enquête publique déposé par CYCERON, version du 17 juin 2003.

Note : Jusqu'en avril 2009, l'accès au campus par le public était possible, tout un chacun pouvant circuler librement à proximité des bâtiments constituant l'installation. Depuis cette date, seules les personnes travaillant sur le site ou autorisées, auront la possibilité de se rendre sur ces 3 ha du campus.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne quatre points distincts situés sur une même zone, à savoir, l'environnement immédiat des bâtiments du GIP CYCERON dans la limite de 100 m autour des émissaires de rejets gazeux.

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 (SO) avec un pas d'environ 90° par rapport à ce même axe.

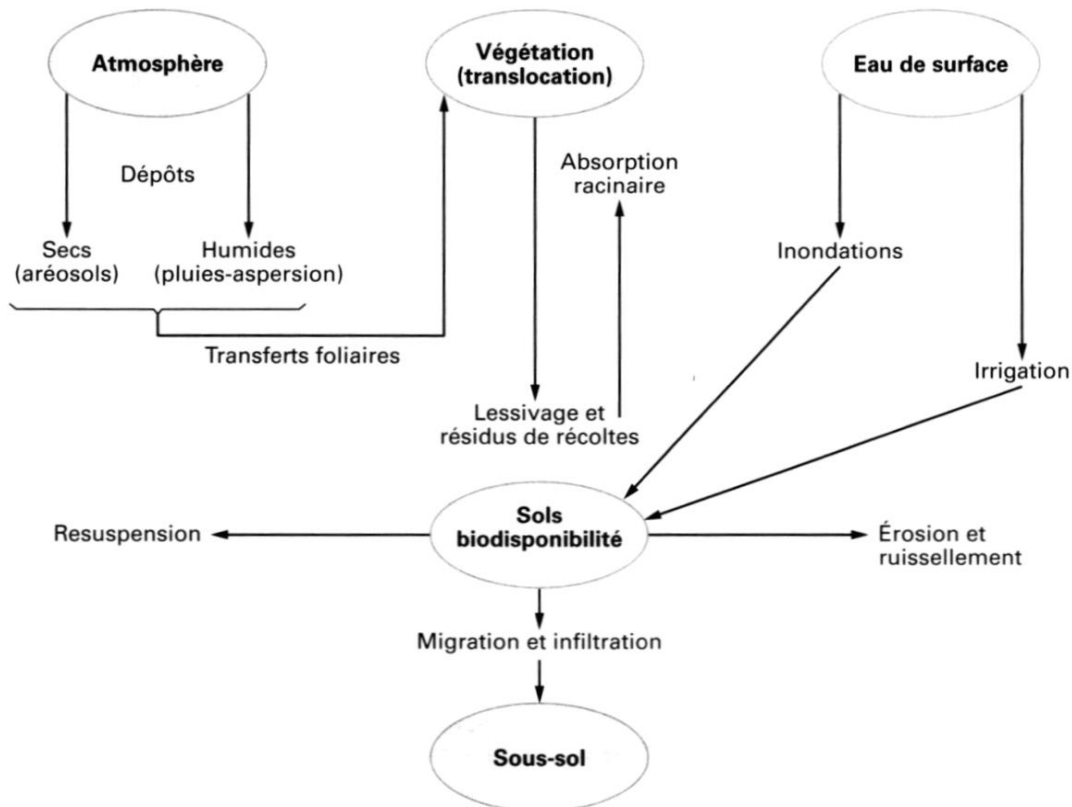
Tenant compte des contraintes d'urbanisation passées et en prévision de celles à venir, certaines des stations initialement choisies ont dû être déplacées. Aussi, les lieux de prélèvements (notés de A à D) se situent à environ 75±15 m des cheminées.



Le bioindicateur principal retenu pour cette zone (périmètre de 100 mètres autour des installations) est le **couvert végétal (herbe)**.

Dans le but d'apporter des informations complémentaires sur la qualité de l'environnement autour des installations et, en fonction des potentialités offertes par l'environnement du GIP au long de l'année, deux prélèvements supplémentaires d'indicateurs biologiques atmosphériques (champignons, lichens...) sont prévus.

Figure 1 : processus d'échanges des radionucléides dans le milieu terrestre³.



³ FOURNIER (L.) – Radioécologie, origine des radioéléments. Collection Techniques de l'Ingénieur. Ed. 2002.

b) Dosimétrie ambiante intégrée

Objectif

Evaluer l'impact des installations sur le milieu et les personnes en termes d'exposition externe.

Dispositif

La dosimétrie sera assurée par un dispositif comprenant une chambre d'ionisation associée à une électret (système E-perm) enfermé dans un sachet de protection, en plastique étanche, pour éviter notamment, la contribution du gaz radon. La durée d'intégration est fixée à un trimestre et la dose annuelle est calculée à partir du cumul des doses trimestrielles. La sensibilité du dispositif est de 10 µGy pour une dose moyenne mensuelle estimée à environ 60 µGy dans le calvados d'après le réseau Téléray. Une telle sensibilité permet de connaître la contribution liée aux activités du GIP CYCERON avec un bon niveau de confiance.



Localisation

Les sites de pose des dispositifs intégrateurs sont identiques à ceux choisis pour les prélèvements d'herbe, c'est à dire quatre points distincts (A, B, C & D) distribués à partir de la direction des vents dominants (NE) avec un pas d'environ 90° par rapport à ce même axe.

Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus dans les mêmes conditions opératoires sur le site du laboratoire ACRO (dispositif T, comme « témoin ») situé à plus de 3 kilomètres des installations nucléaires que compte l'agglomération caennaise.

Les dispositifs sont renouvelés chaque trimestre ainsi que dans l'éventualité d'un aléa technique imposant de connaître l'exposition gamma (i.e. suite à un incident lié à des rejets gazeux).

c) Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle

Objectif

L'approche consiste à vérifier, lors d'une phase d'activité du cyclotron et de production de molécules marquées, le niveau d'exposition dû au rayonnement gamma à l'extérieur des bâtiments. 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 d'effluents gazeux ;
- l'existence de source(s) d'irradiation en lien avec certaines zones des bâtiments.

Ainsi, 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 atmosphériques⁴.

Deux parcours sont alors effectués, l'un à l'aplomb des bâtiments, l'autre, aux limites cadastrales du GIP. En fonction des aménagements effectués sur le campus (nouveaux bâtiments), les parcours peuvent être amenés à être modifiés d'un trimestre sur l'autre.

Appareillage

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 plastique 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.

Son utilisation est complétée par l'emploi d'un second appareillage de marque APVL (sonde de détection d'irradiation ambiante NBR type FHZ 672 E-10 équipée d'un radiamètre FH 40 G-L10). Cet ensemble permet la détection de sources d'irradiation photon artificielle dans des champs d'irradiation naturelle non homogène et

⁴ D'après l'évaluation faite à l'aide du code GASCON (voir dossier d'enquête publique déposé par CYCERON, version du 17 juin 2003).

l'expression de débits de dose, le tout sur une gamme d'irradiation très large (entre 1 nSv/h et 100 mSv/h) et avec un temps de réponse très bref. Cet équipement permet la mesure de débit de dose pour des photons à partir de 30 keV.

Méthodologie

Du fait de la rapidité d'acquisition du DG5 et de la fiabilité de la mesure, il n'est pas 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. En parallèle, et sur les mêmes zones, des gammes de débit de dose sont notées à partir de l'ensemble sonde+radiamètre.

A chaque fois que le seuil fixé par l'un des appareils est dépassé, l'approche consiste d'une part à évaluer la superficie concernée, d'autre part, à noter la valeur la plus forte enregistrée et enfin, à évaluer la durée de cette exposition.

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) ou mouvement propre de l'appareil. Ainsi, toute valeur strictement supérieure au 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.

Le seuil de discrimination correspond, pour chaque nature de sol différente (terre vs bitume), à la plus forte valeur obtenue lors de mesures statiques effectuées en des endroits non influencés par les activités du GIP CYCERON et similaires en terme de composante radiologique. Ainsi, un nouveau SD est déterminé au préalable à chaque parcours : l'un à partir d'une surface bitumée (revêtement représentatif de la majeure partie de l'aplomb des bâtiments), l'autre à partir d'une surface enherbée représentative de la majeure partie du parcours aux limites cadastrales du GIP.

d) Contrôle des niveaux de radioactivité sur les effluents liquides

Objectif

Evaluer les niveaux de radioactivité (émetteurs gamma et Tritium libre) dans les effluents liquides, lesquels sont prélevés au niveau des deux postes de relevage du GIP Cycéron.

Ce volet du contrôle répond à l'Arrêté du 23 juillet 2008 relatif à la gestion des effluents contaminés par les radionucléides.

En regard du type de radionucléides produits et utilisés sur site, ainsi que du retour d'expérience de l'analyse du filtre de la casemate du cyclotron (2006) la recherche des radionucléides potentiellement présents dans les effluents (identification et quantification) sera basée sur la liste suivante :

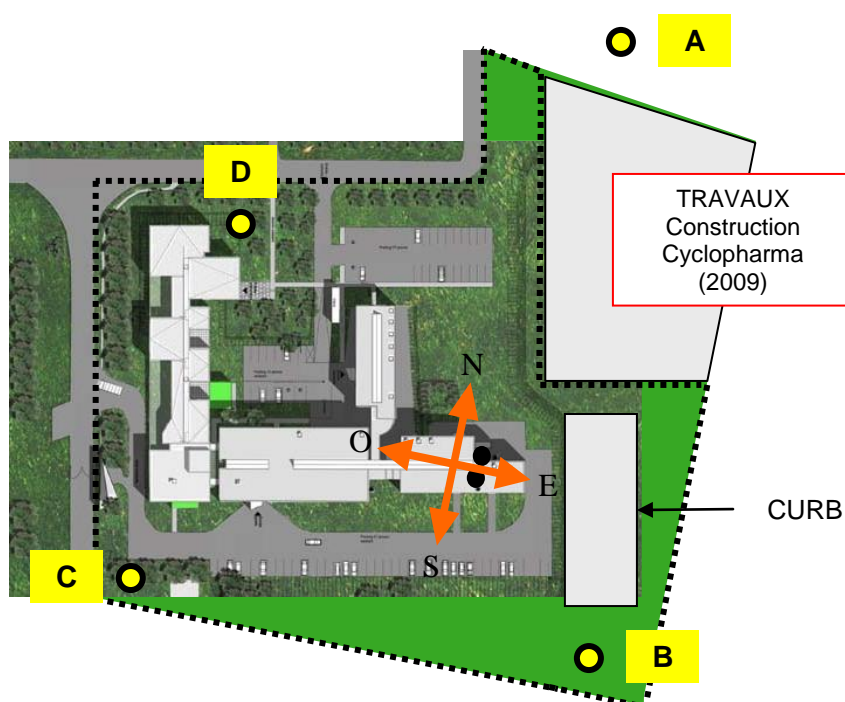
	Radionucléide	Période radioactive
	Emetteurs gamma	
Radionucléides artificiels (produits d'activation)	24 Na : sodium 24	14,96 h
	46 Sc : scandium 46	83,8 j
	60 Co : cobalt 60	5,3 ans
	65 Zn : zinc 65	244,15 j
	82 Br : brome 82	1,47 j
	122 Sb : antimoine 122	2,7 j
	124 Sb : antimoine 124	60,2 j
	123 I : iode 123	13,21 h
	137 Cs : césium 137	30,0 ans
	131 Ba : baryum 131	11,5 j
	133 Ba : baryum 133	10,57 ans
	153 Sm : samarium 153	1,9 j
152 Eu : europium 152	13,4 ans	
Radionucléides naturels	40 K : potassium 40	1,3 10 ⁹ ans
	7 Be : béryllium 7	53,2 jours
	Emetteurs bêta	
	Tritium	12,3 ans

Evolutions / Modifications effectuées entre 2007 et 2009 :

Modification des limites cadastrales du GIP :

En raison des travaux de construction du Centre Universitaire de Ressources Biologiques (CURB) débutés en juillet 2007, puis, début 2009, des travaux de construction d'un futur site de production de radio-pharmaceutiques (Laboratoires Cyclopharma) au NE du GIP Cycéron, deux parties du campus ont successivement été rendues inaccessibles. De ce fait, et pour anticiper certaines phases de travaux, l'emplacement des stations A, B et C a été redéfini en accord avec le service QSE du GIP en avril 2009. Aucune nouvelle modification n'a été apportée depuis cette date.

Schéma du campus de Cycéron – localisation des stations ACRO du suivi radiologique (octobre 2009) :



Interruption temporaire d'activité :

Aucune activité de production de radio-isotopes destinée au traitement de patients n'a eu lieu au sein du GIP Cycéron à partir du 17/10/08, en raison du début d'une phase de travaux concernant l'aile Est des bâtiments. La reprise de l'activité en routine n'est toujours pas effective lors de ce troisième semestre 2009. Certaines irradiations ont néanmoins eu lieu et on permis de réaliser des cartographies de l'exposition ambiante ponctuelle.

Report de l'analyse des effluents liquides :

Aucune analyse des effluents liquides du GIP n'a été entreprise au cours du troisième semestre 2009.

ANNEXE 1 : Matériel et méthodes

Les méthodes citées ci-après sont 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 à leur conservation.

L'analyse des niveaux de radioactivité gamma et tritium dans les effluents liquides est effectuée conformément à la réglementation relative à la gestion des effluents contaminés par les radionucléides (Arrêté du 23 juillet 2008).

A) Méthodologie employée pour le prélèvement des échantillons biologiques

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).

Le couvert végétal (herbe) : un prélèvement manuel est effectué pour chacun des quatre points et la surface prise en référence s'étend sur 1 m² (quadrat). A l'intérieur de cette zone, l'ensemble du couvert végétal est prélevé. La fraction prélevée de cet indicateur concerne uniquement la partie aérienne des plants, le mat étant écarté. Aucune différenciation d'espèces n'est effectuée.

Les autres indicateurs atmosphériques (lichens, champignons) : le prélèvement est effectué manuellement et de manière à obtenir un échantillon représentatif de la zone de répartition de l'espèce.

B) Méthodologie employée pour le traitement des échantillons biologiques

Le couvert végétal (herbe) : aucun traitement n'est appliqué, les brins de chaque station sont coupés afin qu'ils n'excèdent pas une longueur de 5 cm. Une aliquote de 62,5 g représentative de chaque échantillon est alors retenue, afin de réaliser un échantillon moyen des quatre sites, d'une masse de 250 g, conditionné 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 autres indicateurs (lichens, champignons...) : en fonction de la quantité récoltée, il est soit procédé à un comptage à frais des échantillons, soit à leur séchage à 60°C en étuve ventilée. Dans ce cas, le résidu sec est ensuite réduit en poudre et homogénéisé puis conditionné en géométrie adaptée au comptage par spectrométrie gamma.

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 dès lors que celle-ci est supérieure au seuil de détection (50 keV).

Sonde NBR FHZ 672 E10 + Radiamètre FH40GL-10 d'APVL

Il s'agit d'une sonde à scintillation (*scintillateur organique et scintillateur NaI*) avec photomultiplicateur intégré, destinée à la mesure de débits d'équivalents de dose gamma et X. La gamme de mesure de débit de dose s'étend de 0,001µSv/h à 100mSv/h ; la gamme de mesure de dose, de 100 nSv à 1 Sv et la gamme d'énergie, de 30 keV à 1,5 MeV.

D) Méthodologie employée pour le prélèvement des échantillons d'effluents liquides

Le prélèvement des échantillons d'effluents liquides est assuré par le laboratoire départemental d'analyse, lequel achemine à l'ACRO les échantillons directement dès la fin du prélèvement. Celui-ci est effectué sur une période de 8 heures au moyen d'un dispositif automatique de pompage, permettant de récolter un échantillon moyen sur l'ensemble de la journée.

E) Méthodologie employée pour le traitement des échantillons d'effluents liquides

Après homogénéisation énergétique, l'échantillon initial est placé au repos pendant douze heures, temps nécessaire à la sédimentation à gravité unitaire.

- ▶ Une aliquote de 500 ml d'eau résiduaire ainsi décantée, est ensuite prélevée par pipetage puis conditionnée dans une géométrie de comptage de 500 cm³ (type SG500) adaptée à la mesure par spectrométrie gamma.
- ▶ Une seconde aliquote d'environ 10 ml est filtrée sur membrane cellulosique (seuil de rétention de 0,45 µm), puis mélangée à 10 ml de liquide scintillant dans une fiole d'un volume utile de 20 ml, destinée au comptage de l'activité en tritium libre.

F) Analyse par 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 20 à 2000 keV pour l'analyse qualitative et de 60 à 2000 keV pour l'analyse quantitative, hormis dans le cas de l'iode-129. L'atténuation due à la densité de l'échantillon est prise en compte pour des énergies supérieures à 60 keV et les facteurs correctifs sont déterminés par calcul par la méthode semi-empirique basée sur l'assimilation du détecteur à un point. 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 (234Th). 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 ou SG50 jaugés d'un volume utile de 500 ml ou 50 ml.

▪ MESURE DES EMETTEURS GAMMA

Les mesures sont réalisées avec des géométries identiques à celles des sources de référence (SG500 ou SG50) et concernent les radionucléides 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 1) en l'absence de demande spécifique par le client. Dans tous les cas, le tableau fait état, au minimum, de tous les radionucléides artificiels détectés. Seules les activités supérieures à la limite de détection de la chaîne d'analyse sont exprimées. Dans le cas contraire et pour les seuls radionucléides mentionnés, la limite de détection –Ld- (ou plus petite activité décelable) précédée du signe " < " est rapportée. Lorsqu'il n'est pas possible de déduire une limite de détection de manière satisfaisante, les données chiffrées sont remplacées par " - ". Lorsqu'un radioélément émetteur gamma a été détecté mais ne peut être quantifié correctement, la mention « Identifié Non Quantifié » (INQ) est rapportée. Lorsqu'un radionucléide mentionné n'a pas été recherché, la mention « non recherché » (nr) est rapportée. L'activité de chaque radioélément présent dans l'échantillon est exprimée en becquerel par kilogramme sec (Bq / kg sec) ou becquerel par litre (Bq/l), suivi de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95%. Toute activité exprimée, y compris la limite de détection, est rapportée à la date de référence indiquée dans les tableaux de résultats. 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 ²²⁶Ra 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. Une seule valeur de ²²⁶Ra est rapportée. Il s'agit de la valeur dite « maximale » (²²⁶Ra 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 (238U/235U=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 ²²⁶Ra (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 (version 2000).

Tableau 1 : radionucléides émetteurs gamma 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 ou volumique.

Radionucléide	Energie (keV) pour le calcul de la Ld	Energie(s) (keV) pour le calcul de l'activité	Observation(s)
Radionucléides artificiels			
²⁴ Na	1368,6	1368,6	Produit d'activation
⁴⁶ Sc	889,2	889,2 – 1120,5	Produit d'activation
⁶⁰ Co	1332,5	1173,2 – 1332,5	Produit d'activation
⁶⁵ Zn	1115,5	1115,5	Produit d'activation
⁸² Br	776,5	776,5 – 554,3	Produit d'activation
¹²² Sb	564,1	564,1 – 692,8	Produit d'activation
¹²⁴ Sb	602,7	602,7 – 1690,9	Produit d'activation
¹²³ I	158,9	158,9	Produit d'activation
¹³⁷ Cs	661,7	661,7	Produit de fission
¹³¹ Ba	496,3	496,3 – 123,8	Produit d'activation
¹³³ Ba	356	356 – 81,0	Produit d'activation
¹⁵³ Sm	103,1	103,1	Produit d'activation
¹⁵² Eu	121,8	344,3 – 778,9 – 1408	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 ²²⁶ Ra »
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	

ANNEXE 2 : Intercomparaisons et qualifications techniques

1. References normatives

- NF M60 série 780 Énergie nucléaire – Mesure de la radioactivité dans l’environnement – Bioindicateurs ; Parties 0 à 5 ; mars 2001.
- **Bibliographie :**
- Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l’environnement. Editions TEC&DOC. 238 pages. Octobre 2002.
- Les radioisotopes en recherche biologique - Détection et radioprotection. G. SIMONNET. Editions Masson, 1994.
- NUCLEIDE-LARA (version de juillet 2000) : bibliothèque de données nucléaires utilisée pour la spectrométrie gamma communiquée par le Bureau National de Métrologie.

2. Agréments / Intercomparaisons

Le laboratoire de l'ACRO participe depuis 1997 à des intercomparaisons d'envergure nationale, organisées par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). Avec la mise en place du réseau national de mesure, la durée d'un cycle d'exercice inter laboratoires pour un couple [Matrice-Radionucléide] est de quatre ans.

Ci-dessous, la liste des intercomparaisons récentes auxquelles à participé le laboratoire de l'ACRO.

Demandeur	DGSNR	Arrêtés du 17 octobre 2003 et du 27 juin 2005 portant organisation d'un réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement	
Organisateur	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire	Service de Traitement des échantillons et de métrologie pour l'environnement	
Matrice de l'échantillon	Code exercice interlaboratoires	Radionucléides mesurés avec succès	Année
Eau	72 SH 300	3H (tritium)	2004
Algue marine	74 AL 300	40K, 60Co, 129I, 125Sb, 137Cs	2004
Eau	76 EE 300	60Co, 134Cs, 137Cs, 241Am	2005
Sol naturel	82 SL 300	137Cs	2006
Feuilles	91 V 300	40K, 60Co, 109Cd, 134Cs, 137Cs	2008
Eau	93 SH 300	3H (tritium)	2008

Le laboratoire dispose d'agréments pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement (décision n°DEP-DEU-0373-2009 du 23 juin 2009 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire) :

- mesure des radioéléments émetteurs gamma de forte, moyenne énergie (>100 keV) et de faible énergie (<100KeV) dans les matrices de type biologique (validité au 30/06/2014),
- mesure du tritium dans les eaux (validité au 30/06/2014).

Le laboratoire dispose également d'un agrément pour la mesure de l'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public (validité au 15 septembre 2011).