ACRO
ASSOCIATION POUR LE CONTRÔLE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'OUEST

Rapport

RAP220121(S2)-CYC-v1

Suivi radiologique de l'environnement des installations du GIP CYCERON de Caen

Année 2021

Résultats du **deuxième semestre**

Période du 8 juillet 2021 au 10 janvier 2022

ACRO | 138 rue de l'Eglise – 14200 HEROUVILLE ST CLAIR | (+33) 2 31 94 35 34 |
www.acro.eu.org | laboratoire@acro.eu.org | SIRET 950 369 868 00027 | APE 7120 B

Feuille Qualité :

DEMANDE	
Mission	Surveillance radiologique de l'environnement du GIP CYCERON 2ème semestre 2021. 1er volet : Suivi des émetteurs gamma dans les échantillons biologiques 2e volet : Mesures intégrées du rayonnement ambiant (débit de dose) 3e volet : Cartographie du rayonnement gamma ambiant 4e volet : Contrôle des niveaux de radioactivité des effluents liquides
Demandeur	**GIP CYCERON** Bd Henri Becquerel – BP 5229 14074 CAEN Cedex 5
Commande	N°21FC4620 du 11/03/2021

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, M. JOSSET
Auteur(s)	M. JOSSET, A. LE VOT
Prélèvements	M. BEHUE, M. JOSSET, A. LE VOT
Mesures *in situ*	
Traitement des échantillons	M. BEHUE, A. LE VOT
Analyses de radioactivité	M. JOSSET, A. LE VOT, M. BEHUE

DOCUMENT	
Date d'édition	
Identification	**RAP22(S2)-CYC-v1.2**
Version n°	01
Pages (nombre)	28 (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 : ^{3}H, ^{24}Na, ^{46}Sc, ^{48}V, ^{51}Cr, ^{52}Mn, ^{54}Mn, ^{55}Co, ^{56}Co, ^{57}Co,^{58}Co, ^{60}Co, ^{57}Ni, ^{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.

VISA	
Rédaction	Rédaction & Approbation
A. LE VOT	M. JOSSET

Suivi radiologique de l'environnement des installations du GIP CYCERON – année 2021

RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'ANALYSES DU 2EME SEMESTRE 2021

Période du 8 juillet 2021 au 10 janvier 2022

Depuis 2005, l'exploitant du GIP CYCERON a mis en place un plan de surveillance radiologique de l'environnement de ses installations.

L'ACRO a été sollicitée fin 2003 pour la réalisation d'un bilan radiologique de l'environnement terrestre des installations du GIP CYCERON dans le cadre d'un projet d'extension. La surveillance radiologique régulière du site lui a ensuite été confiée à partir de 2005.

Le but premier de cette surveillance est 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 est basée sur un programme qui prend en compte l'exposition externe et le marquage de l'environnement. Depuis 2010, une surveillance radiologique périodique des effluents issus des cuves de décroissance a également été mise en place.

Il a été établi le plan suivant, découpé en quatre volets distincts :

- 1er volet : Mesure de radioactivité (émetteurs gamma) dans des végétaux prélevés dans l'environnement proche de l'installation,
- 2e volet : Mesure de dosimétrie ambiante intégrée (rayonnement gamma),
- 3e volet : Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle par cartographie du rayonnement gamma ambiant,
- 4e volet : Contrôle des effluents avant rejet dans le réseau collectif d'assainissement.

L'ensemble de ces volets est traité dans chacune des communications semestrielles. Chacun des rapports rapporte à la fois les moyens d'études et les résultats des différentes analyses et mesures *in situ*.

Rappel du contexte et des données antérieures

En fonctionnement normal de l'installation, des rejets d'effluents radioactifs gazeux sont effectués, 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 D (chimie chaude), l'autre la production de radionucléides par le cyclotron. Si les radionucléides fabriqués, que sont l'oxygène-15, le carbone-11 et le fluor-18, ont une période physique inférieure à 2h, d'autres produits d'activation de période physique beaucoup plus longue sont également formés involontairement.

Au cours du bilan radioécologique 2003 et lors des suivis réalisés depuis 2005, les analyses effectuées par spectrométrie gamma sur des échantillons de végétaux prélevés à proximité de l'installation, n'ont révélé aucun marquage[1] 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 de ses installations.

Concernant l'exposition ambiante, les différentes cartographies réalisées autour de l'installation, durant des phases de production ou de manipulation de radio-isotopes, ont pu mettre en évidence des élévations ponctuelles du rayonnement gamma ambiant en divers endroits du site. Certaines de ces élévations témoignent du relâchement de radionucléides dans l'atmosphère avec les effluents gazeux ; D'autres, de la présence de sources radioactives situées à l'intérieur des bâtiments au niveau des laboratoires de production et de manipulation ainsi qu'à proximité du conteneur extérieur d'entreposage des déchets radioactifs.

Intégrée dans le temps, le suivi de la dosimétrie ambiante est réalisé à l'aide de 4 dispositifs passifs implantés autour du site. A partir de 2012, un dispositif supplémentaire (site E) a été mis en place afin de prendre en compte et d'évaluer la contribution d'exposition liée à l'activité du laboratoire CYCLOPHARMA, installé à proximité du bâtiment de production de CYCERON. Cette activité de production radio-pharmaceutique s'est arrêtée à la fin du second semestre 2016.

Enfin systématiquement, un contrôle est réalisé avant vidange des deux cuves de décroissance des effluents liquides potentiellement radioactifs.

Les informations acquises depuis le début de la surveillance montrent l'intérêt et la complémentarité du suivi des ces quatre volets.

[1] à des niveaux significatifs et par des radionucléides émetteurs gamma

Définition des moyens

1. Mesures de radioactivité : émetteurs gamma sur des échantillons de l'environnement (végétaux)

Objectif

Evaluer l'impact potentiel des rejets atmosphériques des installations sur l'environnement et leur rémanence dans le temps.

Méthodologie

Des prélèvements sont réalisés dans le compartiment terrestre aux abords immédiat du site sous influence potentielle de ses rejets atmosphériques. Les analyses concernent l'identification et la quantification des radionucléides émetteurs gamma présents dans les échantillons (spectrométrie gamma).

Une partie des radionucléides recherchés sont d'origine naturelle : le béryllium-7, le potassium-40.

Concernant la recherche des radionucléides artificiels, l'approche retenue depuis 2003 est basée sur des données bibliographiques recensant les produits issus de l'activation des bétons des enceintes des cyclotrons. D'une manière générale, l'intérêt porte sur les radionucléides ayant une période physique suffisamment longue pour induire un marquage durable de l'environnement.

A partir du troisième trimestre 2006, le retour d'expérience relatif à l'analyse qualitative (par spectrométrie gamma) du système de filtration de la casemate du cyclotron du GIP a permis d'élargir le panel des produits d'activation à rechercher. La liste a donc été étendue : le sodium-24, le scandium-46, le cobalt-60, le zinc-65, le brome-82, l'antimoine-122, l'antimoine-124, l'iode-123, le baryum-131, le baryum-133, le césium-137, le samarium-153 et l'europium-152. De la même manière, 7 isotopes supplémentaires ont été ajoutés à cette liste suite à l'analyse effectuée sur de l'eau enrichie ainsi que sur une pièce plastique contaminée lors de la synthèse des radio-isotopes : le manganèse-52, le manganèse-54, le cobalt-55, le cobalt-56, le cobalt-57, le cobalt-58 et le nickel-57. Deux autres radionucléides artificiels ont également été rajoutés à la fin de l'année 2013 suite à une analyse réalisée par le CEA d'un feuillet collant placé dans la casemate du cyclotron : le vanadium-48 et le chrome-51. Un récapitulatif des éléments recherchés est présenté en page 9.

Localisation et nature des prélèvements

La zone de prélèvements se situe sur les 3 hectares du campus Jules HOROWITZ dans lequel 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 GASCON[2] (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.

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,

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

seules les personnes travaillant sur le site ou autorisées ont la possibilité d'accéder aux 3 hectares du campus.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne 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'écoulement d'air, 4 endroits distincts ont été retenus et sont distribués à partir de la direction des vents dominants (Sud-ouest) avec un pas d'environ 90° par rapport à ce même axe.

Etant donné son rôle d'interface privilégiée entre le milieu atmosphérique et le milieu terrestre (sols), le couvert végétal est utilisé comme bio-indicateur des dépôts de particules radioactives à proximité des installations [figure 1].

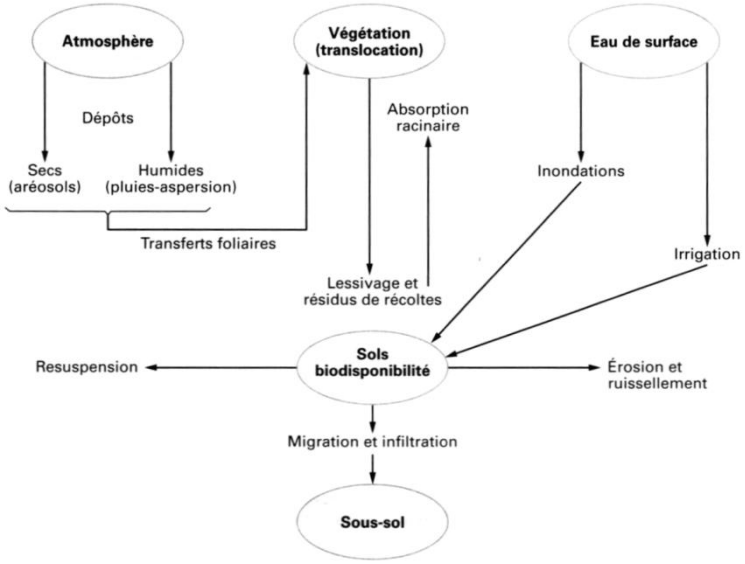


Figure 1 : processus d'échanges des radionucléides dans le milieu terrestre[3].

Les dépôts sont en partie captés par les surfaces végétales comme les feuilles, les brins d'herbe, etc. Cette contamination par dépôt foliaire suit alors rapidement les concentrations en contaminants du compartiment atmosphérique.

Le couvert végétal peut également être contaminé par le sol. Par transfert racinaire, certains éléments présents dans le sol migrent et sont absorbés par la plante. Comme dans toute matrice biologique, les phénomènes d'ab/adsorption sont sélectifs au même titre que les phénomènes de concentration.

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

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, des prélèvements supplémentaires d'indicateurs biologiques atmosphériques (champignons, lichens, aiguilles de pin…) peuvent compléter le suivi.

2. La dosimétrie ambiante intégrée

Objectif

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

Méthodologie

Le suivi de la dosimétrie ambiante est assuré par un dispositif comprenant une chambre d'ionisation associée à un électret (système E-perm) enfermé dans un sac en Mylar et un sac 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 75 µGy dans le Calvados d'après le réseau TELERAY. 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 de végétaux, c'est-à-dire quatre points distincts (A, B, C & D) distribués à partir de la direction des vents dominants (Sud-Ouest) avec un pas d'environ 90° par rapport à ce même axe.

Un dispositif supplémentaire (E) a été intégré à la surveillance le 6 février 2012. Il est situé entre les bâtiments de CYCLOPHARMA et de CYCERON.

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 ou dans l'éventualité d'un aléa technique imposant de connaître l'exposition gamma (i.e. suite à un incident lié à des rejets gazeux).

3. 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 dans des bâtiments.

L'étendue concernée par les investigations a été définie de manière à intégrer la totalité des 3 hectares du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON car il s'agit de la zone la plus sensible aux dépôts atmosphériques[4].

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 (transformation ou implantation de nouveaux bâtiments), les parcours peuvent être amenés à être modifiés d'un trimestre sur l'autre.

Matériel de mesure mis en oeuvre

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 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 relatif 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.

[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).

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 termes de composante radiologique. Ainsi, un nouveau seuil de discrimination 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.

4. Contrôle des niveaux de radioactivité avant rejet dans le réseau d'assainissement

Objectif

Evaluer les niveaux de radioactivité (émetteurs gamma et tritium) dans les cuves de décroissance du GIP CYCERON avant rejet dans le réseau collectif d'assainissement.

Méthodologie

Le GIP CYCERON est équipé de deux cuves de décroissance (n°1 et n°2) destinées à assurer la décroissance des effluents liquides potentiellement radioactifs avant rejet. Elles sont équipées d'un dispositif d'homogénéisation par air comprimé qui est activé avant chaque prélèvement. Un système de pompage manuel permet de récupérer l'échantillon à l'intérieur de chaque cuve.

Suite à la mise en évidence d'une activité en tritium dans la cuve n°1 (40 Bq/L environ) en juin 2010, il a été décidé d'effectuer un suivi régulier de l'activité tritium et gamma dans ces cuves. Systématiquement, un contrôle est réalisé avant vidange. Les prélèvements ont ainsi lieu en alternance sur les 2 cuves en fonction de leur remplissage.

Evolution de la liste des radionucléides gamma recherchés dans les échantillons biologiques et/ou effluents.

En regard du type de radionucléides produits et utilisés sur site, ainsi que du retour d'expérience des différentes analyses conduites à la demande du GIP CYCERON, la liste des radionucléides pris en compte lors des analyses est régulièrement mise à jour.

Ce fut le cas une première fois en 2006 lors de l'analyse du filtre de la casemate du cyclotron puis, fin 2009, lors de l'analyse sur de l'eau enrichie ainsi que sur une pièce plastique contaminée lors de la synthèse des radio-isotopes et enfin, en 2013 suite à l'analyse d'un feuillet collant placé dans l'enceinte du cyclotron.

Cette liste sera alors prise en compte lors des prochaines analyses par spectrométrie gamma conduites sur les échantillons biologiques comme sur les effluents.

	Radionucléide	Période radioactive	
	Emetteurs Gamma		
Radionucléides artificiels (produits d'activation)	24 Na : Sodium-24	14,96 h	Identifiés lors de l'analyse du filtre de la casemate du cyclotron.
	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	
	52 Mn : Manganèse-52	5,59 j	Identifiés lors de l'analyse de l'eau enrichie et de la QMA de purification des ions ^{18}F.
	54 Mn : Manganèse-54	312,13 j	
	55 Co : Cobalt-55	17,5 h	
	56 Co : Cobalt-56	77,3 j	
	57 Co : Cobalt-57	271,79 j	
	58 Co : Cobalt-58	70,86 j	
	57 Ni : Nickel-57	36 h	Identifiés lors de l'analyse d'un feuillet collant placé dans l'enceinte du cyclotron
	48 V : Vanadium-48	16,0 j	
	51 Cr : Chrome-51	27,7 j	
Radionucléides naturels	40 K : Potassium-40	$1,3\ 10^9$ ans	
	7 Be : Béryllium-7	53,2 jours	
	Emetteur Bêta		
	3 H : Tritium	12,3 ans	

Résultats

Premier Volet :

MESURE DE RADIOACTIVITE SUR ECHANTILLONS BIOLOGIQUES

Couvert végétal et matrice biologique

OBSERVATIONS

PRELEVEMENT DE COUVERT VEGETAL :

- Un échantillon d'aiguilles de pin a été prélevé le 28 octobre 2021 au point P1.
- Un échantillon d'herbe (couvert végétal) a été prélevé le 22 octobre 2021 au point P2.

Ces échantillons ont été prélevés consécutivement à une production de radio-isotope.

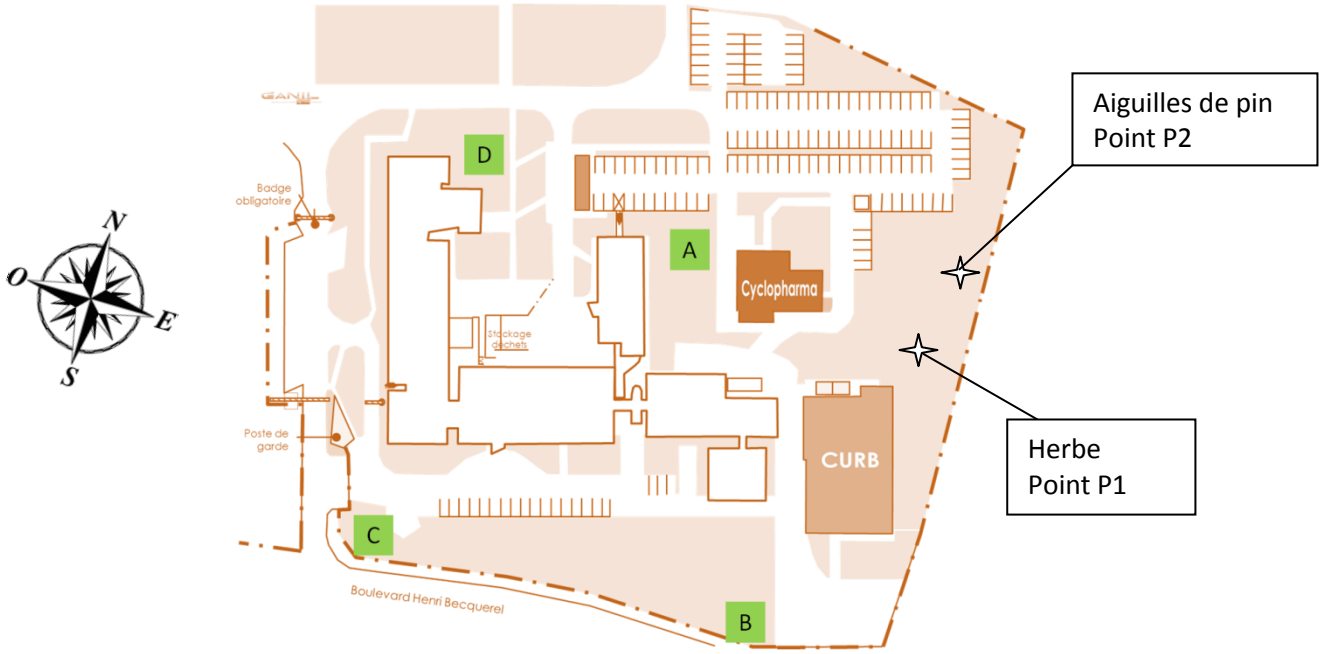


Figure B : Localisation des stations de prélèvement du couvert végétal et des aiguilles de pin les 22 et 28 octobre 2021.

OBSERVATIONS

Les échantillons ont été analysés par spectrométrie gamma. Les résultats sont présentés dans le tableau 1 ci-après.

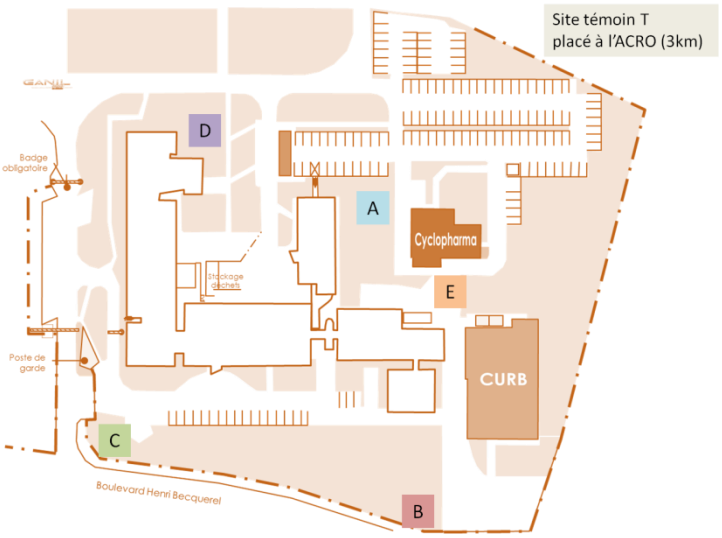
Les résultats ne mettent pas en évidence la présence de radionucléides artificiels émetteurs gamma à des niveaux significatifs. Les éléments naturels rencontrés sont présents à des activités couramment observées dans des environnements non influencés par des activités nucléaires.

ECHANTILLON			
Dénomination		Couvert végétal	Végétaux
Catégorie/Espèce		Herbe	Aiguilles de pin
PRELEVEMENT			
Date		22/10/2021	28/10/2021
Localisation		Point 1 Nord Est	Point 2 Nord Est
COMPTAGE			
n° d'enregistrement		211022-CYC-01	211028-CYC-01
n° de manipulation		V2-2567	V2-2570
Géométrie (en cc)		500	500
Masse d'échantillon analysé (équivalent g sec)		39,37	77,9
Age de l'échantillon (jours)		0	0
Age du conditionnement (jours)		0	0
Fraction analysée		entière	entière
Etat du conditionnement		frais	frais
Psec/Pfrais		18,2%	48,4%
Densité analysée		0,4	0,3
EXPRESSION DES RESULTATS			
Date de référence		22/10/2021	28/10/2021
Unité		Bq/kg sec	Bq/kg sec
Emetteurs Gamma Artificiels			
^{24}Na - Sodium-24	15 h	< 7,6	< 3,2
^{46}Sc - Scandium-46	84 j	< 1,9	< 1,0
^{48}V - Vanadium-48	16 j	< 2,1	< 1,2
^{51}Cr - Chrome-51	28 j	< 14	< 6,2
^{52}Mn - Manganèse-52	5,5 j	< 2,6	< 1,3
^{54}Mn - Manganèse-54	312 j	< 1,9	< 1,1
^{55}Co - Cobalt-55	18 h	< 8,1	< 3,5
^{56}Co - Cobalt-56	77 j	< 2,0	< 1,1
^{57}Co - Cobalt-57	272 j	< 1,1	< 0,44
^{57}Ni -Nickel-57	71 j	< 7,0	< 2,3
^{58}Co - Cobalt-58	5 a	< 1,8	< 1,0
^{60}Co - Cobalt-60	36 h	< 2,1	< 1,1
^{65}Zn - Zinc-65	244 j	< 4,4	< 2,3
^{82}Br - Brome-82	1,5 j	< 4,2	< 1,8
^{122}Sb - Antimoine-122	3 j	< 3,4	< 1,6
^{124}Sb - Antimoine-124	60 j	< 1,9	< 0,99
^{123}I - Iode-123	13 h	< 5,5	< 1,7
^{137}Cs - Césium-137	30 a	< 2,0	< 1,0
^{131}Ba - Baryum-131	11,5 j	< 3,7	< 1,7
^{133}Ba - Baryum-133	11 a	< 2,2	< 1,0
^{152}Eu - Europium-152	13,5 a	< 5,1	< 2,4
^{153}Sm - Samarium-153	2 j	< 5,0	< 1,9
Emetteurs Gamma Naturels			
^{40}K - Potassium-40	$1{,}3.10^{9}$ a	640 ± 70	123 ± 16
^{7}Be - Béryllium-7	53 j	255 ± 25	40 ± 5

MESURE DE LA DOSIMETRIE AMBIANTE INTEGREE

Mesure de dose moyenne et intégrée

Deuxième Volet :



LOCALISATION DES SITES DE MESURE

Figure A : Localisation des sites de mesure du 8 juillet 2021 au 10 janvier 2022

RESULTATS

Tableau 1 : Débit de dose moyen (en µSv/h ou µGy/h) et dose cumulée (mGy) sur les deux périodes d'intégration successives : du 8 juillet au 4 octobre 2021 et du 4 octobre 2021 au 10 janvier 2022

3ème trimestre

Période d'intégration 08 juillet 2021 au 04 octobre 2021

Localisation des dispositifs intégrateurs	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	**Site Témoin**
Débit de dose moyen (µSv/h ou µGy/h)	0,086 ± 0,004	0,108 ± 0,005	0,093 ± 0,005	0,098 ± 0,005	0,098 ± 0,005	**0,095 ± 0,005**
Dose cumulée sur la période d'intégration (mGy)	0,182 ± 0,008	0,228 ± 0,011	0,196 ± 0,011	0,207 ± 0,011	0,207 ± 0,011	**0,201 ± 0,011**

4ème trimestre

Période d'intégration 04 octobre 2021 au 10 janvier 2022

Localisation des dispositifs intégrateurs	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	**Site Témoin**
Débit de dose moyen (µSv/h ou µGy/h)	0,086 ± 0,004	0,107 ± 0,005	0,082 ± 0,004		0,094 ± 0,005	**0,086 ± 0,004**
Dose cumulée sur la période d'intégration (mGy)	0,202 ± 0,009	0,252 ± 0,012	0,193 ± 0,009		0,221 ± 0,012	**0,202 ± 0,009**

COMMENTAIRES ET OBSERVATIONS

Au cours du deuxième semestre 2021, l'exposition mesurée sur le site du GIP CYCERON est relativement comparable à l'exposition du site témoin.

Nous noterons toutefois la perte de 2 dispositifs d'intégration au point D au cours du 4ème trimestre (période octobre/janvier).

Au 3ème trimestre, le débit de dose moyen sur la période considérée varie de 0,086 µSv/h au site A (soit -9 % par rapport au site témoin) à 0,108 µSv/h au site B (soit un écart de +14 % par rapport au site témoin).
Au 4ème trimestre, le débit de dose moyen sur la période considérée varie de 0,082 µSv/h au site A (soit -5 % par rapport au site témoin) à 0,107 µSv/h au site B (soit un écart de +24% par rapport au site témoin).

Figure B : Débit de dose moyen pour les deux derniers trimestres 2021

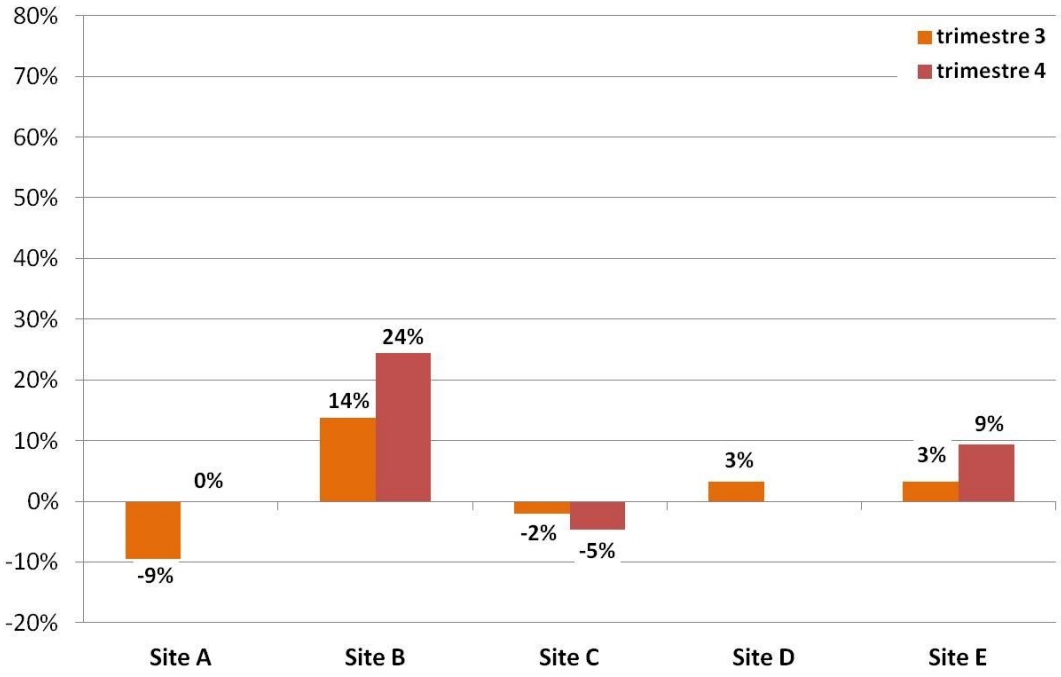
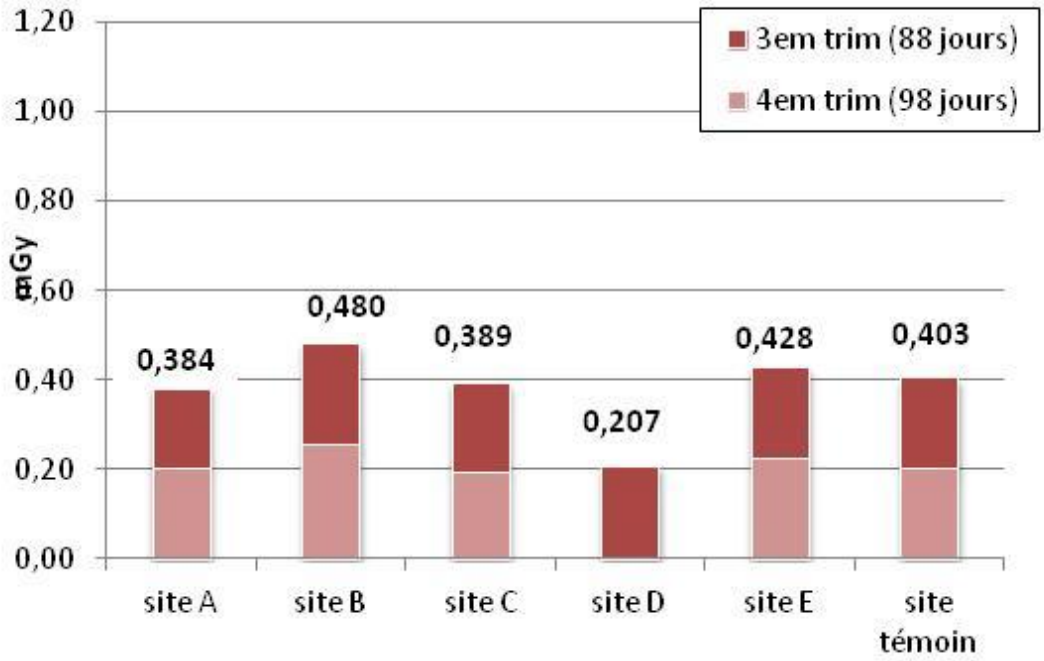


Figure C : Ecart de débit de dose moyen par rapport au site témoin pour les deux derniers trimestres 2021



Note : Les mesures du site D n'ont pu être relevées au 4ème trimestre

Figure D : Dose cumulée sur chaque site et pour les deux derniers trimestres 2021

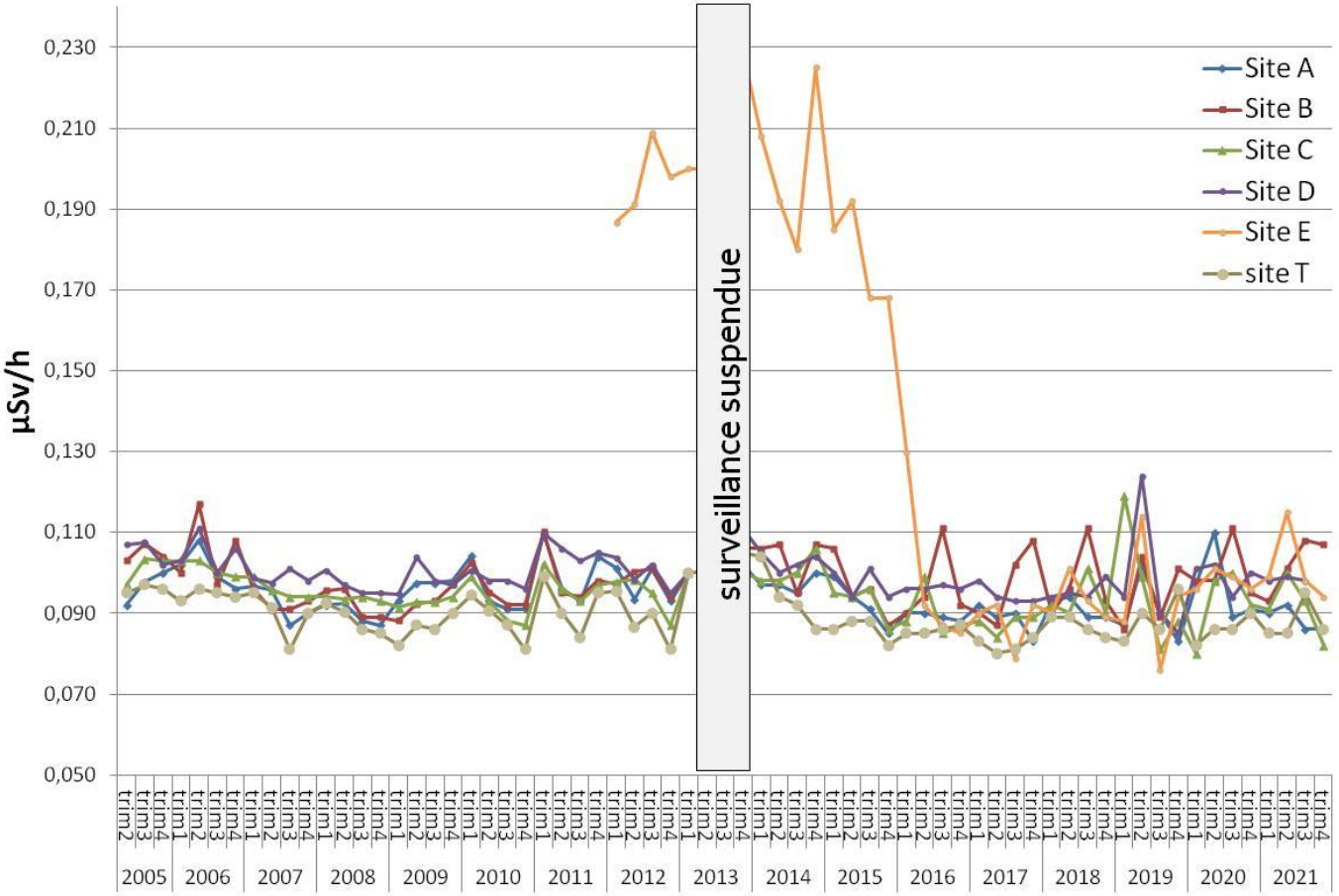


Figure E : Evolution des débits de dose relevés depuis 2005 chaque trimestre dans l'environnement de Cyceron.

Troisième Volet : EVALUATION DE L'EXPOSITION GAMMA AMBIANTE PONCTUELLE

Rayonnement gamma ambiant

Une cartographie d'évaluation de l'exposition gamma ambiant a été réalisée le 22 octobre 2021 à l'occasion d'une production de Carbone-11. Les mesures ont été effectuées à la périphérie cadastrale et le long des bâtiments pendant la durée de production du radio-isotope.

Production de Carbone-11 et exposition gamma aux limites cadastrales

DETAIL DU PARCOURS EFFECTUE

Le parcours a été réalisé le 22 octobre 2021 durant la période de production du Carbone-11 (88 GBq de C-11 produit de 11h22 à 12h14).

Les mesures ont été réalisées par temps sec et vent faible en provenance du sud-ouest.

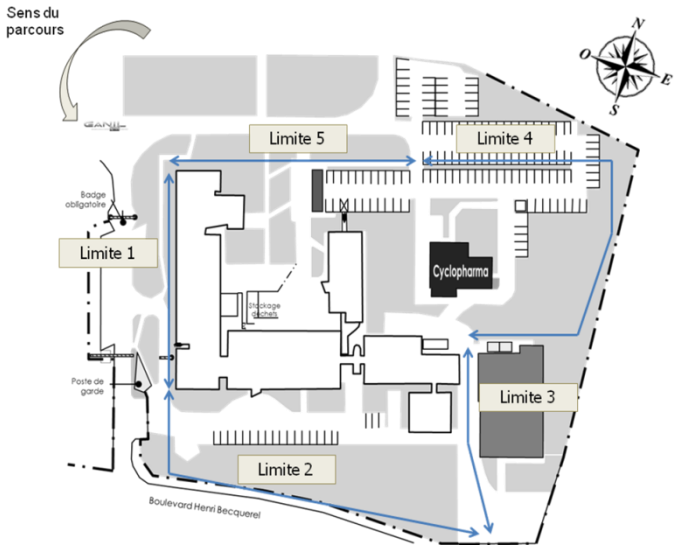


Figure C : Détail du parcours, limites cadastrales

RESULTATS DE MESURES

Tableau 3 : Résultats des mesures réalisées lors du parcours (limites cadastrales du site) le 22 octobre 2021 en choc par seconde (cps) – Production de Carbone-11

Valeur de référence couvert végétal: **80 chocs par seconde**

Parcours	heure	Mini	Maxi	% du SD
Limite 1	11:58	95	100	25%
Limite 2	12:00	70	95	19%
Limite 3	12:09	90	130	63%
Limite 4	11:39	95	115	44%
Limite 5	11:55	90	95	19%

COMMENTAIRES ET OBSERVATIONS

Les mesures réalisées sur ce parcours pendant la production de Carbone-11 n'ont révélé dans l'ensemble aucune élévation significative de l'exposition gamma. On notera toutefois, une élévation ponctuelle sur le parcours 3, jusqu'à 130 c/s.

Troisième Volet : EVALUATION DE L'EXPOSITION GAMMA AMBIANTE PONCTUELLE

Rayonnement gamma ambiant

Production de Carbone-11 et exposition gamma le long des bâtiments

DETAIL DU PARCOURS EFFECTUE

Le parcours a été réalisé le 22 octobre 2021 durant la période de production du Carbone-11 (de 11h22 à 12h14).

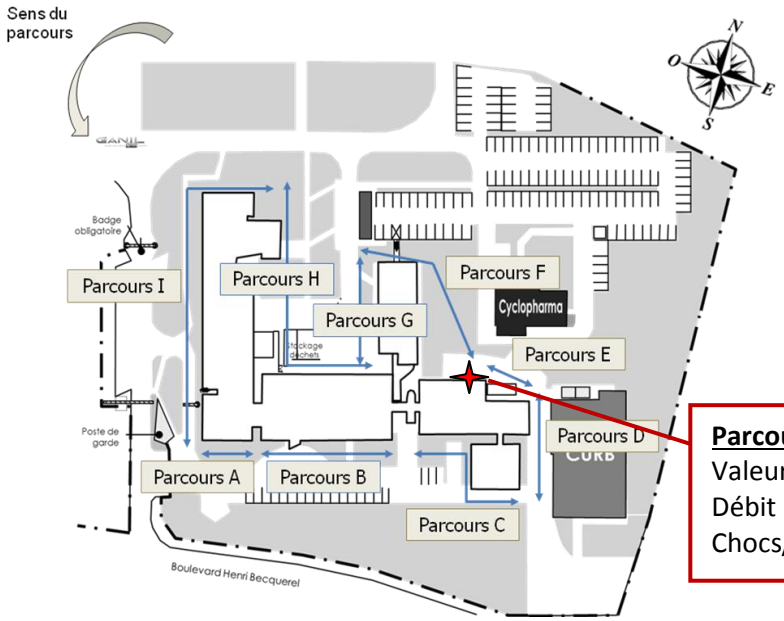


Figure I: Détail du parcours, le long des bâtiments.

(*) Valeurs maximales mesurées au contact du mur.

RESULTATS DE MESURES

Tableau 4 : Résultats des mesures réalisées lors du parcours (le long du bâtiment) le 20 octobre 2021 en choc par seconde (cps) –Manipulation de Carbone-11

Valeur de référence bitûme: **95 chocs par seconde**

Parcours	Heure	Mini	Maxi	% du SD
parcours A	12:00	85	95	0%
parcours B	12:05	80	100	7%
parcours C	12:08	98	110	21%
parcours D	11:25	105	130	50%
parcours E	11:35	90	350	364%
parcours F	11:42	90	120	36%
parcours G	11:45	90	130	50%
parcours H	11:47	80	102	10%
parcours I	11:55	95	100	7%

COMMENTAIRES ET OBSERVATIONS

Durant le parcours, à distance des bâtiments, deux légères élévations ponctuelles de l'exposition sont notées sur le parcours D et E, respectivement jusqu'à 130 c/s (0,074 µSv/h) et 138 c/s (0,115 µSv/h).

Le niveau d'exposition le plus important est mesuré sur le parcours E, à l'arrière du bâtiment abritant le cyclotron, où une valeur maximale de débit de dose de 0,45 µSv/h (350 c/s) est mesurée au contact du mur (mesuré à 11h35 et 12h08). Celui-ci est redescendu à 0,05 µSv/h (75 c/s) dès l'arrêt de production du radio-isotope (12h14).

Quatrième volet : CONTROLE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE DES EFFLUENTS LIQUIDES

Dénomination			Effluent	Effluent
Catégorie			**cuve décr. n°2**	**cuve décr. n°1**
Prélèvement				
Date			04/10/2021	06/12/2021
Site			CYCERON	CYCERON
Analyse				
n° de d'enregistrement			211004-CYC-01	211206-CYC-01
n° de manipulation			9514	V2-2590
Fraction analysée			brute	brute
Densité analysée			1,00	1,00
Date de la mesure			04/10/2021	06/12/2021
temps de comptage (s)			87 644	82 547
Expression des résultats				
Date de référence			**04/10/2021**	**06/12/2021**
Unité			Bq/L	Bq/l
Radionucléides artificiels				
Na-24	sodium-24	15 h	< 0,49	< 0,47
Sc-46	scandium-46	84 j	< 0,25	< 0,28
V-48	vanadium-48	16 j	< 0,26	< 0,29
Cr-51	chrome-51	28 j	< 1,5	< 1,6
Mn-52	manganèse-52	5,5 j	< 0,30	< 0,31
Mn-54	manganèse-54	312 j	< 0,24	< 0,28
Co-55	cobalt-55	18 h	< 0,58	< 0,60
Co-56	cobalt-56	77 j	< 0,24	< 0,28
Co-57	cobalt-57	272 j	< 0,17	< 0,14
Co-58	cobalt-58	71 j	< 0,21	< 0,26
Co-60	cobalt-60	5 a	< 0,28	< 0,27
Ni-57	nickel-57	36 h	< 0,47	< 0,43
Zn-65	zinc-65	244 j	< 0,52	< 0,59
Br-82	brome-82	1,5 j	< 0,34	< 0,39
Sb-122	antimoine-122	3 j	< 0,32	< 0,36
Sb-124	antimoine-124	60 j	< 0,23	< 0,27
I-123	iode-123	13 h	< 0,33	< 0,29
Cs-137	césium-137	30 a	< 0,25	< 0,26
Ba-131	baryum-131	11,5 j	< 0,38	< 0,51
Ba-133	baryum-133	11 a	< 0,25	< 0,28
Sm-153	samarium-153	2 j	< 0,66	< 0,47
Eu-152	europium-152	13 a	< 0,56	< 0,66
Radionucléides naturels				
K-40	potassium-40	$1{,}3.10^9$ a	< 6,3	< 4,0
Be-7	béryllium-7	53,2 j	< 1,7	< 1,9

Dénomination	Effluent CYCERON	Effluent CYCERON
Prélèvement		
Date	04/10/2021	06/12/2021
Lieu de prélèvement	**cuve décr. n°2**	**cuve décr. n°1**
Analyse		
n° d'enregistrement	211004-CYC-01	211206-CYC-01
n° de manipulation	XG	XS
Traitement	Filtration seuil de rétention 0,45µm	Filtration seuil de rétention 0,45µm
Date d'analyse	07/10/2021	07/12/2021
Expression des résultats		
Date de référence	04/10/2021	06/12/2021
Unité	Bq/l	Bq/l
Radionucléides émetteurs béta		
H-3 tritium 12,32 a	< 3,6	< 3,9

Tableaux 1 et 2 : résultats d'analyse par spectrométrie gamma et par scintillation liquide des cuves de décroissances.

AUTRES CONTROLE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE

Tableaux 3 : résultats d'analyse par spectrométrie gamma et par scintillation liquide d'eau de lavage et d'huile

Dénomination			Eau lavage cyclotron	Huile ODP
Catégorie				
Prélèvement				
Date			23/08/2021	07/12/2021
Site			CYCERON	CYCERON
Analyse				
n° de d'enregistrement			210902-CYC-01	211209-CYC-01
n° de manipulation			9502	9547
Fraction analysée			brute	brute
Densité analysée			1,10	1,10
Date de la mesure			03/09/2021	09/12/2021
temps de comptage (s)			260 725	109 233
Expression des résultats				
Date de référence			**03/09/2021**	**09/12/2021**
Unité			Bq/L	Bq/L
Radionucléides artificiels				
Na-24	sodium-24	15 h	< 1,2	< 0,66
Sc-46	scandium-46	84 j	< 1,0	< 0,34
V-48	vanadium-48	16 j	< 1,2	< 0,34
Cr-51	chrome-51	28 j	< 6,8	< 2,4
Mn-52	manganèse-52	5,5 j	< 1,4	< 0,43
Mn-54	manganèse-54	312 j	< 1,1	< 0,34
Co-55	cobalt-55	18 h	< 4,3	< 0,74
Co-56	cobalt-56	77 j	< 1,1	< 0,36
Co-57	cobalt-57	272 j	< 0,46	< 0,19
Co-58	cobalt-58	71 j	< 1,0	< 0,34
Co-60	cobalt-60	5 a	< 1,2	< 0,36
Ni-57	nickel-57	36 h	< 2,4	< 0,6
Zn-65	zinc-65	244 j	< 2,3	< 0,75
Br-82	brome-82	1,5 j	< 2,2	< 0,6
Sb-122	antimoine-122	3 j	< 1,8	< 0,48
Sb-124	antimoine-124	60 j	< 1,0	< 0,34
I-123	iode-123	13 h	< 2,0	< 0,4
Cs-137	césium-137	30 a	< 1,1	< 0,38
Ba-131	baryum-131	11,5 j	< 1,9	< 0,62
Ba-133	baryum-133	11 a	< 1,1	< 0,40
Sm-153	samarium-153	2 j	< 1,9	< 0,6
Eu-152	europium-152	13 a	< 2,5	< 0,93
Radionucléides naturels				
K-40	potassium-40	$1{,}3.10^9$ a	< 32	< 9,1
Be-7	béryllium-7	53,2 j	< 7,9	< 2,6

COMMENTAIRES ET OBSERVATIONS

Aucun radionucléide gamma artificiel, ni tritium, n'est décelé dans les échantillons issus des cuves de décroissance, analysés durant le 2ème semestre 2021.

Aucun radionucléide gamma artificiel, n'est décelé dans l'échantillon d'eau de lavage et dans l'échantillon d'huile issues du cyclotron.

Annexes

ANNEXE 1 : Matériel et méthodes

Les méthodes citées ci-après sont employées dans le respect des normes relatives aux techniques d'échantillonnage d'indicateurs de l'environnement ainsi qu'à leur préparation et à leur conservation :

- Norme NF M 60-780-1- Energie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Bioindicateurs – Partie 1 : Guide général pour l'établissement des programmes d'échantillonnage
- Norme NF M 60-780-2 - Energie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Bioindicateurs – Partie 2 : Guide général sur les techniques d'échantillonnage
- Norme NF M 60-780-3 -Energie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Bioindicateurs – Partie 3 : Guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons
- Selon NF M 60-780-4 (mai 1997) Énergie nucléaire – Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Bioindicateurs – Partie 4 : guide général pour la préparation des échantillons.
- Norme NF M 60-780-5 - Energie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Bioindicateurs – Partie 5 : Guide général pour l'échantillonnage d'indicateurs biologiques du milieu terrestre.

1. 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 autres, 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) : Le prélèvement est effectué manuellement à l'aide de ciseaux dans une zone dégagée sur une surface d'environ $1m^2$. Seule la partie aérienne des végétaux est prélevée. Aucune différenciation d'espèces n'est effectuée.

Les autres indicateurs atmosphériques : le choix de ces indicateurs est fonction de la saison. Le prélèvement est effectué manuellement et de manière à obtenir un échantillon représentatif de la zone de répartition de l'espèce.

2. Méthodologie employée pour le traitement des échantillons biologiques

Le couvert végétal (herbe) : aucun traitement n'est appliqué, les brins d'herbe sont coupés afin qu'ils n'excèdent pas une longueur de 5 cm. Une aliquote représentative de l'échantillon d'une masse d'environ 250 g est 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 autres indicateurs : en fonction de la quantité prélevée, 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.

3. 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 rayonnements détectés 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 0,001 µSv/h à 100 mSv/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.

4. Méthodologie employée pour le prélèvement des échantillons de cuves de décroissance

Un dispositif d'homogénéisation par air comprimé est activé avant le prélèvement sur chacune des cuves de décroissance. Un système de pompage manuel permet ensuite de récupérer 500 ml d'échantillon à l'intérieur de chaque cuve.

5. Méthodologie employée pour le traitement des échantillons d'effluents liquides et des cuves de décroissance

Selon NF ISO 10703 (2021) Qualité de l'eau - Détermination de l'activité volumique des radionucléides - Méthode par spectrométrie gamma à haute résolution

Après homogénéisation énergique, 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 cm^3 (type SG500) adaptée à la mesure par spectrométrie gamma.

6. Analyse par spectrométrie gamma

La mesure des radionucléides émetteurs gamma est effectuée par spectrométrie gamma haute résolution (GeHP), selon les normes :
NF ISO 10703 (juin 2021) Qualité de l'eau – Détermination de l'activité volumique des radionucléides – Méthode par spectrométrie gamma à haute résolution
NF ISO 18589-3 (mars 2018) Mesurage de la radioactivité dans l'environnement – Sol – Partie 3 : mesurages des radionucléides émetteurs gamma
NF ISO 11929 (mai 2010) Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle de confiance) pour mesurages de rayonnements ionisants – Principes fondamentaux et applications.

Seules les activités supérieures au seuil de décision de la chaîne d'analyse sont exprimées. Dans le cas contraire et pour les seuls radionucléides mentionnés, la limite de détection précédée du signe " < " 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 %. Le seuil de décision et la limite de détection sont calculés avec $\alpha = \beta = 2{,}5\%$.

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).

Tableau 2 : 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 SD	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
^{48}V	1312,096	983,52 - 1312,096	Produit d'activation
^{51}Cr	320,08	320,08	Produit d'activation
^{52}Mn	935,52	744,2- 935,5	Produit d'activation
^{54}Mn	834,8	834,8	Produit d'activation
^{55}Co	931,5	931,5	Produit d'activation
^{56}Co	846,76	846,8-1238,3	Produit d'activation
^{57}Co	122,06	122,06	Produit d'activation
^{57}Ni	1377,6	127,3-1377,6	Produit d'activation
^{58}Co	810,8	810,8	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			
^{40}K	1460,8	1460,8	
^{7}Be	477,6	477,6	

7. Analyse par scintillation liquide

Le dosage du tritium dans l'eau (HTO) est réalisé selon la norme NF ISO 9698 (mai 2019) Qualité de l'eau –Tritium – Méthode d'essai par comptage des scintillations en milieu liquide.

La grandeur déterminée est l'activité en becquerel (Bq) par litre (L) ou activité volumique. Elle est suivie de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95 %. Seules les activités supérieures au seuil de décision sont exprimées. Dans le cas contraire, la limite de détection précédée du signe " < " est rapportée.

Le seuil de décision et la limite de détection sont calculés avec $\alpha = \beta = 2{,}5\%$.

Toute activité exprimée, y compris la limite de détection, est rapportée à la date de fin de prélèvement ou à la date de comptage.

ANNEXE 2 : qualifications techniques

1. Qualifications techniques /Agréments

Le laboratoire de l'ACRO participe depuis 1997 à des essais inter-laboratoires (EIL) d'envergure nationale, organisées par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et internationale (AIEA). Les méthodes d'analyses sont conformes aux normes existantes ainsi qu'aux exigences organisationnelles et techniques fixées par la norme ISO/CEI 17025.

A ce jour, le laboratoire dispose d'**agréments** pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement et la mesure du radon délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire[5] (ASN).

Décision ASN	**Matrice**	**Catégorie des mesures radioactives**	**Validité**
CODEP-DEU-2018-057606	Biologique	Mesure des radioéléments émetteurs gamma	31/12/2023
CODEP-DEU-2020-058804	Eau	Mesure des radioéléments émetteurs gamma	31/12/2025
CODEP-DEU-2021-026595	Sol / sédiment	Mesure des radioéléments émetteurs gamma	30/06/2026
CODEP-DEU-2020-029669	Sol / sédiment	Isotopes de l'uranium et du thorium ; 226Ra, 228Ra et descendants ; uranium pondéral	30/06/2025
CODEP-DEU-2021-056602	Eau douce	Mesure du tritium	31/12/2026
CODEP-DEU-2020-029669	Eau de mer	Mesure du tritium	30/06/2024
CODEP-DIS-N°2016-027007	Eau	Mesure du radon (Rn-222)	31/12/2025
CODEP-DEU-2021-056602	Air	Mesure du tritium	31/12/2026
CODEP-DIS-N°2021-031618	Air	Mesure de l'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public, niveau 1 (option A)	31/08/2026

Le laboratoire ACRO est également agréé pour procéder aux analyses et aux essais pour la répression des fraudes dans les domaines de la radioactivité dans les denrées alimentaires et radioactivité dans divers objets (Agréments du Ministère de l'Economie et des Finances - Journal officiel du 18/07/2018).

[5] https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Laboratoires-organismes-agrees-et-mesures-de-la-radioactivite/Listes-des-agrements-d-organismes