



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



Rex: Contamination atmosphérique à la suite d'un rejet de C-11

HANADI SKEIF, MARIE-LÈNE GAAB

UAR 3408-US50 GIP CYCERON, CAMPUS JULES HOROWITZ, BOULEVARD HENRI
BECQUEREL, BP 5229 – 14074 CAEN CEDEX 5

Sommaire



Cyceron et ses installations



L'incident



Leçons à retenir

Fournisseur de sources
radioactives non-scellées
Expédition de radiopharmaceutiques



Salle blanche (1,5 M€)
Production des radiotraceurs et qualification
en radiopharmaceutique



Cellules blindées
Marquage radioactif de molécules



Cyclotron (~1,5M€)
Permet de produire les radionucléides utilisés en TEP
Rejets atmosphériques annuels : 750 GBq





IRM 3 Tesla

Acquisitions anatomiques et fonctionnelles



IRM 7T

Acquisitions anatomiques et fonctionnelles



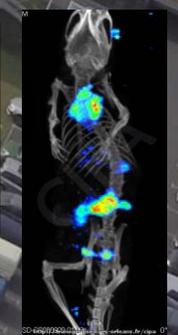
TEP - TDM Clinique

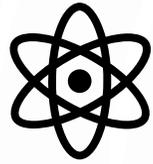
Mesures en 3D d'une activité métabolique ou moléculaire



IRM-TEP préclinique

Mesures en 3D d'une activité métabolique ou moléculaire d'un organe.





Autorisation – E01 5004



Autorisation de détention et d'utilisation d'accélérateur de particules

Fabricant / Référence	IBA /Cyclone 18/9
Tension (kV) maximale d'utilisation autorisée	34
Intensité (μ A) maximale d'utilisation autorisée	80

Autorisation de fabrication de SNS

Radionucléide	A(GBq)	Activité maximale manipulée
F-18	350 GBq	133 GBq/tir
C-11		100 GBq/tir
O-15		13 GBq/minute

L'incident ...

Rejet d'environ **71 GBq** de ^{11}C -[CO₂] dans l'atmosphérique lors de l'irradiation d'une cible gazeuse le 07 février 2023.

Rejets d'effluents gazeux dans l'environnement

Le rejet dans l'environnement de radionucléides de période radioactive supérieure à 100 jours est interdit. Le rejet dans l'environnement de radionucléides de période radioactive inférieure à 100 jours est autorisé dans **la limite de 750 GBq sur douze mois glissants.** Ces rejets font l'objet d'une mesure ou d'une évaluation permettant de déterminer l'activité rejetée, le cas échéant par radionucléide. Tout dépassement de cette limite fait l'objet d'une déclaration à l'ASN en tant qu'événement significatif en radioprotection.



[Guide de l'ASN n°11 : Déclaration et codification des critères des événements significatifs \(hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives\)](#)

Critère 6.1

Tout autre événement susceptible d'affecter la radioprotection jugé significatif par le responsable de l'activité nucléaire.

Précisions

Entrent, en particulier, dans cette catégorie les cas suivants :

- utilisation d'un dosimètre appartenant à une autre personne ;
- répétition d'événements mineurs ...



Contexte de l'incident



12h24: Début de l'irradiation de la cible gazeuse



$$T_{1/2} = 20 \text{ min}$$

P = 20 bar sans faisceau

P = 40 bar avec faisceau

$$I = 35 \mu\text{A}$$

$$K_{\text{cible}} = 125 \text{ mCi}/\mu\text{Asat}$$

$$\lambda = 0,034 \text{ s}^{-1}$$



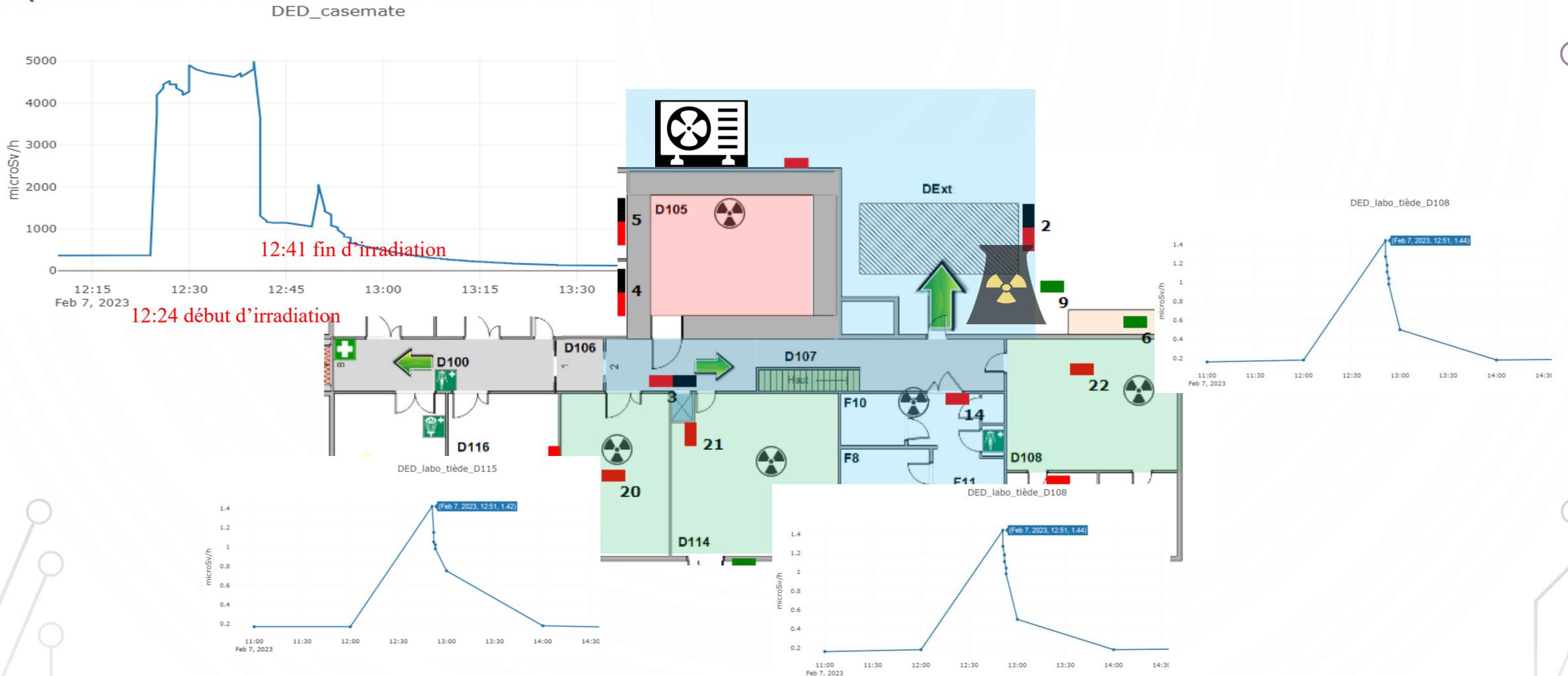
12h41: Arrêt d'irradiation et rupture de d'étanchéité de la cible

Surpression > 40 bars dans la cible



12h50: Information de l'incident aux PCR

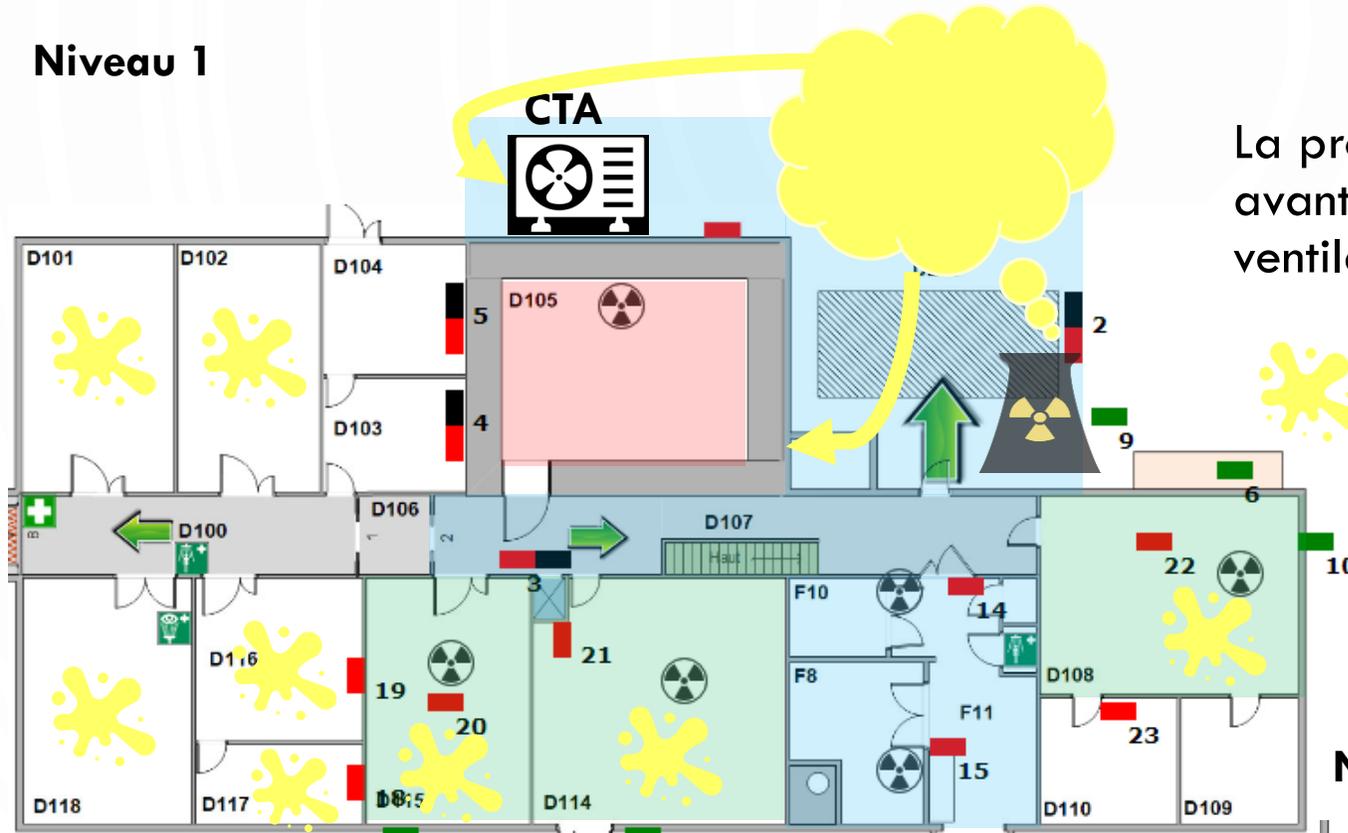
Analyse des causes et des effets - 1



Un débit de dose d'environ 1,5 $\mu\text{Sv/h}$ a été mesuré dans les différents laboratoires.

Analyse des causes et des effets - 2

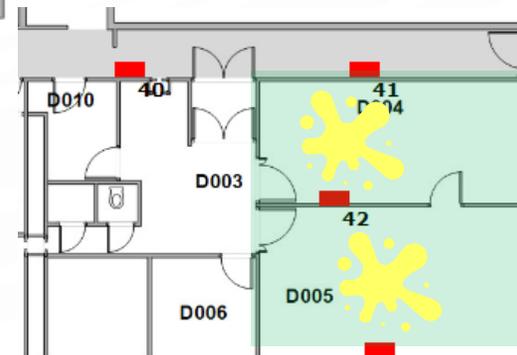
Niveau 1



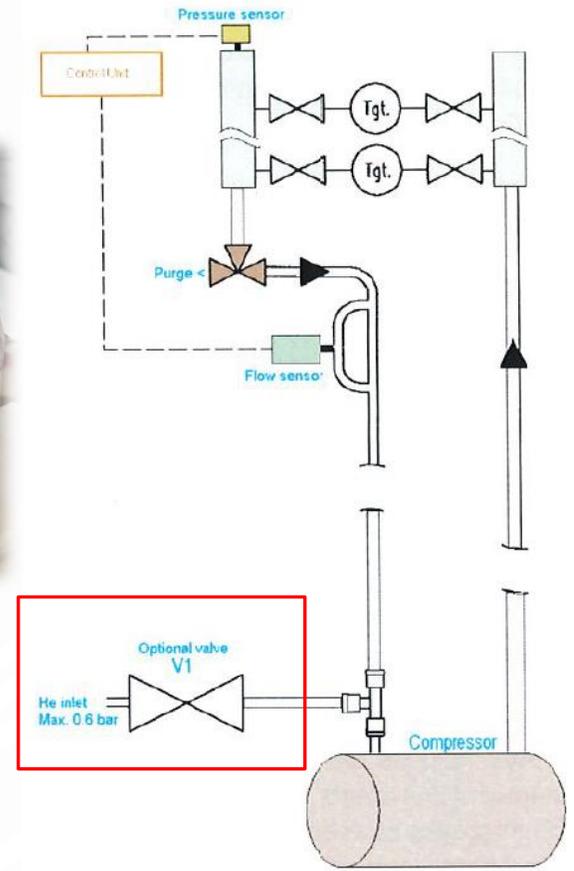
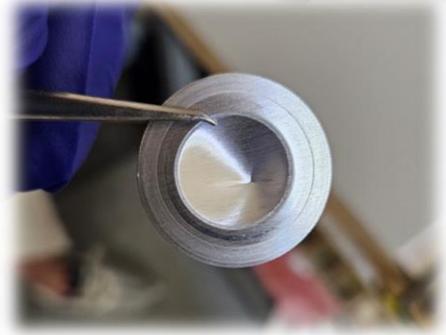
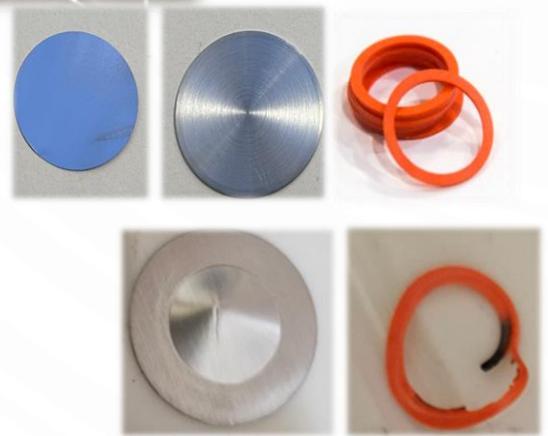
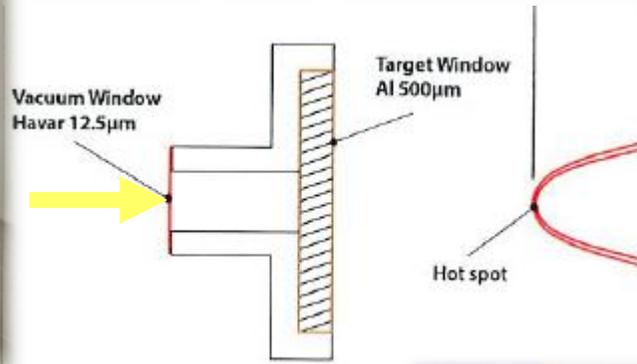
La production s'est accumulée dans la casemate avant d'être évacuée par le système de ventilation

Zone contaminée de 12h51 à 13h51...

Niveau 0



Analyse des causes et des effets - 3



Fuite d'hélium dans le système de refroidissement de la cible

Impacts sur les populations

	CYCERON Conséquences des rejets radioactifs émis par voie atmosphérique en fonctionnement accidentel	DIR-2013-063
		Page 5/17

Le scénario accidentel retenu implique le rejet d'un seul isotope par voie atmosphérique, le ^{11}C , l'activité rejetée étant de 100 GBq.

Groupe de référence / Condition météo	DN5	DN5p	DF2
Groupe 1	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Groupe 2	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$
Groupe 3	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Groupe 4	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Groupe 5	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$

Les trois conditions météorologiques étudiées :

- DN5: Diffusion Normale avec vent de vitesse 5m/s, sans pluie;
- DS5p: Diffusion Normale avec vent de vitesse 5m/s, avec la présence de pluie à hauteur de 2mm/h;
- DF2 : Diffusion Faible avec vent de vitesse 2m/s, sans pluie.

Les groupes étudiés :

- Groupe 1: 100 mètres
- Groupe 2 : 250 mètres
- Groupe 3 : 600 mètres
- Groupe 4 : 1000 mètres
- Groupe 5 : 4000 mètres

Tableau 5 : Synthèse de la dose efficace intégrée sur 2 jours pour un enfant de 1 à 2 ans à différentes distances pour les trois conditions météorologiques étudiées (mSv/an).

Impact sur l'environnement



	CYCERON Conséquences des rejets radioactifs émis par voie atmosphérique en fonctionnement accidentel	DIR-2013-063
		Page 10/17

La contamination des aliments est extrêmement faible, largement inférieure aux niveaux maximums admissibles présentés dans le journal officiel des communautés européennes et ne nécessite pas de prendre des mesures de restriction de consommation des produits agricoles d'origine locale.

Impacts sur les travailleurs

Exposition interne pour les travailleurs			
Dose efficace engagée par unité d'incorporation en Sv.Bq ⁻¹		h(g)	
Inhalation			
R	1 µm		
	5 µm		
M	1 µm		
	5 µm		
L	1 µm		
	5 µm		
Gaz carbonique (CO ₂)	V		2,2.10 ⁻¹²
Oxyde de carbone (CO)	V		1,2.10 ⁻¹²
Ingestion		f ₁	e(g)
sans objet			

Données pratiques

Débit de dose efficace par immersion⁽¹⁾ **LPCA^{(2), (3)}**
 2,1.10⁻⁶ µSv.h⁻¹ par Bq.m⁻³ 2,1.10⁶ Bq.m⁻³

Organe exposé contribuant le plus à la dose efficace
 Immersion : Organisme entier, pancréas (CO₂)
 Ingestion : sans objet

$C = 346 \text{ kBq/m}^3$
 $V = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$

$AI_{20\text{inhalation}} \text{ (Bq)}^{(2)} : 9,1.10^9$

$AI_{20\text{ingestion}} \text{ (Bq)}^{(2)} : \text{sans objet}$

(1) Calculée dans un volume de 100 m³.
 (2) Valeurs les plus restrictives.
 (3) La LPCA prend en compte l'exposition par inhalation et par immersion.



Extrait du Guide pratique radionucléides et radioprotection - Daniel Delacroix, Jean-Paul Guerre, Paul Leblanc - édition 2006

$h(g) = 0,91 \text{ µSv/h}$

h(g) : Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation

Lancer calcul

$H^*(10)$
 1,87 µSv/h

Hauteur 250 cm
 Largeur 800 cm
 Longueur 500 cm

Matériau source Air

Hypothèse: Contamination homogène et uniforme dans l'ensemble du volume
 Le calcul ne tient compte que de l'exposition externe (voir Dosimex-1 pour l'exposition interne)

Autres actions menées ...

IRSN [DOSIMÉTRIE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CODE UD	Service	Période de Port	Périodicité	Dose Hp(10) en mSv	Dose Hp(0,07) en mSv	N° dosimètre / neutron associé	Dose Nth en mSv	Dose Nrp en mSv	Dénomination Catalogue	Code Observation	Reçu le	Analysé le	Etat
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00	5331874	0,00	0,00	RPL Ambiance neutrons	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00	5331907	0,00	0,00	RPL Ambiance neutrons	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	T	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	M	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé
K23840001	CYCERON	202301	M	0,00	0,00				RPL Ambiance	Traitement anticipé (U)	13/02/2023	13/02/2023	Analysé

Autres actions menées ...

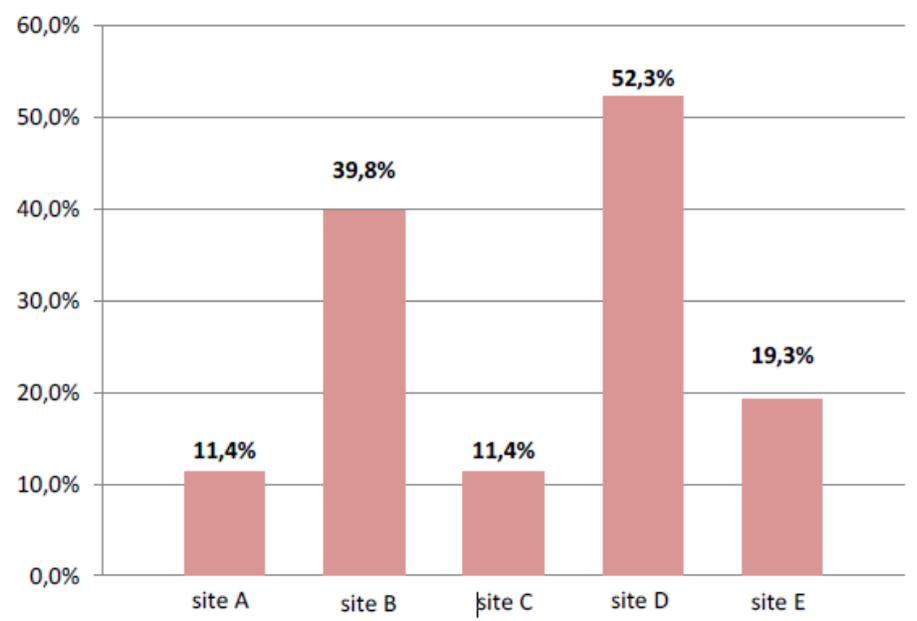
ACRO
 ASSOCIATION POUR LE CONTRÔLE
 DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'OUËST
Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité
 Association for 1901 SIRET : 950 369 868 00035 APE : 7120B
 Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest
 711 boulevard de la Grande Delle - 14200 HEROUVILLE-SAINT-CLAIR
 Tél. : (+33) 2.31.94.35.34 Fax : (+33) 2.31.94.85.31
 Email : laboratoire@acro.eu.org
 N°TVA : FR 62 950 369 868
www.acrojeu.org



ECHANTILLON		
Dénomination	Couvert végétal	
Catégorie/Espèce	Herbe	
EXPRESSION DES RESULTATS		
Date de référence	08/02/2023	
Unité	Bq/kg sec	
Emetteurs Gamma Artificiels		
²⁴ Na - Sodium-24	15 h	< 14
⁴⁶ Sc - Scandium-46	84 j	< 1,5
⁴⁸ V - Vanadium-48	16 j	< 1,7
⁵¹ Cr - Chrome-51	28 j	< 14
⁵² Mn - Manganèse-52	5,5 j	< 2,1
⁵⁴ Mn - Manganèse-54	312 j	< 1,5
⁵⁵ Co - Cobalt-55	18 h	< 12
⁵⁶ Co - Cobalt-56	77 j	< 1,5
⁵⁷ Co - Cobalt-57	272 j	< 0,98
⁵⁷ Ni - Nickel-57	71 j	< 5,6
⁵⁸ Co - Cobalt-58	5 a	< 1,5
⁶⁰ Co - Cobalt-60	36 h	< 1,8
⁶⁵ Zn - Zinc-65	244 j	< 3,5
⁸² Br - Brome-82	1,5 j	< 4,5
¹²² Sb - Antimoine-122	3 j	< 3,2
¹²⁴ Sb - Antimoine-124	60 j	< 1,5
¹²³ I - Iode-123	13 h	< 12
¹³⁷ Cs - Césium-137	30 a	< 1,5
¹³¹ Ba - Baryum-131	11,5 j	< 3,2
¹³³ Ba - Baryum-133	11 a	< 2,0
¹⁵² Eu - Europium-152	13,5 a	< 4,7
¹⁵³ Sm - Samarium-153	2 j	< 5,2
Emetteurs Gamma Naturels		
⁴⁰ K - Potassium-40	1,3.10 ⁹ a	960 ± 90
⁷ Be - Béryllium-7	53 j	509 ± 36

Autres actions menées ...

ACRO
ASSOCIATION POUR LE CONTRÔLE
DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'OUEST
Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité
Association loi 1901 SIRET : 950 369 868 00035 APE : 7120B
Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest
711 boulevard de la Grande Delle - 14200 HEROUVILLE-SAINT-CLAIR
Tél. : (+33) 2.31.94.35.34 Fax : (+33) 2.31.94.85.31
Email : laboratoire@acro.eu.org
N°TVA : FR 62 950 369 868
www.acrojeu.org



Graphique 1 : Ecart de débit de dose moyen par rapport au site témoin

Au cours de la période du 9 janvier au 8 février 2023, le débit de dose moyen sur la période considérée varie de 0,098 μ Sv/h aux sites A et C (soit 11% par rapport au site témoin) à 0,134 μ Sv/h au site D (soit un écart de 52 % par rapport au site témoin).

Autres actions menées ...

Hidex AMG



Contrôle Radioprotection

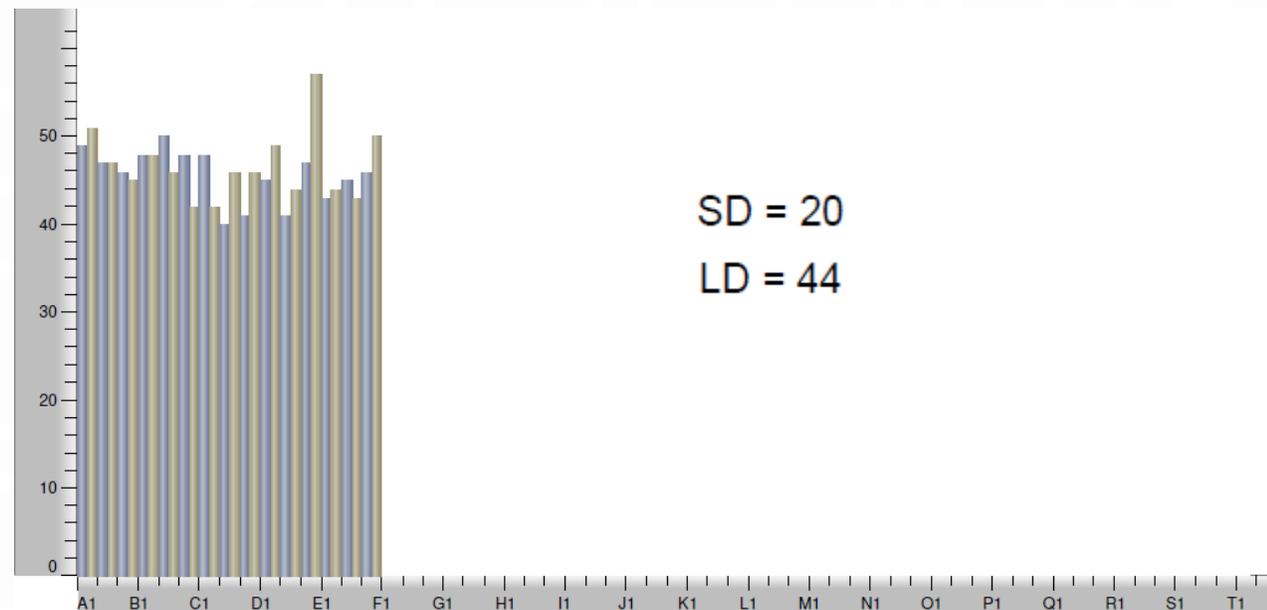
Run

Contrôle RP Cyceron Frottis du 13-02-2023

Rack	Vial	Frottis
1	1	Bruit de Fond
1	2	poignée int + ext porte D114
1	3	sol couloir devant D114
1	4	sol devant cellule 2 D114
1	5	poignée du tiroir de sortie de pot cellule 2 D114
1	6	boutons de commande cellule 2 D114
2	1	intérieur tiroir sortie de pot cellule 2 D114
2	2	poignée tirette sortie de pot cellule 2 D114
2	3	pot plombé tiroir cellule 2 D114
2	4	couvercle pot plombé tiroir cellule 2 D114
2	5	fil électrique sous cellule 2 D114
2	6	électronique sous cellule 2 D114
3	1	planche en bois sous électronique sous cellule 2 D114
3	2	débris verre sous cellule 2 D114
3	3	sol sous cellule 2 D114
3	4	sol intérieur cellule 2 D114
3	5	parois intérieures cellule 2 D114
3	6	intérieur du tube de transfert post-déconta cellule 2 D114
4	1	module tracer lab cellule 2 D114
4	2	tige tirette cellule 2 D114
4	3	sol F8 entrée
4	4	sol F8 conditionnement liquides
4	5	parois latérales F8
4	6	parois latérales conteneur déchets extérieur
5	1	bouche de soufflage D108
5	2	bouche de soufflage D114
5	3	bouche de soufflage D115
5	4	bouche de soufflage D005
5	5	caméra
5	6	CTA

SD = 51

LD = 107



SD = 20

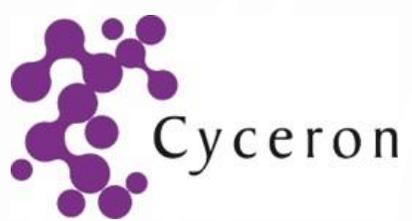
LD = 44

CONCLUSION : AUCUNE CONTAMINATION N'A ÉTÉ DÉTECTÉE SUR L'ENSEMBLE DES FROTTIS A L'AIDE DU COMPTEUR BÊTA EN SCINTILLATION LIQUIDE - HIDEX 600 SL.

CONCLUSION : AUCUNE CONTAMINATION SUR L'ENSEMBLE DES FROTTIS N'A ÉTÉ DÉTECTÉE A L'AIDE DU SPECTROMETRE GAMMA.

Points clés de l'incident à retenir ...

- **Installation** : pas d'impact sur l'installation elle-même, mais perte de production et immobilisation de la cible
- **Santé et sécurité** : aucune dose excédentaire **enregistrée**
- **Prévention** : Rappel des procédures de contrôle pour garantir le bon fonctionnement et prévenir toute récurrence
- **Optimisation** : Poursuite des améliorations continues des méthodes de travail : confinement de la casemate



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



MERCI

Avez-vous des questions ?

Skeif@cyceron.fr