

Base Aérienne 123 – Élément Air Rattaché 279 de Châteaudun (28)
DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE
Régularisation administrative d'installations de gestion de fin de vie des aéronefs et des déchets associés

Partie 6

Notice Hygiène et Sécurité du personnel

Approuvé par	Christophe ROYER	Chef de projet	po
Vérifié par	Alice ARNAC	Ingénieur Consultant MRI	
Rédigé par	Christophe ROYER	Ingénieur Consultant MRI	po
	Nom et Prénom	Fonction	Date & Visa

HISTORIQUE DES EVOLUTIONS

Indice	Date	Modifications (raisons principales, paragraphes et pages concernés)	Rédacteur / Vérificateur
A	03/2017	Première version	E. VILLARET, V. TELLIER / Y. MARTEAU, C. ROYER
B	07/2017	Prise en compte des remarques de l'armée de l'air	C. ROYER / Y. MARTEAU
C	05/2018	Reprise du dossier uniquement sur le projet de création d'installations de gestion de fin de vie des aéronefs et des déchets associés, consolidation en groupe de travail le 18/12/2017 et des remarques du LCLR Vidaud transmises le 31/01/2018	C. ROYER, V. TELLIER / Y. MARTEAU
D	08/2018	Prise en compte des remarques de l'armée de l'air et consolidation en groupe de travail les 27 et 28/06/2018	C. ROYER / S. PRETTO
E	09/2020	Reprise du dossier suite à instruction externe et révision du projet, prise en compte des remarques transmises par l'EAR 279 les 31/08, 03/09 et 06/09	C. ROYER / A. ARNAC

Au 30 septembre 2020, Bertin Technologies a cédé son département Bertin Energie Environnement à Naldeo Technologies et Industries



DEVIENT >






SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	7
2.	ORGANISATION DE L'HYGIENE ET DE LA SECURITE.....	8
2.1.	Organisation de la prévention	8
2.1.1.	Bureau Maîtrise des Risques.....	8
2.1.2.	Correspondants Prévention Unité (CPU).....	8
2.1.3.	Conseil en Radioprotection (CRP) / anciennement Personne Compétente en Radioprotection (PCR)	8
2.2.	Effectif et horaires de travail	10
2.3.	Comités d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT) et Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA).....	10
2.3.1.	Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT).....	11
2.3.2.	Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA)	11
2.4.	Médecine de prévention	12
2.4.1.	Médecine de prévention au profit du personnel civil	12
2.4.2.	Médecine de prévention au profit du personnel militaire	12
2.5.	Moyens de secours en cas d'accident corporel.....	13
3.	HYGIENE ET CONDITIONS DE TRAVAIL	14
3.1.	Hygiène des locaux de travail	14
3.1.1.	Nettoyage (Article R.4224-18)	14
3.1.2.	Local de restauration (Articles R.4228-19 à R.4228-25)	14
3.1.3.	Installations sanitaires – vestiaires (Art. R4228-1 à 15)	14
3.2.	Eau potable (Art. R4225-2 à 4)	14
3.3.	Ambiance des lieux de travail	15
3.3.1.	Renouvellement de l'air (Article R4222-1 à R4222-22, R4451-10).....	15
3.3.2.	Chauffage (Articles R4223-13 à R4223-15) et ambiances particulières (Article R4223-15).....	15
3.3.3.	Eclairage (Articles R.4223-1 à R.4223-12)	16
3.3.4.	Bruit (Articles R.4431-1 à R.4434-10).....	16
4.	SECURITE DU PERSONNEL	17
4.1.	Sécurité des équipements et des installations	17

4.2.	Sécurité du personnel vis-à-vis des risques chimiques	17
4.3.	Sécurité du personnel vis-à-vis des risques radiologiques	18
4.3.1.	Prévention	21
4.3.2.	Exposition interne	22
4.3.3.	Exposition externe	22
4.4.	Sécurité du personnel vis-à-vis du risque amiante	22
4.5.	Sécurité du personnel vis-à-vis de l'intrusion	24
4.6.	Prévention des accidents de travail	25
4.6.1.	Evaluation des risques au poste de travail.....	25
4.6.2.	Circulation	26
4.6.3.	Chutes (Article R4323-65 à R4323-90).....	26
4.6.4.	Manutention de charges (Article R4541-1 à 4541-11).....	27
4.6.5.	Risques mécaniques liés à l'activité de démantèlement	28
4.7.	Prévention incendie et évacuation du personnel.....	28
4.8.	Prévention des explosions	29
4.9.	Co-activité / Entreprises extérieures	30
5.	ANNEXES.....	32
	Annexe 6-1 : Note - Calculs d'atténuation contre l'exposition aux rayonnements ionisants	33
	Annexe 6-2 : Modélisation du débit de dose	34
	Annexe 6-3 : Etude de l'émanation de radon 222 et 220	35
	Annexe 6-4 : Nœud papillon, Arrêt de la ventilation de la hangarette 0086 ou 0087 (HG7 ou 8)	36
	Annexe 6-5 : Etude de poste	37
	Annexe 6-6 : Mesure du thoron	38

GLOSSAIRE

ABMR	:	Antenne du Bureau Maitrise des Risques
AIPP	:	Attestation d'Inspection de Prévention Préalable
ALARA	:	As Low As Reasonably Achievable
AMO	:	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
ANDRA	:	Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
AOT	:	Autorisation d'Occupation Temporaire
ARI	:	Appareil Respiratoire Isolant
ATEX	:	ATmosphère Explosive
BA	:	Base Aérienne
BAES	:	Bloc Autonome d'Eclairage de Sécurité
BdD	:	Base de Défense
BMR	:	Bureau de Maîtrise des Risques
CCHPA	:	Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents
CGA	:	Contrôle Général des Armées
CHSCT	:	Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail
CMR	:	Cancérigène, Mutagène, Reprotoxique
CPU	:	Correspondant Prévention Unité
CRP	:	Conseiller en Radioprotection (anciennement PCR)
CSE	:	Comité Social et Economique
DDAE	:	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale
DGA	:	Direction Générale de l'Armement
DRPCE	:	Document Relatif à la Protection contre les Explosions
DUERP	:	Document Unique d'Evaluation des Risques Professionnels
EAR	:	Element Air Rattaché
EDD	:	Etude De Dangers
EHC	:	Enceinte à Hygrométrie Contrôlée
EPI	:	Equipement de Protection Individuel
ESID	:	Etablissement du Service d'Infrastructure de la Défense
ESIS	:	Escadron de Sécurité Incendie et Sauvetage
FDS	:	Fiches de Données de Sécurité
GERSA	:	Groupement d'entretien, de réparation et de stockage des aéronefs
GSBdD	:	Groupement de soutien de la base de défense
H&S	:	Hygiène et Sécurité
HG	:	Hangarette (Abris avion)
HM, HSG	:	Hangar Métallique
ICPE	:	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
MCA	:	Matériaux Contenant de l'Amiante
OAE	:	Organes, Accessoires, Equipements
PCR	:	Personne Compétente en Radioprotection (aujourd'hui CRP)
POI	:	Plan d'Opération Interne
RDP	:	Recueil des Dispositions de Prévention
RDS2	:	Retiré du Service de niveau 2 (aéronef hors d'usage)
SAMU	:	Service d'Aide Médicale D'Urgence



SDIS	:	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SID	:	Service d'Infrastructure de la Défense
SMUR	:	Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
SPRA	:	Service de Protection Radiologique des Armées
TMD	:	Transport de Matières Dangereuses
TMS	:	Troubles Musculo-squelettiques
USID	:	Unité de Soutien de l'Infrastructure de la Défense
VLEP	:	Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

1. INTRODUCTION

L'Élément Air Rattaché de Châteaudun (EAR 279) exerce, sous la responsabilité de la Base Aérienne d'Orléans Bricy (BA 123), des activités de préservation et de maintenance des aéronefs en service dans l'armée de l'air.

L'EAR 279 a été désignée en 2013 comme point de regroupement des aéronefs¹ qui sont retirés du service. Il exerce à ce titre des activités liées à la gestion de la fin de vie des aéronefs : la dépollution, l'entreposage, le démontage ou la découpe de matériels aéronautiques hors d'usage (aéronefs complets, moteurs, etc...), ainsi que la gestion des déchets générés, en l'occurrence des déchets dangereux, des déchets faiblement radioactifs et des déchets non dangereux. En l'absence de filière d'élimination, le ministère des Armées a décidé en 2011² que les déchets thoriés du matériel aéronautique de la défense seraient entreposés à Châteaudun en attendant une reprise par l'ANDRA à échéance post-2030.

En 2018, le ministère des Armées annonce la fermeture de l'EAR 279 en 2021³.

Le présent Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) porte sur le projet de régularisation des installations de gestion de fin de vie des aéronefs, et des déchets associés. Les zones de Nivouville et du Poulmic, dans la partie sud du site, respectivement sur les communes de Châteaudun et de Villemaury, ainsi qu'un hangar situé à l'est de la Zone Technico-Opérationnelle (ZTO), sur la commune de Jallans (Eure-et-Loir), ont été retenus pour accueillir ces installations.

Le présent document constitue la notice d'hygiène et de sécurité de ces installations et la partie 6 du présent DDAE⁴.

La notice d'hygiène et de sécurité porte sur la conformité des installations avec les prescriptions législatives et réglementaires relatives à l'hygiène et à la sécurité du personnel. Cette partie du DDAE est réalisée en se basant sur la 4^{ème} partie du Code du Travail et porte sur les dispositions générales concernant le personnel, les aménagements du projet, l'ambiance générale des lieux de travail et les mesures de sécurité.

¹ Des trois armées et de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA), selon le mandat 11215/DEF du 15 novembre 2013

² Décision 11319/DEF/CAB du 30 août 2011

³ Décision ministérielle n° 4952/DEF/CAB du 19 juillet 2018

⁴ Remarque : Cette pièce est ajoutée à l'initiative de l'armée de l'air et n'est plus requise dans le cadre d'une demande d'Autorisation Environnementale.

2. ORGANISATION DE L'HYGIENE ET DE LA SECURITE

2.1. Organisation de la prévention

2.1.1. Bureau Maîtrise des Risques

Le chargé de prévention des risques professionnels du Bureau Maîtrise des Risques (BMR) de la BA 123 a des missions⁵ :

- ▶ d'analyse :
 - ▷ organiser et animer l'évaluation des risques,
 - ▷ participer à la mise en place de l'organisation de la prévention et à l'élaboration et à la mise à jour du Recueil des Dispositions de Prévention (RDP),
 - ▷ analyser et recueillir les informations statistiques concernant les accidents du travail et les maladies professionnelles,
 - ▷ assurer la veille réglementaire,
- ▶ de surveillance :
 - ▷ suivi de la bonne exécution des contrôles et vérifications périodiques obligatoires,
 - ▷ examen de la tenue des registres réglementaires,
 - ▷ contrôle du respect des prescriptions définies dans les plans de prévention
- ▶ de conseil auprès du chef d'organisme : concerne la mise en œuvre des mesures de prévention et porte, notamment, sur les projets d'aménagement de poste ou d'infrastructure, les consignes de sécurité, les propositions de plans d'action ;
- ▶ d'animation auprès de l'ensemble des personnels.

Une antenne du BMR est présente sur l'EAR 279.

L'ensemble du BMR bénéficie du soutien du Commandement des Forces Aériennes (CFA).

2.1.2. Correspondants Prévention Unité (CPU)

Un Correspondant Prévention Unité (CPU) est nommé dans chaque unité, en particulier au sein du GERSA, afin de relayer les actions de prévention du BMR et de tenir à jour les registres de sécurité.

Les CPU recensent également les produits présents dans leurs unités, analysent les Fiches de Données de Sécurité (FDS), les mettent à disposition des utilisateurs en attirant leur attention sur les dangers des produits.

2.1.3. Conseil en Radioprotection (CRP) / anciennement Personne Compétente en Radioprotection (PCR)

L'antenne BMR dispose d'un Conseil en Radioprotection (CRP) (anciennement Personne Compétente en Radioprotection (PCR)). Cette personne a pour missions (art. R4451-110 à 113) :

- ▶ d'être consultée sur la délimitation des zones surveillées ou contrôlées et sur la définition des règles particulières qui s'y appliquent,

⁵ Article 3 de l'Arrêté du 9 avril 2013 fixant les modalités de désignation et les attributions du chargé de prévention des risques professionnels au sein du Ministère de la Défense (aujourd'hui Ministère des Armées)

- ▶ de participer à la définition et à la mise en œuvre de la formation à la sécurité des travailleurs exposés,
- ▶ sous la responsabilité de l'employeur et en liaison avec les Comités d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT) et la Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA) :
 - ▷ de participer à la constitution des dossiers de déclaration ou de demande d'autorisation prévus par le Code de la Santé Publique,
 - ▷ de procéder à une évaluation préalable permettant d'identifier la nature et l'ampleur du risque encouru par les travailleurs exposés. A cet effet, les personnes assurant l'encadrement des travaux ou des opérations lui apportent leur concours ;
 - ▷ de définir, après avoir procédé à cette évaluation, les mesures de protection adaptées à mettre en œuvre. Elle vérifie leur pertinence au vu des résultats des contrôles techniques et de la dosimétrie opérationnelle ainsi que des doses efficaces reçues ;
 - ▷ de recenser les situations ou les modes de travail susceptibles de justifier une exposition subordonnée à la délivrance de l'autorisation spéciale,
 - ▷ de définir les objectifs de dose collective et individuelle pour chaque opération et s'assurer de leur mise en œuvre ;
 - ▷ de définir les moyens nécessaires requis en cas de situation anormale ;
- ▶ de se coordonner avec les PCR des organismes extérieurs en cas d'opération comportant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

Ainsi, la PCR :

- ▶ réalise le suivi de la dosimétrie des travailleurs,
- ▶ réalise ou organise les contrôles techniques (art. R4451-29 à 37 du Code du travail) :
 - ▷ de radioprotection des sources et des appareils émetteurs de rayonnements ionisants, des dispositifs de protection et d'alarme ainsi que des instruments de mesure utilisés ;
 - ▷ d'ambiance de travail :
 - en cas de risques d'exposition externe, la mesure des débits de dose externe avec l'indication des caractéristiques des rayonnements en cause ;
 - en cas de risques d'exposition interne, les mesures de la concentration de l'activité dans l'air et de la contamination des surfaces avec l'indication des caractéristiques des substances radioactives présentes,
- ▶ tient à jour les registres et inventaires,
- ▶ gère s'il y a lieu les dépassements des valeurs limites d'exposition des travailleurs.

Le GERSA, unité exploitant les installations où sont présents des risques ionisants, dispose également d'une PCR pour seconder la PCR du BMR.

Les PCR bénéficient par ailleurs d'un soutien du Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA). Le SPRA mène des études d'évaluation des risques professionnels, procède à des analyses radiotoxicologiques et apporte son soutien à la surveillance du personnel de la défense (suivi dosimétrique des expositions). Le SPRA réalise les contrôles techniques externes de radioprotection. Enfin, dans l'hypothèse d'un incident ou d'un accident à caractère radiologique, le SPRA contribuerait à la gestion de crise en constituant des équipes médicales destinées à apporter, sur le terrain, un conseil technique au commandement. Il peut mettre en œuvre des moyens mobiles de laboratoire pour répondre à une situation d'urgence.

2.2. Effectif et horaires de travail

L'effectif 2020 de l'EAR 279 est de 227 personnes (civils et militaires). *Un détail des effectifs par unités du ministère des armées est disponible en partie 2 du DDAE.*

L'activité de l'EAR 279 est répartie du lundi au vendredi pendant les créneaux horaires suivants :

- ▶ du lundi au jeudi de 8 h 00 à 17 h 00,
- ▶ le vendredi de 8 h 00 à 15 h 00.

Cependant, l'activité de protection et de service au profit du site est assurée 24h/24h.

Concernant les titulaires des marchés de démantèlement, les effectifs sont d'environ 40 personnes (*cf. partie 2*).

Les dépassements d'horaire font l'objet d'une demande d'autorisation auprès du chef d'emprise.

2.3. Comités d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT) et Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA)

Au sein des établissements du Ministère des Armées, il existe deux instances représentatives du personnel en charge de la santé, de la sécurité et des conditions de travail :

- ▶ Pour le personnel civil : le Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT),
- ▶ Pour le personnel militaire : la Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA).

Ces deux instances représentatives ont pour mission permanente d'évaluer les conditions d'hygiène, de sécurité et de travail, et d'émettre tout avis utile à leur amélioration. Ces 2 structures se réunissent communément au minimum 1 fois par trimestre.

Leurs activités concernent également :

- ▶ l'examen des accidents en vue d'en retenir tous les renseignements utiles,
- ▶ le suivi des diverses actions, en particulier des travaux et modifications des postes de travail,
- ▶ l'examen des consignes locales de sécurité,
- ▶ l'analyse des indicateurs, du plan de formation et des actions prévues,
- ▶ les visites sur le terrain pour examiner les problèmes en « situation »,
- ▶ l'examen des dispositions ou recommandations légales ou hiérarchiques et leurs répercussions dans l'établissement.

En ce qui concerne les prestataires externes, les entreprises privées de plus de 50 salariés disposent d'un Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT) ou d'un Comité Social et Economique (CSE)⁶.

⁶ Créé suite à l'ordonnance n° 2017-1386 du 22 septembre 2017 relative à la nouvelle organisation du dialogue social et économique dans l'entreprise et favorisant l'exercice et la valorisation des responsabilités syndicales. Le CSE doit être mis en place dans les entreprises au plus tard le 31 décembre 2019.

2.3.1. Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT)

Les CHSCT sont constitués dans les entreprises ou établissements occupant au moins 50 salariés. Les CSE sont constitués dans les entreprises ou établissements occupant au moins 11 salariés. Dans les entreprises ou établissements d'au moins 50 salariés, les CSE ont des missions générales en santé sécurité au travail.

Au sein du Ministère des Armées, les CHSCT sont composés des représentants de l'administration (chef d'emprise ou son représentant), des chefs d'organismes des entités (ou leurs représentants), au minimum trois représentants du personnel (ou leurs suppléants), le ou les médecins de prévention des entités, les chargés de prévention des risques professionnels des entités. En outre, l'inspecteur du travail dans les armées est informé des réunions du CHSCT et peut y assister.

La présidence du CHSCT au sein de l'EAR 279 est assurée par le commandant de l'EAR 279. Le comité se réunit une fois par trimestre en réunion ordinaire et, à chaque fois que cela est nécessaire, en réunion extraordinaire, soit par l'existence d'une situation présentant un danger grave et imminent, soit à la suite de tout accident ayant entraîné ou qui aurait pu entraîner des conséquences graves, soit pour l'examen d'un problème spécifique.

La durée du mandat des représentants du personnel siégeant au CHSCT ou au CSE est fixée à quatre ans.

Conformément à l'art. R4612-4 du Code du Travail, et en référence à l'instruction 300611/DEF/DFP/PER/5 du 16 mars 1998⁷, le CHSCT de l'EAR 279 est consulté dans le cadre de l'instruction du dossier.

2.3.2. Commission Consultative d'Hygiène et de Prévention des Accidents (CCHPA)

Les CCHPA sont constituées dans les unités formant corps ou organismes militaires assimilés, comptant de façon habituelle plus de 50 militaires.

Tout comme le CHSCT, la CCHPA a pour mission de procéder à l'analyse des risques professionnels auxquels peuvent être exposés les militaires de l'établissement ainsi qu'à l'analyse de leurs conditions de travail.

La présidence du CCHPA au sein de la BA 123 (comprenant l'EAR 279) est assurée par le commandant de la BA 123 (ou son représentant). La commission se réunit en réunion ordinaire et, à chaque fois que cela est nécessaire, en réunion extraordinaire, soit par l'existence d'une situation présentant un danger grave et imminent, soit à la suite de tout accident ayant entraîné ou qui aurait pu entraîner des conséquences graves, soit pour l'examen d'un problème spécifique.

Tous les ans, les représentants du personnel militaire sont désignés parmi la totalité du personnel militaire de l'organisme.

⁷ Instruction n° 300611/DEF/DFP/PER/5 du 16 mars 1998 relative aux mesures de prévention concernant les travaux ou prestations de services effectués dans un organisme de la Défense (aujourd'hui des armées) par une ou plusieurs entreprises extérieures

Conformément à l'instruction du 12 mars 2012⁸, la CCHPA de la BA123 est consultée dans le cadre de l'instruction du dossier.

2.4. Médecine de prévention

2.4.1. Médecine de prévention au profit du personnel civil

Le médecin du travail assure notamment les visites d'information et de prévention dans les 3 mois à compter de l'embauche, leur renouvellement tous les 5 ans, la surveillance adaptée selon une périodicité n'excédant pas 3 ans, et le suivi individuel renforcé selon une périodicité qu'il détermine et qui ne peut pas être supérieure à 4 ans (art. R4624-10 à 28).

Pour le personnel civil du Ministère des Armées, un service de médecine de prévention est présent sur site.

Les travailleurs dont l'état de santé (notamment les travailleurs handicapés ou invalides), les conditions de travail (notamment le travail de nuit), l'âge (notamment les mineurs), bénéficient d'une surveillance adaptée avec un renouvellement des visites n'excédant pas une durée de 3 ans.

Pour le personnel civil du Ministère des Armées, les visites réglementaires sont ainsi effectuées :

- ▶ à l'embauche ;
- ▶ chaque année, pour les visites systématiques de prévention dans le cas d'une surveillance médicale renforcée (cas des travaux en présence de substances dangereuses, toxiques, cancérigènes ou mutagènes);
- ▶ à chaque reprise du travail, après un arrêt de plus de 21 jours ou après un accident ayant entraîné un arrêt d'au moins 8 jours.

Le médecin du travail est appelé à exercer une surveillance renforcée pour les salariés affectés à des travaux comportant des exigences ou des risques spéciaux, en particulier pour les salariés exposés à l'amiante, au plomb, aux agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, aux rayonnements ionisants, au risque hyperbare, ou aux risques de chute de hauteur lors des opérations de montage et de démontage d'échafaudages. Pour le personnel civil et militaire du Ministère des Armées, une circulaire⁹ complète cette liste.

Pour chaque personnel civil du Ministère des Armées concerné par les installations du projet, une Fiche « Emploi et Nuisances » (FEN) sur laquelle seront reportées les activités et nuisances susceptibles de nécessiter une surveillance médicale renforcée, sera établie par le commandant d'unité. Etablie sur la base de l'évaluation des risques professionnels au poste de travail, cette fiche permettra, d'une part aux intéressés d'être informés de leur exposition ou de l'absence d'exposition à des nuisances pour leur santé et, d'autre part, au médecin de prévention d'adapter la surveillance médicale.

L'entreprise titulaire du marché devra mettre en place des mesures analogues.

2.4.2. Médecine de prévention au profit du personnel militaire

La médecine d'armée, outre la surveillance médicale propre à l'état de militaire, comprend l'exercice de la médecine de prévention au bénéfice du personnel militaire qui exerce des activités de même nature que celles confiées au personnel civil

⁸ Instruction N° 22914/DEF/SGA/DAJ/D2P/DSE du 12 mars 2012 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement relevant du Ministère de la Défense (aujourd'hui Ministère des Armées)

⁹ Circulaire n° 500820/DEF/DCSSA/PC/MP relative à l'application du dispositif mis en place pour la médecine de prévention du personnel civil et militaire au ministère de la défense (aujourd'hui ministère des armées) du 1^{er} juillet 2013

S'agissant du personnel militaire, l'exercice de la médecine de prévention fait partie de la médecine d'armée¹⁰ qui est assurée par des médecins du service de santé des armées au sein des centres médicaux des armées (CMA). La 114^e antenne médicale de Châteaudun dépend du CMA de Tours.

Lors des visites médicales, le médecin des armées détermine si des conditions d'emploi particulières justifient une surveillance médicale renforcée ou une surveillance adaptée.

Sauf cas particulier fixés par la réglementation, la périodicité des visites médicales est fixée à deux ans pour tous les militaires.

2.5. Moyens de secours en cas d'accident corporel

L'Escadron de Sécurité Incendie et Sauvetage (ESIS) 1H123 assure de multiples missions sur l'EAR 279 de Châteaudun :

- ▶ la prévention des incendies dans le cadre des formations des Equipes de Sécurité Incendie (ESI) réalisées chaque année,
- ▶ le secours aéronautique de la plate-forme en cas d'accident aérien,
- ▶ le sauvetage des personnes à bord d'aéronefs,
- ▶ le secours de première intervention en cas d'accident au niveau des installations de l'EAR 279,
- ▶ l'entretien du matériel de lutte contre l'incendie.

L'ESIS est joignable depuis tout poste fixe de l'EAR au 18. Le délai d'intervention de l'ESIS est de l'ordre de 5 minutes à 10 minutes quelle que soit la période de fonctionnement de l'EAR (heure ouvrable, heure non ouvrable).

L'antenne médicale présente sur le site peut également intervenir en cas d'accident.

Un centre de secours du SDIS 28 se situe à proximité (1 km) ainsi que le SAMU/SMUR du Centre Hospitalier de Châteaudun (1,5 km).

¹⁰ Arrêté du 20 décembre 2012 relatif à la détermination et au contrôle de l'aptitude médicale à service du personnel militaire

3. HYGIENE ET CONDITIONS DE TRAVAIL

3.1. Hygiène des locaux de travail

3.1.1. Nettoyage (Article R.4224-18)

Tous les locaux, y compris les postes de travail et les locaux sociaux et sanitaires, sont maintenus en bon état de propreté.

Le nettoyage intérieur des bâtiments (bureaux, locaux sanitaires) est effectué du lundi au vendredi par une société prestataire extérieure à l'EAR.

Les entreprises extérieures déterminent les modalités d'entretien de leurs locaux.

3.1.2. Local de restauration (Articles R.4228-19 à R.4228-25)

Le site de l'EAR 279 dispose d'un mess dans lequel l'ensemble du personnel peut prendre son repas. La préparation des repas est assurée sur place par le GSBdD.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, déterminent les modalités selon lesquelles le personnel peut prendre son repas. Elles mettent à disposition des locaux sociaux (bureaux, vestiaires, sanitaires...). Les contrats peuvent prévoir que ces locaux soient mis en place par l'entreprise (bungalow) ou mis à disposition par l'EAR 279. Elles peuvent y implanter un local de restauration. Par ailleurs, le mess du site de l'EAR 279 est à ce jour accessible aux entreprises extérieures.

3.1.3. Installations sanitaires – vestiaires (Art. R4228-1 à 15)

Des vestiaires et des installations sanitaires sont répartis en différents endroits du site. Ils sont installés dans des locaux séparés.

Les sanitaires sont différenciés pour le personnel féminin et le personnel masculin.

Ces locaux sont correctement aérés, chauffés et éclairés. Ils sont maintenus dans un état constant de propreté. Ils sont nettoyés régulièrement par une société extérieure.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, mettent en place des vestiaires et des sanitaires. Elles déterminent les modalités d'entretien de ces locaux. Les contrats peuvent prévoir que ces locaux soient mis en place par l'entreprise (bungalow) ou mis à disposition par l'EAR 279.

3.2. Eau potable (Art. R4225-2 à 4)

L'eau potable est produite et distribuée sur le site dans des installations exploitées par le GSBdD. De l'eau potable est à disposition dans les sanitaires et via des points d'eau répartis sur le site. La surveillance et le contrôle sanitaire des eaux sont réalisés conformément au Code de la Santé Publique et à une instruction interne¹¹.

L'eau produite est de bonne qualité. Cependant, du fait de la faible teneur en chlore¹², des bouteilles d'eau sont mises à disposition du personnel sur les zones de Nivouville et du Poulmic. Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, prennent en compte cette contrainte en mettant des bouteilles d'eau à disposition de ses salariés.

¹¹ Instruction N°1294/DEF/SGA/DMPA/SDIE/ENV du 27 juillet 2012 relative à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine sur les sites relevant du ministère de la défense (aujourd'hui ministère des armées) et à la procédure d'autorisation de prélèvement et d'utilisation.

¹² Le réseau est étendu et la demande dans la zone de Nivouville est faible.

3.3. Ambiance des lieux de travail

3.3.1. Renouvellement de l'air (Article R4222-1 à R4222-22, R4451-10)

Conformément aux articles R4222-1 à R4222-22, l'air des locaux fermés est renouvelé de façon à :

- ▶ maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs ;
- ▶ maintenir une température adéquate et éviter les odeurs désagréables et les condensations.

En fonction du type d'activité, la ventilation est soit naturelle, soit forcée.

Dans le cadre du projet, les locaux abritant des activités à même de générer des émissions de poussières ou de vapeurs sont les suivants (liste non exhaustive) :

- ▶ le démantèlement d'aéronefs hors d'usage (hangars 0020 et 0021 (HM11 et 13), tunnel TARMAC, chapiteau VDSF),
- ▶ l'entreposage de déchets faiblement radioactifs (hangarets 0086 et 0087 (HG7 et 8)),
- ▶ l'entreposage et le conditionnement de moteurs contenant des alliages faiblement radioactifs (hangar 0046 (HM6)).

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, mettent en place les mesures nécessaires afin d'assurer une atmosphère de travail conforme à la réglementation en vigueur.

Au niveau de l'entreposage des déchets faiblement radioactifs, une mise en dépression du bâtiment assure un confinement du bâtiment afin d'en contrôler les rejets. Les concentrations d'activité en radon calculées dans les futures hangarets d'entreposage (cf. Annexe 6-3) s'avèrent supérieures à la limite fixée à 300 Bq/m³ par l'art. R4451-10 du Code du Travail. Aussi, dans ces 2 bâtiments, dès lors que le volume de déchets entraînera l'atteinte de cette limite, le port de l'Appareil Respiratoire Isolant (ARI) sera obligatoire.

3.3.2. Chauffage (Articles R4223-13 à R4223-15) et ambiances particulières (Article R4223-15)

De manière générale, les bureaux, les vestiaires, ainsi que toutes les installations sanitaires et ateliers sont munis de chauffages. Les locaux d'entreposage ne sont pas chauffés.

L'entretien du chauffage est de la responsabilité de l'USID.

Pour les travaux en extérieur ou dans des locaux non chauffés, le personnel dispose de vêtements chauds.

Dans le cadre du projet, il n'est pas prévu de doter de chauffage les hangars 0020 et 0021 (HM11 et 13), les hangarets 0086 et 0087 (HG 7 et 8), le tunnel TARMAC, le chapiteau VDSF ou le hangar 0046 (HM6).

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, mettent en place des locaux sociaux (bureaux, vestiaires, sanitaires...). Ces locaux sont chauffés.

Toute entreprise extérieure, prestataire d'un marché de démantèlement, pourvoit au besoin de son personnel.

3.3.3. Eclairage (Articles R.4223-1 à R.4223-12)

L'ensemble des locaux et zones de travail avec présence humaine utilise à chaque fois que cela est possible la lumière naturelle. Néanmoins, certaines pièces, de par leur conception, sont éclairées par une lumière artificielle.

A l'extérieur, la zone vie est éclairée en soirée jusqu'à 23h30 et de 6h30 jusqu'au lever du jour, par des lampadaires, ceux-ci étant allumés et éteints automatiquement.

Les niveaux d'éclairage sont suffisants. L'entretien de l'éclairage est de la responsabilité de l'USID.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, adaptent le niveau d'éclairage en mettant en place l'éclairage adapté au niveau de leurs structures provisoires (tunnel TARMAC, chapiteau VDSF) et en modifiant l'éclairage existant si cela s'avère nécessaire. La zone de Nivouville et la Zone Technico-Opérationnelle sont éclairées matin et soir en période hivernale.

3.3.4. Bruit (Articles R.4431-1 à R.4434-10)

Le bruit est une problématique inhérente à l'activité aéronautique. A proximité des aéronefs en fonctionnement ou lors de certaines activités de maintenance, le port des Equipements de Protection Individuelle (EPI), y compris des protections auditives, est obligatoire.

D'une manière générale, un affichage signale les locaux bruyants dans lequel le port d'EPI est obligatoire.

Des casques anti-bruit et des bouchons d'oreilles sont mis à disposition du personnel de l'EAR 279.

Les activités de mise au gabarit, par TARMAC et VDSF, nécessitent l'utilisation de moyens de découpage ou de démontage, fixes ou portatifs, engendrant des niveaux sonores conséquents et fréquents.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, mettent en place un affichage adapté et mettent à disposition de leurs personnels les EPI adéquats. Si nécessaire, les engins utilisés disposent de cabines de pilotage insonorisées.

Elles procèdent à des mesures d'ambiance sonore.

4. SECURITE DU PERSONNEL

4.1. Sécurité des équipements et des installations

Des modes opératoires ou des consignes santé sécurité au travail sont établies pour toutes les activités générant des risques spécifiques.

L'utilisation des équipements et des installations à risque n'est autorisée que pour les personnes formées et habilitées par le chef d'établissement.

Pour le personnel civil et militaire du Ministère des Armées, cette formation est obligatoire et sous la responsabilité du chef d'organisme lequel doit pouvoir justifier de sa réalisation. Complémentaire à la formation technique d'entretien, la formation à la sécurité aborde :

- ▶ Les règles de circulation sur le site ;
- ▶ Les chemins d'accès aux locaux de travail et aux locaux sociaux ;
- ▶ Les issues et dégagements de secours à utiliser en cas de sinistre ;
- ▶ Les consignes en cas d'incendie ou d'explosion ;
- ▶ Le fonctionnement des dispositifs de protection et de secours ;
- ▶ La conduite à tenir lorsqu'une personne est victime d'un accident sur les lieux de travail ;

Sur les postes de travail, elle précise :

- ▶ Les gestes et postures à adopter ;
- ▶ Les procédures spécifiques complémentaires à la documentation technique ;
- ▶ Les fonctionnements des dispositifs de protection et secours ;
- ▶ L'obtention des certificats nécessaires à la conduite des engins spéciaux ;
- ▶ Les consignes de sécurité pour toute intervention sur le réseau électrique ;
- ▶ L'utilisation des substances et produits dangereux.

L'entreprise titulaire du marché devra mettre en place des mesures analogues.

4.2. Sécurité du personnel vis-à-vis des risques chimiques

Le risque chimique est lié à l'utilisation d'agents chimiques dangereux nocifs, toxiques, inflammables, Cancérigènes, Mutagènes ou Reprotoxiques (CMR).

Les actions mises en place sont articulées autour de l'information du personnel sur l'utilisation des produits, de la ventilation des locaux, du port des EPI adaptés, de la vérification de la compatibilité des produits entre eux lors du stockage et la gestion adaptée des déchets.

Dans le cadre du projet, l'exposition peut survenir d'une part lors de l'utilisation, du stockage et de la manutention de produits ou de déchets, et d'autre part lors des opérations de démantèlement des aéronefs hors d'usage par :

- ▶ manipulation de Matériaux Contenant de l'Amiante (MCA) (cf. §4.4),
- ▶ découpe des cellules d'aéronefs,
- ▶ conditionnement des déchets faiblement radioactifs.

Des mesures d'exposition aux risques chimiques sont réalisées conformément aux articles R4412-27 à R4412-31 et articles R4412-76 à R4412-80 du Code du Travail.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, doivent réaliser de telles mesures.

Sans préjuger des actions de prévention que doivent mettre en place les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, il convient d'établir pour l'ensemble des personnels civil ou militaires concernés par le projet :

- ▶ la sensibilisation et la formation du personnel,
- ▶ le port des EPI adéquats,
- ▶ la définition des processus de démantèlement des aéronefs et moteurs, la préparation du travail permettant d'identifier les phases de démantèlement à risque,
- ▶ la mise en place de procédures,
- ▶ la surveillance médicale spécifique du personnel.

4.3. Sécurité du personnel vis-à-vis des risques radiologiques

Les activités réalisées par l'EAR 279 de Châteaudun génèrent principalement deux risques vis-à-vis de la manipulation de substances radioactives :

- ▶ le risque d'exposition interne :
 - ▷ lors du démontage des pièces d'aéronefs contenant des radionucléides minimisé par le caractère scellé des pièces, mis à part pour les pièces qui présenteraient une corrosion importante :
 - ➔ contamination cutanée par contact, coupure, etc.,
 - ➔ inhalation,
 - ➔ ingestion ;
 - ▷ lors des opérations d'entreposage / conditionnement / surveillance des déchets radioactifs en hangar 0086 et 0087 (HG 7 et 8) :
 - ➔ inhalation de radon,
 - ➔ ingestion si les conteneurs ou les sols présentant des traces de contamination ;
- ▶ le risque d'exposition externe :
 - ▷ au contact lors de leur manipulation au cours des activités :
 - ➔ de démontage de pièces d'aéronefs contenant des radionucléides,
 - ➔ du conditionnement des déchets dans le hangar 0046 (HM6) avant transfert vers un site de traitement spécialisé de DAHER (TMD de classe 7),
 - ➔ la réception des déchets thoriés provenant d'autres unités ou du site de traitement spécialisé de DAHER,
 - ➔ du conditionnement des autres déchets radioactifs pour transport interne ou pour entreposage dans les hangar 0086 et 0087 (HG 7 et 8) ;
 - ▷ à distance lors de toutes les manipulations des pièces d'aéronefs concernées :
 - ➔ lors du démontage de pièces d'aéronefs contenant des radionucléides,
 - ➔ lors des transferts internes,
 - ➔ lors de leur mise en entreposage dans les hangar 0086 et 0087 (HG 7 et 8).

L'exposition du personnel est différente selon les locaux :

- ▶ au niveau des lieux de démontage des pièces d'aéronefs contenant des radionucléides au hangar 0054 (HM2),
- ▶ au niveau du hangar 0046 (HM6)¹³, le conditionnement des moteurs contenant des pièces thoriées se déroule 7 heures par jour,
- ▶ au niveau des hangarettes 0086 et 0087 (HG 7 et 8), le temps de présence du personnel dans les hangarettes d'entreposage a été estimé à une heure par mois pour la surveillance, et 2 heures par mois pour l'entreposage, soit 24 h/an.

Hangarettes 0086 et 0087 (HG7 et 8) :

Les activités volumiques calculées en radon calculées dans les futures hangarettes d'entreposage (cf. Annexe 6-3) sont les suivantes :

Tableau 1 : activités volumiques en radon calculées dans les futures hangarettes (en présence de ventilation)

	Hangarette 0086 (HG 7)	Hangarette 0087 (HG 8)
Rn-220	2200 Bq/m ³	2240 Bq/m ³
Rn-222	24,2 Bq/m ³	9,6.10 ⁻⁶ Bq/m ³

Note : l'étude de poste (cf. Annexe 6-5) prend aussi en compte l'exposition interne des opérateurs en cas de défaillance de la ventilation lors de la présence d'opérateurs dans les hangarettes.

L'activité volumique de Rn-222 est en permanence en dessous du niveau de référence fixé à 300 Bq/m³ par l'art. R4451-10 du Code du Travail. Cependant, l'activité volumique de Rn-220 dépasse le kBq/m³ et a pour ordre de grandeur du kBq/m³. Aussi, dans ces 2 bâtiments, le port de l'Appareil Respiratoire Isolant (ARI) sera obligatoire. Les halls d'entreposage seront des zones radon.

En cas de perte de la ventilation (situation incidentelle), en quelques heures, les activités volumiques de Rn-220 et Rn-222 atteindraient respectivement le kBq/m³ et des niveaux de plusieurs dizaines de kBq/m³. Le port d'un appareil respiratoire isolant avec adduction d'air est préconisé pour une intervention dans ces conditions quel que soit la durée d'intervention. La hangarette devra être considérée comme une zone « radon » au sens de Art. R. 4451-23 introduite par le décret n°2018 – 427 et la surveillance dosimétrique passive devra être obligatoire. Note : l'ensemble des barrières permettent de limiter, voire éviter le risque d'exposition interne du personnel dans cette situation incidentelle sont détaillées dans le nœud papillon en Annexe 6-4.

La publication de l'arrêté du 28 janvier 2020 modifiant l'arrêté du 15 mai 2006 sur le zonage ne modifie en rien ces conclusions

A l'extérieur des hangarettes, le personnel n'est pas exposé comme le démontre la note sur les calculs d'atténuation contre l'exposition aux rayonnements ionisants en Annexe 6-1 et les modélisations en Annexe 6-2.

Une étude de poste a été réalisée (cf. Annexe 6-5) et a conclu que l'exposition externe des personnels de l'EAR 279 dans les hangarettes 0086 et 0087 (HG 7 et 8), en fonctionnement

¹³ Cette activité est confiée dans le cadre d'un marché de démantèlement à la société DAHER, qui effectuera la séparation des pièces thoriées sur un de ses propres sites.

normal (avec ventilation) est de 1,056 mSv/an, ce qui inférieur à la dose maximale autorisée pour les travailleurs de catégorie B (6 mSv/an), et de l'ordre de celle admise pour le public (1 mSv/an).

Enfin, des investigations complémentaires ont été menées afin de quantifier avec plus de précision l'exposition au thoron lors de l'ouverture de la porte principale. Afin de mesurer avec plus de précision le thoron et quantifier l'exposition au thoron en extérieur, J. RANOUIL de la société DOSEXPERT a proposé un protocole de mesure recourant à l'usage simultané de dosimètres passifs radon et radon + thorons positionnés face à la porte de la hangarette 0025 (HG4). Le protocole de mesure et les résultats sont disponibles en Annexe 6-6. Cette étude permet de tirer les conclusions suivantes :

- ▶ lorsque la porte est ouverte, le risque radon peut être considéré comme négligeable. En effet, les activités volumiques nettes de radon 222 sont proches de 0 Bq/cm³ en prenant en compte l'incertitude de mesure propagée ;
- ▶ lorsque la porte est ouverte, il existe un risque d'exposition au thoron localisé au poteau n°3. En effet, une activité nette de près de 200 Bq/m³ y est détectée. La démarche ALARA inhérente aux futures opérations à réaliser devant la hangarette 0025 (HG⁴) et au-delà devant les futures hangarettes 0086 et 0087 (HG7 et 8) devra prendre en compte ce fait ;
- ▶ le risque thoron devient négligeable à 2 mètres de la porte. En effet, les activités volumiques nettes de radon 220 sont proches de 0 Bq/cm³ en prenant en compte l'incertitude de mesure propagée.

Hangar 0046 (HM6) :

Au niveau du hangar 0046 (HM6), la société DAHER est chargée du conditionnement des moteurs contenant des pièces thoriées et ceci 7 heures par jour.

Une étude de poste réalisée par la société DAHER a permis de déterminer que compte tenu des opérations à effectuer et de l'environnement radiologique attendu, l'estimation dosimétrique pour les travaux sur l'EAR devrait être :

Tableau 2 : estimation dosimétrique de l'activité de DAHER sur l'EAR 279

Debit de Dose ambiant moyen	Volume horaire exposé	Coefficient de pondération	Dosimétrie collective	Nombre de personnes affectées	Dosimétrie individuelle maximale
2,5 µSv/h	3000 environ	0,7	5250 H.µSv	5	1050 µSv

Les hypothèses considérées sont les suivantes :

- ▶ Le volume horaire exposé correspond aux heures réellement passées en zone avec risque d'irradiation, il ne prend pas en compte les opérations d'habillage, de déshabillage, de traitement des déchets non thoriés, les manutentions à l'aide d'engins
- ▶ Le coefficient de pondération ou coefficient d'exposition correspond à une pondération habituellement utilisée en Installation Nucléaire de Base (INB). Elle prend en compte le fait que les personnes ne sont pas immobiles devant un terme source, que le Débit de Dose ambiant varie en fonction de l'évacuation des sources d'irradiation etc...
- ▶ La dosimétrie collective représente l'enveloppe d'intégration globale de la prestation
- ▶ Le nombre de personnes est le nombre d'intervenant affectés en permanence sur la prestation. Pour des raisons de partage dosimétrique et de disponibilité de personnel, il y a plus de personnes affectées à la prestation que de personnes sur chantier en fonctionnement nominal. Sur l'EAR, l'effectif prévu est de 3 mais il y aura 5 personnes affectées.

Les objectifs dosimétriques DAHER ne risquent pas d'être dépassés.

Un certain nombre d'optimisation vis-à-vis de la dosimétrie seront mises en place afin de baisser le bilan dosimétrique global de la prestation. Cette optimisation passe par des mesures techniques et des mesures organisationnelles.

Les bonnes pratiques suivantes seront mises en œuvre dès le début des opérations :

- ▶ Mise en œuvre d'un zonage précis,
- ▶ Mise en place de points « ALARA » où le Débit de Dose est le plus faible possible,
- ▶ Aménagement des zones de travail afin d'éloigner le plus possible les pièces contenant le Thorium,
- ▶ Mise en place d'alarmes sur les dosimètres électroniques,
- ▶ Interdiction de stationner à proximité des pièces irradiantes.

Outre ces pratiques de base, l'organisation du chantier prendra en compte les aspects irradiation et contamination de la prestation.

De plus, DAHER a bien pris en compte la nécessité d'aérer le HM6 au moins 1h30 avant le début des opérations pour diminuer le taux de Thoron dans l'atmosphère. Ce taux sera surveillé par un Alphaguard.

Les premières mesures effectuées sont cohérentes avec les mesures déjà réalisées par l'EAR et mettent en évidence un taux de contamination atmosphérique de 7,37 Bq/m³ pour le radon (Rn222) et 43,83 Bq/m³ pour le thoron (Tn 220) bien inférieur au niveau de référence.

4.3.1. Prévention

Le personnel chargé du conditionnement des matériels radioactifs et de l'entreposage des conteneurs de déchets est soumis à l'application des articles R 4451-1 à R4451-121, R 4451-129 à R4451-130 du Code du Travail.

Les actions de prévention consistent :

- ▶ au respect des valeurs limites d'exposition pour le personnel identifié de catégorie B,
- ▶ à la délimitation des zones contrôlées et zones surveillées,
- ▶ au contrôle technique des équipements destinés aux mesures des rayonnements ionisants,
- ▶ à l'établissement du registre des sources,
- ▶ à l'établissement des mesures de protection individuelle,
- ▶ à la formation des personnels exposés aux rayonnements ionisants
- ▶ à l'établissement d'examens médicaux annuels pour les personnels exposés aux rayonnements ionisants,
- ▶ à la surveillance individuelle des doses absorbées,
- ▶ à l'application de mesures d'urgence en cas de dépassement des valeurs limites.

4.3.2. Exposition interne

Les mesures de protection sont les suivantes :

- ▶ Protections collectives au niveau des hangarets 0086 et 0087 (HG7 et 8) :
 - ▷ Confinement dynamique et filtration absolue. En cas de perte de la ventilation, des barrières permettent de limiter, voire éviter le risque d'exposition interne du personnel, cf. nœud papillon en Annexe 6-4 ;
 - ▷ Contrôle de contamination à demeure (appareil et procédure associée) avant sortie de zone contrôlée ;
 - ▷ Zonage de propreté radiologique et contrôles réguliers du niveau de contamination surfacique des locaux (frottis) ;
- ▶ Protections individuelles :
 - ▷ Port de l'Appareil Respiratoire Isolant (ARI) dans les halls des hangarets 0086 et 0087 (HG7 et 8), dès lors qu'au cours des opérations d'entreposage, le niveau de radon mesuré l'impose ;
 - ▷ Port d'une combinaison, d'un masque, de gants, de surchaussures ;
 - ▷ Travailleurs de catégorie B : suivi médical renforcé, formation spécifique de prévention des risques ionisants.

4.3.3. Exposition externe

Les mesures de protection sont les suivantes :

- ▶ Protections collectives :
 - ▷ Démarche « As Low As Reasonably Achievable¹⁴ » (ALARA) mise en œuvre par la Personne Compétente en Radioprotection (PCR) / le Conseil en Radioprotection (CRP) du site. Des études de poste de travail sont menées pour chaque type d'opération, afin d'évaluer, d'optimiser et de limiter les doses efficaces auxquelles sont exposés les travailleurs, et d'établir les zonages radiologiques et déchets des locaux et des zones de travail.
 - ▷ Dosimétrie d'ambiance, propreté radiologique,
 - ▷ Contrôles externes de mesure de l'activité radiologique volumique (radon) ;
- ▶ Protections individuelles :
 - ▷ Travailleurs de catégorie B : dosimètres passifs et opérationnels, suivi médical renforcé, formation spécifique.

4.4. Sécurité du personnel vis-à-vis du risque amiante

Le démantèlement des aéronefs nécessite au regard de la cartographie amiante du matériel la mise en place de processus et de moyens (infrastructures, formation...) adaptés permettant la maîtrise du risque amiante.

Le démantèlement des aéronefs s'effectue en plusieurs étapes où les opérateurs sont confrontés à la manipulation de matériaux contenant de l'amiante :

- ▶ lors du retrait des OAE amovibles,
- ▶ lors des phases de mise au gabarit routier des cellules présentant de l'amiante, excepté s'il n'y a pas de présence humaine.

¹⁴ En français : « Aussi basse que raisonnablement possible »

Conformément au code du travail (art. R4412-94 et suivants), les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement doivent mettre en place les mesures de protection collective et individuelle adaptées. Ces mesures résultent de l'évaluation des risques et sont notamment fonction du niveau d'empoussièrement généré par les opérations portant sur les éléments amiantés.

Les résultats obtenus catégorisent le niveau de risque encouru, lequel engendrera le niveau de protection collective et individuelle à mettre en œuvre :

- ▶ en l'absence d'émission de fibre d'amiante, pas de protection particulière,
- ▶ pour une émission de fibre d'amiante < 100 f/l, les protections suivantes seront mises en œuvre :
 - ▷ surveillance renforcée du chantier,
 - ▷ rabattement des poussières par aspersion sur le secteur d'intervention,
 - ▷ récupération des particules métalliques et poussières par canalisation,
 - ▷ contrôle de l'empoussièrement dans l'air ambiant,
 - ▷ contrôle de la VLEP sur 8 heures < 10 f/l dans le cas d'une intervention humaine,
 - ▷ décontamination des EPI, du personnel et du matériel avant double ensachage,
 - ▷ filtration des effluents aqueux avant rejet dans le réseau d'eaux usées.

De plus, les travailleurs susceptibles d'être exposés à l'amiante reçoivent une formation spécifique amiante adaptée à la nature de l'opération et à leur fonction. Ils sont soumis à une surveillance médicale renforcée et bénéficient d'une surveillance post-professionnelle après avoir cessé leur activité.

Les fuselages présentent des joints PR à base de mastic contenant des fibres d'amiante. Même si les quantités en présence sont très faibles (0,005% d'amiante en masse sur le fuselage), la Direction Général du Travail a souhaité que les morceaux de fuselage soient considérés dans leur totalité comme des déchets amiantés et, par conséquent, que les chantiers de démantèlement soient gérés comme des chantiers amiante lors des opérations sur ces pièces.

Opérations de mise au gabarit routier réalisées par Tarmac Aerosave à l'extrémité sud de la piste allemande

Conformément aux dispositions des articles R4412-144 et suivants du Code du travail (dispositions particulières aux interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante) : la sous-zone B2 (démontage des éléments contenant de l'amiante (ou curage), le retrait de l'organe supérieur étant réalisé en zone B1) est exploitée en sous-section 4 et la zone C (zone de découpe) en sous-section 3. Un plan de retrait amiante a été rédigé et transmis à l'inspection du travail.

Au sein de la sous-zone B2, les exigences du Code du travail relatives aux chantiers amiante trouveront à s'appliquer (notamment la stratégie d'échantillonnage à mettre en œuvre pour les mesures des quantités de fibres d'amiante dans l'air ambiant de la sous-zone, sur les opérateurs, aux frontières de la -sous zone et aux limites de l'ICPE). Cette séparation est matérialisée par des barrières de chantiers urbains, de type palissades.

Tout comme la zone B2, la zone C est exploitée conformément aux exigences du Code du travail en matière de gestion des chantiers amiante (stratégie d'échantillonnage). Durant les phases opérationnelles, il n'y a aucune présence humaine dans les zones de découpe proprement dite, l'ensemble des opérations étant piloté depuis le Poste de Commande. L'enceinte de découpe est un tunnel totalement confiné, afin d'assurer la protection des salariés mais également le contrôle des émissions atmosphériques. Ce confinement est réalisé par une double peau étanche intérieure (sols, parois latérales et plafond) et des rideaux verticaux souples, la mise en œuvre d'un système de ventilation, et des systèmes de brumisation. Enfin, les morceaux métalliques issus du découpage des cellules sont emballés et étiquetés en conformité avec la réglementation amiante.

Entreposage réalisé par Tarmac Aerosave dans le hangar 0020 (HM11) de la zone de Nivouville

Les éléments retirés lors du curage sont conditionnés en big-bag amiante avec double ensachage, puis jusqu'à présent mis en attente d'un marché d'évacuation (attribué à Veolia Démantèlement Solution France) dans ce bâtiment.

Cet entreposage est réalisé en sous-section 3. Les mesures sont identiques à celles de la zone B2.

Note : les opérations de curage, similaire à la zone B2, n'ont plus lieu.

La zone aujourd'hui exclusivement dédiée au stockage. Des mesures de « déterminations de la densité en fibres d'amiante dans l'air » ont été réalisées en avril 2019 (avant utilisation du hangar 0020 (HM11)) et en juillet 2019. Elles confirment l'absence totale de fibres d'amiante.

Opérations de mise au gabarit routier réalisées par Veolia Démantèlement Solution France (VDSF) au niveau du parking de Nivouville

Les opérations de découpe réalisées au niveau du chapiteau de mise au gabarit routier, installées au centre du parking, vont générer des limailles et des poussières, principalement métalliques et amiantées.

Concernant les rejets atmosphériques liés au traitement des équipements amiantés, des brumisateurs seront mis en place dans le chapiteau permettent l'absence de rejets et d'émission de fibres d'amiante dans l'atmosphère (placage des fibres par brumisation).

Dans le cadre des opérations de démantèlement réalisées en sous-section 4, les modes opératoires ont été établis à l'obtention du marché, afin de rasséréner les rapports avec les organismes officiels de prévention du Ministère des Armées, et notamment le CGA-IT. Bien que non obligatoires dans le cadre d'opérations réalisées en sous-section 4, des mesures environnementales seront réalisées hebdomadairement dans les zones adjacentes au tunnel de mise au gabarit et en périphérie de la zone. Par rapport au risque de dispersion de fibres, cette stratégie d'échantillonnage dans l'environnement permettra de s'assurer que la limite des 5 f/L sera respectée.

Par ailleurs, des mesures environnementales seront réalisées en amont du démarrage des opérations lors du chargement / déchargement.

Les mesures de première restitution (libératoires) en fin de chantier permettront de garantir l'absence de fibres d'amiante dans l'atmosphère et conditionneront le départ de VDSF de l'EAR 279.

Enfin, les morceaux métalliques issus de la mise au gabarit sont emballés et étiquetés en conformité avec la réglementation amiante.

4.5. Sécurité du personnel vis-à-vis de l'intrusion

Les risques liés aux actes de malveillance sont variables : sabotage, vol, dégradation volontaire, incendie. La nature de l'établissement (site militaire) et les objets stockés sur le site font de celui-ci une cible sensible.

Le site, clôturé et gardé 24h/24 et 7j/7, bénéficie de deux niveaux de protections :

- ▶ La protection active :
 - ▷ l'accès au site est interdit sans autorisation donnée par le commandant de l'EAR, officier de sécurité du site, et un filtreur vérifie les laissez passer de chaque personne.
 - ▷ l'intérieur du site est placé sous la protection permanente de la Brigade de Gendarmerie de l'Air (BGA) et d'un détachement de l'Escadron de protection de la BA 123. Les commandos armés sont appuyés par une patrouille cynophile pour les rondes et interventions et bénéficient d'un dispositif de surveillance par caméra.

- ▷ la BGA assure également la sécurité proche du site.
- ▶ La protection passive :
 - ▷ Le site est clôturé sur l'ensemble de son périmètre et fermé par des portails.
 - ▷ L'accès à certaines installations est réglementé.Enfin, dans le cadre de l'aménagement des hangarottes 0086 et 0087 (HG 7 et 8) où seront entreposés les déchets faiblement radioactifs, l'installation d'un dispositif anti-intrusion spécifique est programmée.

Les aires confiées aux entreprises titulaires d'un marché de démantèlement sont délimitées par une clôture de chantier ou des blocs béton, de sorte à limiter les risques liés à la circulation et à la co-activité avec l'EAR 279.

4.6. Prévention des accidents de travail

Le décret du 29 mars 2012¹⁵ précise les obligations en matière de santé et sécurité au travail concernant le personnel œuvrant au sein du ministère des armées.

Les accidents de travail rencontrés sur les installations de démantèlement et d'entreposage de déchets de l'EAR 279 concernent principalement :

- ▶ les chutes (d'objets, de charges, de plain-pied ou de hauteur) liées à l'activité de démantèlement, aux matériaux ou aux déchets ;
- ▶ les accidents de circulation lors des opérations de chargement / déchargement ou aux déplacements d'aéronefs,
- ▶ les risques de cisaillement, de heurts, d'écrasements, de piqûres ou de coupures spécifiques à l'activité ;
- ▶ les Troubles Musculo-Squelettiques (TMS) :
 - ▷ lors d'actions répétitives,
 - ▷ lors de manutentions manuelles de matériaux dans de mauvaises positions dues à des contraintes.

4.6.1. Evaluation des risques au poste de travail

Conformément à l'article R.4121-1 du Code du Travail, l'évaluation des risques au poste de travail est transcrite dans le Document Unique d'Evaluation des Risques Professionnels (DUERP) de la BA 123.

Chaque unité de l'EAR fait l'objet d'une évaluation des risques en identifiant toutes les sources de dangers potentiels. Les moyens de prévention associés sont décrits. Afin de diminuer le risque potentiel, des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en œuvre selon un plan d'action défini par le commandant d'unité.

L'analyse est mise à jour annuellement et autant de fois que nécessaire par le Bureau Maitrise des Risques (BMR) de la BA 123. Ces documents sont mis à la disposition de l'ensemble du personnel de l'EAR.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, doivent évaluer les risques liés à leurs activités afin de la transcrire dans leurs DUERP, mis à disposition de leurs personnels.

¹⁵ Décret n° 2012-422 du 29 mars 2012 relatif à la santé et à la sécurité au travail au ministère de la défense

4.6.2. Circulation

Afin de limiter tout risque d'accident de la circulation, l'exploitant a défini les règles de circulation et de stationnement applicables sur l'ensemble du site. Ces règles sont portées à la connaissance des intéressés par les moyens appropriés :

- ▶ plan de circulation,
- ▶ signalisation routière (panneaux, marquages au sol),
- ▶ limitation de la vitesse (40 km/h),
- ▶ consignes écrites à l'entrée du site,
- ▶ notes de service,
- ▶ protocoles de sécurité transport,
- ▶ plan de prévention.

Tout véhicule amené à circuler sur le site fait l'objet d'un laissez-passer véhicule délivré par la cellule sécurité de l'EAR 279.

Les entreprises extérieures, prestataires des marchés de démantèlement, sont concernées par ces modalités.

Toutefois, l'accès à la partie dévolue à la mise au gabarit routier sur la zone de Nivouville ou la Piste Allemande est limité :

- ▶ les zones allouées aux entreprises sont clôturées,
- ▶ les véhicules des personnels stationnent à l'entrée du site et le personnel est véhiculé à l'intérieur du site par des véhicules de la société,
- ▶ une voie sera spécifiquement créée sur la partie est du parking de Nivouville afin de permettre l'accès des personnels de l'EAR 279 à leurs installations au nord de la zone et aux hangarages 0025 et 0026 (HG4 et 5, stockages sous EHC) sans interférer avec les activités de démantèlement.

Des risques de heurts ou d'écrasement entre un engin et un piéton, ou entre un véhicule et un engin, y compris lors des opérations de chargement / déchargement ou de déplacement d'aéronefs hors d'usage ont été identifiés. Il conviendra de prévoir des procédures spécifiques pour les opérations de chargement des déchets, déchargement des matériels ou déplacement des aéronefs hors d'usage.

En ce qui concerne la zone des hangarages Poulmic, l'accès sera limité aux seuls personnels amenés à y travailler : la zone sera clôturée et fermée par un portail.

Les modalités de circulation associées au transport interne des déchets faiblement radioactifs sont inchangées. Une attention particulière devra être portée lors de l'usage d'engins de manutention.

4.6.3. Chutes (Article R4323-65 à R4323-90)

En ce qui concerne l'EAR 279, le risque de chute intervient sur des activités bien précises telles que :

- ▶ le travail en hauteur,
- ▶ le stockage sur étagères.

Plus largement, l'exploitant prend en compte que la circulation sur l'installation peut générer des chutes de plain-pied.

Les actions de prévention mises en place sont les suivantes :

- ▶ l'adaptation du poste de travail,
- ▶ la mise en place d'une signalétique adaptée,
- ▶ l'utilisation de plateformes mobiles vérifiées,
- ▶ la surveillance médicale du personnel,
- ▶ la formation du personnel au travail en hauteur.

En ce qui concerne les activités de démantèlement et d'entreposage, le risque de chute concerne :

- ▶ les chutes d'objet : chute ou projection de matériaux ou d'outils lors des opérations de démantèlement,
- ▶ les chutes de charges : projection de déchets lors de manutentions, de conditionnements ou de transports,
- ▶ les chutes de plain-pied : glissade suite à des projections de liquides ou suite aux intempéries, trébuchement sur des matériaux au sol,
- ▶ les chutes de hauteur : chute depuis les cellules d'aéronefs, les engins ou les véhicules de transport (bâchage, descente),
- ▶ les chutes lors de travaux en hauteur : au niveau d'escabeaux, nacelles, échafaudages.

Sans préjuger des actions de prévention que doivent mettre en place les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement, il convient de prévoir :

- ▶ la sensibilisation et la formation du personnel,
- ▶ le port des EPI (casque, chaussures de sécurité),
- ▶ la mise en place de procédures (exemple : prescriptions pour les travaux en hauteur),
- ▶ la préparation du travail pour identifier les phases de démantèlement à risque,
- ▶ l'utilisation de plateformes mobiles et d'échafaudages vérifiés,
- ▶ la surveillance médicale du personnel,
- ▶ la formation du personnel au travail en hauteur.

4.6.4. Manutention de charges (Article R4541-1 à 4541-11)

La législation limite le port de charge habituel à 25 kg pour les femmes et à 55 kg pour les hommes au maximum. Les hommes ne peuvent porter des charges supérieures à 55 kg (jusqu'à 105 kg), que s'ils sont reconnus aptes à le faire, par le médecin du travail.

Pour les charges lourdes, la manutention est réalisée par l'EAR 279 à l'aide de chariots élévateurs, palans, contrôlés périodiquement, ainsi que par des transpalettes manuels ou motorisés. Le personnel de l'EAR 279 chargé de conduire ces chariots est muni d'une « autorisation de conduite », délivrée par le chef d'établissement. Des formations « initiales » et de « recyclage » sont effectuées périodiquement.

Ces risques concernent le projet, qu'il s'agisse des opérations de conditionnement ou d'entreposage des déchets faiblement radioactifs, ou des opérations de démantèlement menées par les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement, qui mettent en place des mesures analogues.

4.6.5. Risques mécaniques liés à l'activité de démantèlement

Les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement doivent tenir compte des risques mécaniques liés à son activité :

- ▶ les risques de cisaillement, de heurts ou d'écrasements :
 - ▷ écrasement par des matériaux lors de la découpe ou de la manipulation des déchets,
 - ▷ cisaillement ou écrasement lors d'intervention sur des organes en mouvement,
 - ▷ écrasement ou cisaillement lors d'intervention sur un engin, une machine-outil (câble diamanté, scie...),
 - ▷ cisaillement ou écrasement lors de la manipulation des pièces métalliques dissociées ;
- ▶ les risques de piqûre ou de coupure liés à la découpe ou à la manipulation des pièces métalliques.

Sans préjuger des actions de prévention que doivent mettre en place les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement, il convient de prévoir :

- ▶ la sensibilisation et la formation du personnel,
- ▶ le port des EPI (casque, chaussures de sécurité, gants),
- ▶ la mise en place de procédures (exemple : procédure de découpe des pièces),
- ▶ la préparation du travail pour identifier les phases de démantèlement à risque,
- ▶ la surveillance médicale du personnel.

4.7. Prévention incendie et évacuation du personnel

▶ Formations et sensibilisation

Des formations du personnel à la manipulation des extincteurs et aux consignes générales sont réalisées régulièrement par l'ESIS. Chaque unité dispose d'une équipe de sécurité incendie régulièrement formée et entraînée.

Les exercices incendie avec évacuation sont définis en fonction du type de bâtiment et réalisés conformément à un plan annuel d'entraînement édité par l'ESIS ou sur ordre du commandement.

Ces aspects sont intégrés à la convention entre chaque entreprise titulaire d'un marché de démantèlement et l'EAR 279. Sans préjuger des actions de prévention que doivent mettre en place les entreprises titulaires d'un marché de démantèlement, il convient que des personnels soient formés à l'usage des extincteurs et que des exercices incendie soient réalisés périodiquement.

▶ Evacuations

Les évacuations des bâtiments sont balisées avec des éclairages de sécurité (BAES), afin de permettre la bonne évacuation des lieux en cas de sinistre. Pour les bâtiments dotés d'alarme, une alarme sonore prévient le personnel en cas d'urgence.

Ces dispositions seront maintenues sur les bâtiments existants, renforcées en ce qui concerne les hangarages 0086 et 0087 (HG6 et 7) et mis en place sur les structures temporaires (tunnel TARMAC, chapiteau VDSF) concernés par le projet.

▶ Moyens de lutte contre l'incendie

Les moyens de prévention et de lutte contre l'incendie sont présentés en détail en partie 5 (étude de dangers) du présent DDAE.

Dans le cadre du projet, ces moyens seront adaptés au risque et conformes à la réglementation en vigueur.

4.8. Prévention des explosions

Le risque explosion sur l'EAR 279 peut avoir deux origines :

- ▶ La présence d'atmosphères explosives (ATEX), liées à :
 - ▷ l'utilisation de produits inflammables,
 - ▷ la charge des batteries de chariots de manutention ;
 - ▷ la présence d'un stock important de produits inflammables dans les Enceintes à Hygrométrie Contrôlées de stockage d'aéronefs,
- ▶ La présence d'artifices au niveau des sièges éjectables.

Le risque ATEX est pris en compte sur le site. L'analyse de risque a été effectuée ainsi que le Document Relatif à la Protection Contre les Explosions (DRPCE). Les actions techniques et organisationnelles préconisées ont été mises en place pour assurer la conformité des installations.

Préalablement à leur démantèlement, les aéronefs retirés du service subissent des opérations de sécurisation et de dépollution visant à retirer notamment les carburants, les huiles et fluides hydrauliques (à l'exception du circuit hydraulique des trains d'atterrissage) et le retrait des éléments pyrotechniques. Ces opérations, initialement réalisées par le GERSA dans le hangar 0054 (HM2), ont pu être perfectibles par le passé. Aussi, il a été confiée à VDSF des missions de dépollution fluide qui seront réalisées sous un chapiteau installé sur le parking de Nivouville. Ces opérations sont analogues aux opérations de maintenances aéronautiques réalisées dans ce bâtiment par le GERSA, qui apporte son soutien logistique et technique aux équipes de VDSF. Les aéronefs déclarés RDS 2 (hors d'usage) sont ensuite disposés sur les zones de mise au gabarit vides de produits inflammables, exempts de toute source d'énergie et démunis d'artifices à l'entreprise titulaire du marché. Une vérification conjointe des livrets inventaires, documents techniques et certificats garantissant l'absence de source de rayonnement ionisant de chaque aéronef sont menées lors de chaque livraison.

Les entreprises doivent néanmoins tenir compte des risques de la présence d'atmosphères explosives liées aux résidus de liquides inflammables, notamment au niveau des réservoirs. Une attention particulière doit être portée à ce type d'équipements lors des opérations de découpe (procédure, usage de matériels adaptés).

Enfin, d'une manière générale, les entreprises sélectionnées doivent impérativement être estampillées FRA 145-M¹⁶ et adopter toutes les mesures de protections requises au regard des définitions techniques des aéronefs.

¹⁶ Selon le règlement (CE) n° 2042/2003 de la Commission du 20 novembre 2003 relatif au maintien de la navigabilité des aéronefs et des produits, pièces et équipements aéronautiques et relatif à l'agrément des organismes et des personnels participant à ces tâches, modifié par le règlement (CE) n° 707/2006 de la Commission du 8 mai 2006, le règlement (CE) n° 376/2007 de la Commission du 30 mars 2007 et le règlement (CE) n° 1056/2008 de la Commission du 27 octobre 2008, notamment son article 2 (Définitions). Pour les avions militaires, les compétences requises de certification émanent des documentations EMAR (European Military Airworthiness Requirements)

4.9. Co-activité / Entreprises extérieures

Le personnel des entreprises extérieures, comme le personnel du Ministère des Armées extérieur au site (GSBdD...), suit les procédures définies conformément à l'instruction du 16 mars 1998¹⁷. Différents documents de prévention doivent être établis en fonction de l'intervention des entreprises extérieures :

Tableau 3 : documents de prévention mis en place en fonction du type de chantier

Type de chantier	Document à établir
Chantier clos et indépendant	Consignes de sécurité concertées relatives aux risques dus aux voies d'accès et à la fourniture des fluides et de l'énergie
Implantation permanente d'une entreprise extérieure dans une enceinte délimitée par rapport à l'organisme utilisateur (concerne le futur titulaire du marché en AOT)	Une convention règle les modalités concernant les voies d'accès et les mesures relatives aux autres risques d'interférences
Prestations de service ou travaux courants et répétitifs, sans risque d'interférences autre que ceux des voies d'accès et de la fourniture des fluides et de l'énergie	Consignes internes
Travaux ou prestations de service avant la signature du contrat	Respect des règles de sécurité imposées aux visiteurs
Travaux de chargement ou de déchargement	Protocole de sécurité
Risques d'interférences. Moins de 400 hommes heures par an	AIPP (Attestation d'Inspection de Prévention Préalable)
Risques d'interférences et travaux dangereux quelle que soit la durée des travaux	Plan de prévention
Risques d'interférences. Plus de 400 hommes heures par an	Convention et Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) Plan de prévention

Conformément au décret du 20 février 1992¹⁸, des articles R.4512-6 à R.4512-12 du Code du Travail et de l'instruction 300611/DEF/DFP/PER/5 du 16 mars 1998¹⁹, un plan de prévention est établi par écrit avant le commencement de travaux effectués dans l'établissement par une entreprise extérieure, uniquement si :

- ▶ le nombre total d'heures de travail prévu pour réaliser les travaux est au moins de 400 heures sur 12 mois ;
- ▶ si les travaux figurent sur la liste des travaux dangereux fixée par l'arrêté du 19 mars 1993.

¹⁷ Instruction n°300611/DEF/DFP/PER/5 du 16 mars 1998 relative aux mesures de prévention concernant les travaux ou prestations de services effectués dans un organisme de la défense par une ou plusieurs entreprises extérieures

¹⁸ Décret n°92-158 du 20 février 1992 complétant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure

¹⁹ Instruction 300611/DEF/DFP/PER/5 du 16 mars 1998 relative aux mesures de prévention concernant les travaux ou prestations de services effectués dans un organisme de la défense par ou plusieurs entreprises extérieures

Il contient notamment :

- ▶ la définition des phases d'activités dangereuses et les moyens de prévention spécifiques ;
- ▶ l'adaptation des matériels, installations et dispositifs, à la nature des opérations à effectuer ;
- ▶ la définition des conditions d'entretien ;
- ▶ les instructions à donner aux salariés ;
- ▶ l'organisation mise en place pour assurer les premiers secours ;
- ▶ les conditions de la participation des salariés d'une entreprise aux travaux réalisés par une autre pour assurer la coordination nécessaire au maintien de la sécurité.

Dans le cadre du projet, la co-activité est limitée :

- ▶ les zones dédiées aux entreprises titulaires d'un marché démantèlement sont délimitées par une clôture de chantier (y compris dans le hangar 0046 (HM6)) ou par des blocs béton (dans le cas en l'occurrence de la zone de Nivouville),
- ▶ une voie sera spécifiquement créée sur la partie est du parking de Nivouville afin de permettre l'accès des personnels de l'EAR 279 à leurs installations au nord de la zone et aux hangarets 0025 et 0026 (HG4 et 5, stockages sous EHC) sans interférer avec les activités de démantèlement.

5. ANNEXES

Annexe 6-1 : Note - Calculs d'atténuation contre l'exposition aux rayonnements ionisants	33
Annexe 6-2 : Modélisation du débit de dose	34
Annexe 6-3 : Etude de l'émanation de radon 222 et 220	35
Annexe 6-4 : Nœud papillon, Arrêt de la ventilation de la hangarette 0086 ou 0087 (HG7 ou 8)	36
Annexe 6-5 : Etude de poste	37
Annexe 6-6 : Mesure du thoron	38



Annexe 6-1 : Note - Calculs d'atténuation contre l'exposition aux rayonnements ionisants

Note N°261/ARM/BA123/EAR279/ABMR/PCR du 7 mai 2018, 3 pages A4



MINISTÈRE DES ARMÉES



Châteaudun, le **07 MAI 2018**
N°261/ARM/BA123/EAR279/ABMR/PCR

BASE AÉRIENNE 123
COMMANDANT PAOLI

ÉLÉMENT AIR RATTACHÉ
279 CHATEAUDUN

NOTE

Antenne bureau maîtrise des
risques

à l'attention des destinataires *in fine*

Dossier suivi par :
TSEFIC Lionel Le Bihan

OBJET : Calculs d'atténuation contre l'exposition externe aux rayonnements ionisants.

P. JOINTES : 2 annexes.

L'Elément Air Rattaché (EAR) 279 entrepose des déchets radioactifs issus du démantèlement des aéronefs ayant appartenu aux trois armées et à la DGA. Cet entreposage requiert de multiples précautions autant pour la sécurité des personnes que pour l'environnement. C'est pourquoi, il avait été décidé d'entreposer ces déchets radioactifs dans des abris avions autrefois destinés à l'entreposage et la conservation des aéronefs. Le but de cette note est donc de déterminer les limites de la zone publique autour d'un abri avion en se basant à la fois sur l'existant (plan de l'abri avion n° 4 en annexe I) mais aussi sur un cas concret pour les futurs entreposages au niveau de la zone Poulmic.

A cet effet, un rack contenant 27 demi-carters pour une activité estimée à 291,6 MBq a été positionné au niveau de l'abri avion n° 7, en respectant les distances propres au futur entreposage. Les résultats des différents calculs (annexe II) démontrent que pour le futur entreposage, la zone surveillée devrait être contenue à l'intérieure de l'abri avion n° 7. Ceci corrobore les mesures effectuées autour de l'abri avion n° 4, confirmant que la radioactivité autour du bâtiment est proche du bruit de fond.


Lieutenant-colonel Christian AH CHONG
Commandant l'Elément Air Rattaché 279 Châteaudun
Directeur de l'Entrepôt de l'Armée de l'Air 00.601
et Délégué Militaire Départemental d'Eure et Loir

DESTINATAIRES :

- Société BERTIN
- CFA/EM/MR/BSNMD

COPIE :

- Archive/chrono.

Zone spécialement réglementée

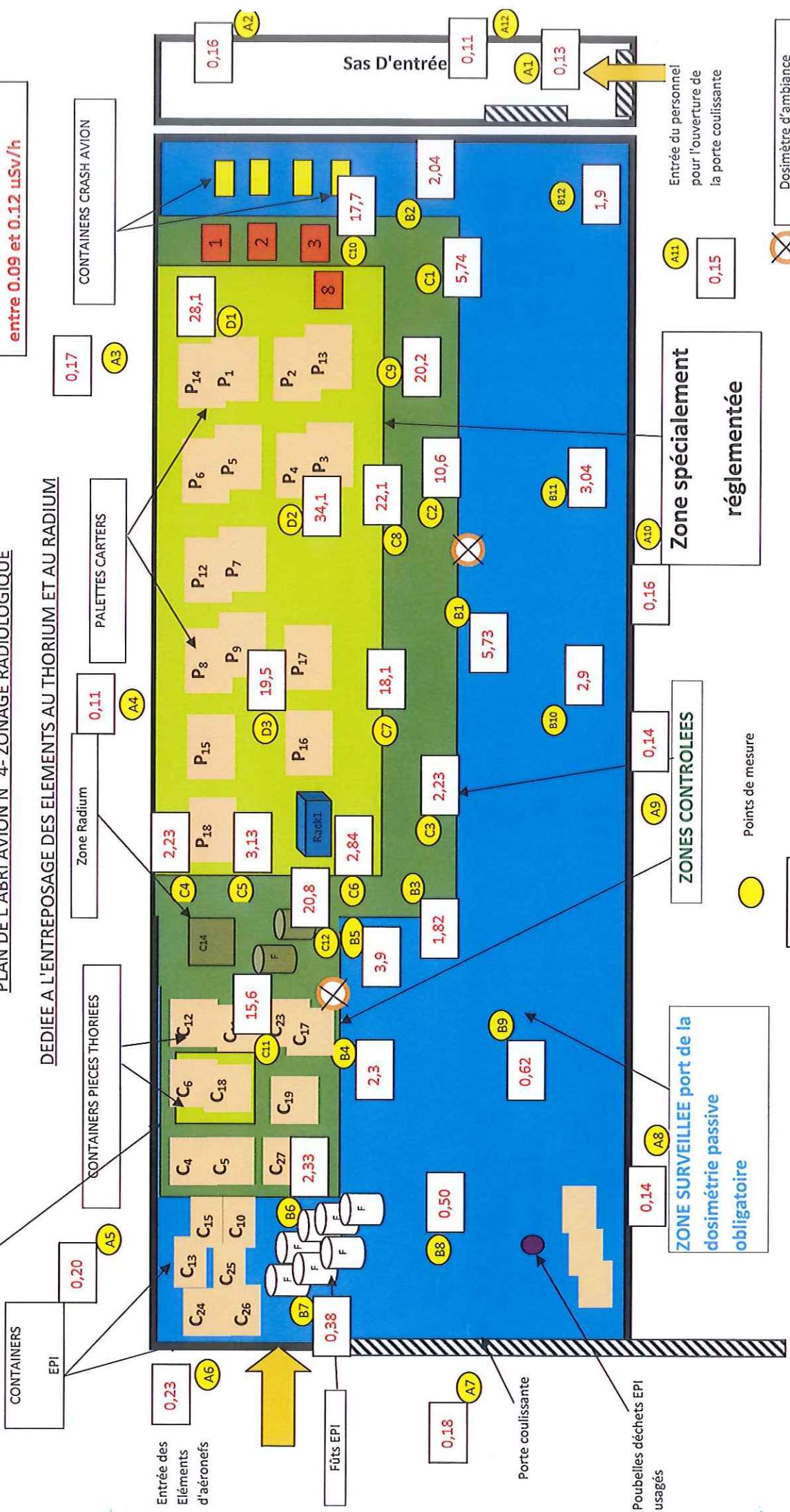
ANNEXE I

à la Note N° 261/ARM/BA123/EAR273/ABMR/PCR du **07 MAI 2018**

PLAN DE L'ABRI AVION N° 4- ZONAGE RADIOLOGIQUE

DEDIEE A L'ENTREPOSAGE DES ELEMENTS AU THORIUM ET AU RADIUM

Le bruit de fond sur le site de Châteaudun est compris entre 0.09 et 0.12 $\mu\text{Sv/h}$



Zone spécialement réglementée

ZONES CONTROLÉES

ZONE SURVEILLÉE port de la dosimétrie passive obligatoire

Points de mesure

Dosimètre d'ambiance

Mesures de débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$

0,12

0,15

A11

Entrée du personnel pour l'ouverture de la porte coulissante

0,18

A7

Porte coulissante

Poubelles déchets EPI usagés

Fûts EPI

Entrée des Éléments d'aéronefs

0,20

A5

CONTAINERS EPI

CONTAINERS PIÈCES THORIÉES

Zone Radium

PALETTES CARTERS

CONTAINERS CRASH AVION

0,17

A3

0,16

A2

Sas D'entrée

0,11

A12

0,13

A1

1,9

B12

2,04

B2

17,7

C10

28,1

D1

1

2

3

8

P14

P1

P2

P13

5,74

C1

20,2

C9

22,1

C8

10,6

C2

3,04

B11

5,73

B1

0,16

A10

3,04

B11

2,9

B10

0,14

A9

2,23

C3

18,1

C7

19,5

D3

P15

P8

P9

P17

P16

2,23

P18

3,13

C5

20,8

C6

2,84

C6

1,82

B3

3,9

B5

2,3

B4

15,6

C12

2,33

C27

0,50

B8

0,62

B9

0,14

A8

0,23

A6

C24

C13

C25

C10

C26

C24

C25

C10

C26

C27

B6

B7

0,38

A6

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

F

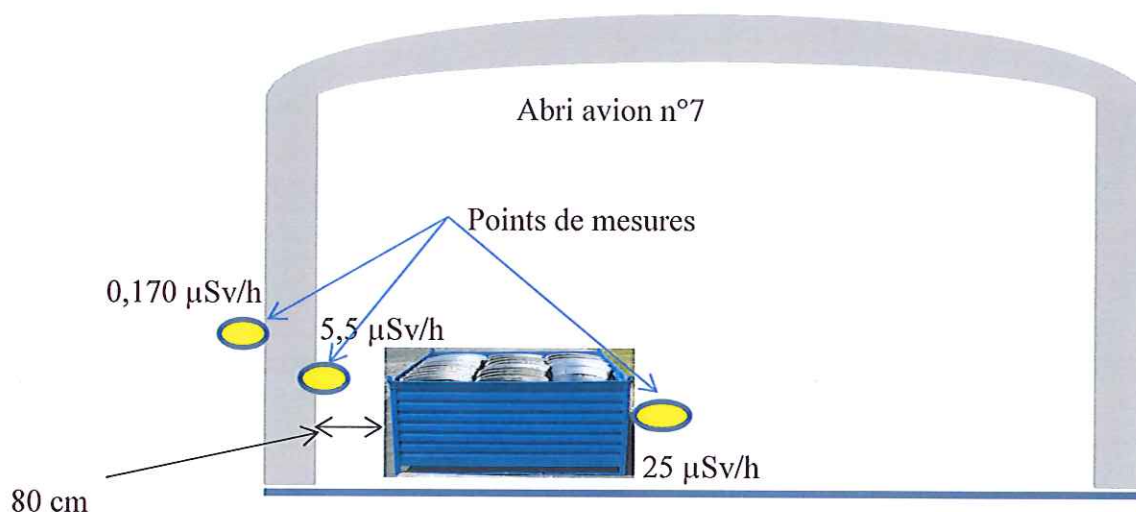
F

F

F

F

F



Le débit de dose (DDD) au contact du container est de 25 µSv/h, le débit de dose au contact du mur intérieur à 80 cm du rack est de 5,5 µSv/h .

En reprenant la formule relative à la loi d'atténuation : $D = D_p \times B_d \times e^{-\mu x}$

D : débit de dose à l'extérieur de l'abri avion

D_p : débit de dose au contact du mur intérieur 5,5 µSv/h

B_d : facteur d'atténuation 1 pour le zinc et 7 pour le béton

μ : coefficient d'atténuation linéique en cm^{-1} c'est-à-dire 0,302 cm^{-1} pour le zinc et 0,103 cm^{-1} pour le béton

Les résultats sont les suivant :

$$D = 5,5 \times 1 \times e^{-0,302 \times 0,2} = 5,17 \text{ } \mu\text{Sv/h} \text{ (DDD derrière 2 mm de zinc)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 40} = 0,48 \text{ } \mu\text{Sv/h} \text{ (DDD au contact du mur extérieur avec 40 cm de béton -partie la plus fine du mur)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 80} = 0,009 \text{ } \mu\text{Sv/h} \text{ (DDD au contact du mur extérieur avec 80 cm de béton - partie la plus épaisse du mur)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 60} = 0,07 \text{ } \mu\text{Sv/h} \text{ (DDD au contact du mur extérieur en prenant une épaisseur moyenne du mur de 60 cm)}$$

De plus en ce qui concerne le coefficient d'atténuation linéique du béton pour une énergie de 2,6 Mev et au regard du livre Personne Compétente en Radioprotection-Principes de radioprotection-réglementation (EDP Sciences version 2007) on obtient 0,090 cm^{-1} .

C'est pourquoi en reprenant le calcul avec cette valeur et avec une épaisseur moyenne du mur de 60 cm on obtient :

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,09 \times 60} = \mathbf{0,163 \text{ } \mu\text{Sv/h}}$$

Ce résultat purement théorique correspond aux mesures effectuées sur le mur extérieur au niveau du rack, mesures effectuées avec un radiamètre FH40, DDD comprises entre 0,150 et 0,170 µSv/h. Pour rappel la valeur du bruit de fond sur le site de l'EAR est comprise entre 0,09 et 0,120 µSv/h.

Annexe 6-2 : Modélisation du débit de dose

Note réf. INGEROP CC053002-840 Rév.2 du 02/03/2020 – version corrigée du 05/06/2020,
29 pages A4

Note : l'évolution non significative des quantités entreposées, entre la rédaction du rapport et la finalisation de la présente version du DDAE, n'entraîne pas de modification significative des résultats. Il en est de même pour le spectre de déchets établi par le GEA en 2020, comparativement à celui pris en compte dans l'étude.

Modélisation du débit de dose au niveau de 2 bâtiments d'entreposage de déchets radioactifs sur l'Élément Air Rattaché de Châteaudun (EAR 279)



SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
1.1. Objet.....	3
1.2. Présentation du projet.....	3
1.3. Glossaire.....	3
2. DESCRIPTION DES PRESTATIONS	4
2.1. Nature de l'étude.....	4
2.2. Données d'entrée.....	4
3. HYPOTHESES – DONNEES DE BASE	6
3.1. Présentation générale.....	6
3.1.1. Déchets entreposés.....	6
3.1.2. Hangarettes.....	6
3.1.3. Scénario initial de l'entreposage.....	10
3.1.4. Second scénario d'entreposage.....	11
3.2. Moyens de calculs.....	12
3.3. Termes sources.....	12
3.3.1. Caractéristiques géométriques et physiques.....	12
3.3.2. Caractéristiques radiologiques – Terme source gamma.....	14
3.4. Cas particulier du radon.....	19
4. MODELISATIONS.....	20
4.1. Modélisation d'un conteneur de 27 demi-carters – Mesures PCR 2018.....	20
4.1.1. Points de calculs.....	20
4.1.2. Résultats.....	21
4.1.3. Validation des hypothèses dimensionnantes.....	21
4.2. Scénario initial : Modélisation de la hangarette HG7.....	22
4.2.1. Points de calculs.....	22
4.2.2. Résultats.....	23
4.2.2.1. Parois latérales de la hangarette.....	23
4.2.2.2. Porte de la hangarette.....	24
4.2.2.3. Cas particulier du radon.....	25
4.3. Second scénario : Modification de l'entreposage des conteneurs.....	26
4.3.1. Points de calculs.....	26
4.3.2. Résultats.....	27
5. CONCLUSIONS	29

1. INTRODUCTION

1.1. Objet

Le projet s'inscrit dans le cadre d'un marché d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) avec le Ministère des Armées. Le Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE), relatif à un projet de création d'installations de gestion de fin de vie des aéronefs et d'entreposage des déchets radioactifs associés sur l'EAR 279 de Châteaudun (28), est aujourd'hui en cours d'instruction.

Le but de cette révision est de prendre en compte un second scénario avec évacuation de certains déchets du site et un entreposage réduit des déchets restant répartis dans les deux hangars, et de réaliser une modélisation du débit de dose au niveau des 2 futurs entreposages de colis de déchets radioactifs qui seront regroupés sur la zone Poulmic dans les hangarets 0086 (HG 7) et 0087 (HG 8), ceci afin de démontrer que la zone surveillée sera bien contenue à l'intérieur de ces bâtiments.

1.2. Présentation du projet

L'Élément Air Rattaché de Châteaudun (EAR 279) exerce, sous la responsabilité de la Base Aérienne d'Orléans Bricy (BA 123), des activités de préservation et de maintenance des aéronefs en service dans l'armée de l'air.

L'EAR 279 a été désignée en 2013 comme point de regroupement des aéronefs qui sont retirés du service. Il exerce à ce titre des activités liées à la gestion de la fin de vie des aéronefs : la dépollution, l'entreposage, le démontage ou la découpe de matériels aéronautiques hors d'usage (aéronefs complets, moteurs, etc.), et également la gestion des déchets générés, en l'occurrence des déchets dangereux, des déchets faiblement radioactifs et des déchets non dangereux. En l'absence de filière d'élimination, le Ministère des Armées a décidé en 2011 que les déchets thoriés du matériel aéronautique de la défense seraient entreposés à Châteaudun en attendant une reprise par l'ANDRA à échéance post-2030.

Le projet de création d'installations de gestion de fin de vie des aéronefs et des déchets nécessite une réorganisation partielle des installations de l'EAR 279. Les zones de Nivouville et du Poulmic, dans la partie sud du site, respectivement sur les communes de Châteaudun et de Villemaury (Eure-et-Loir), ont été retenues pour accueillir les installations de gestion de fin de vie des aéronefs et d'entreposage des déchets radioactifs associés.

1.3. Glossaire

ANDRA	Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
BA	Base Aérienne
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives
DDAE	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale
DEN	Direction de l'Energie Nucléaire (du CEA)
EAR	Elément Air Rattaché
EPI	Equipement de Protection Individuelle
HG	Hangarets (Abris avion)

2. DESCRIPTION DES PRESTATIONS

2.1. Nature de l'étude

- Le but initial de l'étude est de démontrer que la zone surveillée sera bien contenue à l'intérieur des bâtiments pour les futurs entreposages dédiés à l'entreposage de colis de déchets radioactifs et situés au niveau de la zone Poulmic. Hangarette 0086 (HG 7) : entreposage de déchets thoriés et de fûts de radium,
- Hangarette 0087 (HG 8) : entreposage de déchets en conteneurs KC20 (déchets crash), de fûts d'EPI tritiés et de déchets thoriés, lorsque la hangarette 7 a atteint sa capacité maximale.

A cette fin, un premier scénario a été réalisé en tenant compte des schémas de principe d'entreposage des déchets dans les deux bâtiments, pour déterminer le débit de dose gamma à l'intérieur (face chaude) et à l'extérieur (face froide) des voiles des abris avions n°7 (HG 7) et n°8 (HG 8) dans la configuration suivante :

- Hangarette 0086 (HG 7) : entreposage de déchets thoriés et de fûts de radium,
- Hangarette 0087 (HG 8) : entreposage de déchets en conteneurs KC20 (déchets crash), de fûts d'EPI tritiés et de déchets thoriés, lorsque la hangarette 7 a atteint sa capacité maximale.

Pour rappel, la limite pour une zone surveillée bleue est de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ et de $80 \mu\text{Sv}$ par mois pour une Zone Non Réglementée.

Un second scénario a été retenu, celui-ci consistant en une évacuation des conteneurs KC20 de l'EAR 279 de Châteaudun (28) dans le cadre d'un marché conclu avec Veolia Demantelement Solution France (VDSF), et par conséquent d'une répartition de l'entreposage des déchets thoriés et des fûts de radium dans les deux hangarettes sus-citées (HG7 et HG8), modifiant de fait les volumes entreposés.

Note : seul ce second scénario est présenté dans le DDAE version E rédigé par Bertin Technologies auquel cette note est jointe. Le premier scénario correspond à l'entreposage tel qu'il avait présenté dans la version D du DDAE.

2.2. Données d'entrée

A ce jour, les aéronefs subissent un démantèlement amont avant d'être entreposés sur des aires dédiées dans l'attente de leur démantèlement. Seuls les aéronefs en fin de vie (RDS2 - ou Retirés Du Service de catégorie 2) sont considérés « hors d'usage ». Pour effectuer le démantèlement de ces aéronefs plusieurs activités sont chronologiquement nécessaires :

- Le démantèlement « amont » : des opérations préalables consistant à mettre en sécurité les aéronefs classés RDS 2, à les dépolluer et à prélever les équipements valorisables, à les démilitariser, et à les dénaturer (en retirant les éléments pyrotechniques et les éléments et/ou équipements contenant des radionucléides),
- Une phase d'entreposage, sur des aires dédiées,
- Le démantèlement aval consistant à séparer les différentes catégories de matériaux avant découpage de l'avion, tri, entreposage et évacuation des différents déchets. Ce démantèlement aval est confié à des prestataires extérieurs.

L'ensemble des données d'entrée du projet est extrait de la Partie 2 (Présentation du projet) du Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) pour la création d'installations de gestion de fin de vie des aéronefs et des déchets associés, réf. 007443-022-DE002-D.

Les données fournies dans le DDAE concernent en particulier :

- Les futurs types de conditionnement des déchets radioactifs,
- Une estimation des volumes de déchets radioactifs entreposés lorsque la filière de démantèlement aura été mise en place,
- Les caractéristiques radiologiques (activités, spectres) des différents déchets entreposés (conteneurs crash, tritium, alliages magnésium/thorium, radium),
- La structure et les dimensions respectives des deux bâtiments d'entreposage,
- Les schémas de principe d'entreposage retenu dans les deux bâtiments.

En complément, pour le second scénario retenu et exposé dans la suite de ce document, les informations sont issues du compte rendu de la réunion du 31 janvier 2020 référencé 007443-011-CR034-A, et de la transmission par l'armée de l'air du nouveau schéma de principe d'entreposage retenu pour les deux bâtiments.

3. HYPOTHESES – DONNEES DE BASE

3.1. Présentation générale

3.1.1. Déchets entreposés

Les déchets radioactifs présents sur le site de Châteaudun concernent :

- Des organes démontés des avions et moteurs caractérisés comme suit :
 - Des alliages magnésium/thorium (le ZT1 avec 2,5 à 3,5 % de thorium, et le TZ6 avec 1,2 à 1,8 % de thorium), entreposés dans des conteneurs en acier de volumes différents (1 m³ pour les plus petits, 8 m³ pour les déchets de grande taille, et sur palettes pour les demi-carters ou carters),
 - Des éléments de structure tel que palonniers, cache de jambe de train d'atterrissage, des panneaux amovibles comportant des inscriptions radio luminescentes, des instruments (type boussole) contenant du radium et entreposés dans des containers différents (caisses en acier),
 - Des équipements électroniques (exemple : instruments de tableaux de bord) et des éléments de structure contenant du tritium, entreposés temporairement en fûts métalliques eux même placés jusqu'à la fin 2017 dans le hangar 0022 (HSG3) puis transférés vers la BA 123 d'Orléans-Bricy,
- Des équipements de protection individuelles (EPI : gants, masques, tenues de protection) et utilisés lors du « déthoriation » et des déchets d'usinage (copeaux, poussières, filtres absolus), entreposés dans des conteneurs en acier,
- Des avions accidentés dont le tri des matériaux est inextricable, contenant les radionucléides listés ci-dessus, et entreposés dans des conteneurs KC20 (« conteneurs crashes »).

Les conditionnements utilisés seront les suivants :

- Conteneurs 6 m³ et 1 m³ pour déchets thoriés (moteurs principalement) après démantèlement, déthoriation et optimisation du conditionnement,
- Fûts FP1 de 100 litres contenant un fût de 50 litres isolé pour le radium,
- Conteneurs maritimes de type KC20 pour les déchets crash,
- Fûts de 120 litres en polyéthylène contenant les EPI et les déchets technologiques d'exploitation (filtres).

D'autres types de conditionnement compte tenu du volume des pièces contenant des radionucléides (par exemple moteurs sur palettes métalliques) sont susceptibles d'être utilisés mais la logique de conditionnement veillera à :

- Limiter le taux de vide en emboitant deux demi-carters,
- Limiter les charges calorifiques dans le local d'entreposage (pas de toile PVC),
- Réaliser les colis de déchets au plus près de la zone de démantèlement,
- Faciliter la manutention et limiter le risque de chute.

Lors du conditionnement, les pièces les plus volumineuses seront imbriquées les unes dans les autres. La majorité de ces pièces sont constituées à l'origine de 2 demi-carters montés reliés l'un à l'autre et représentent à eux deux un volume de l'ordre d'1 m³. Après reconditionnement, il sera possible de mettre 27 demi-carters sur un seul conteneur gerbable (soit une réduction de volume de 33 %).

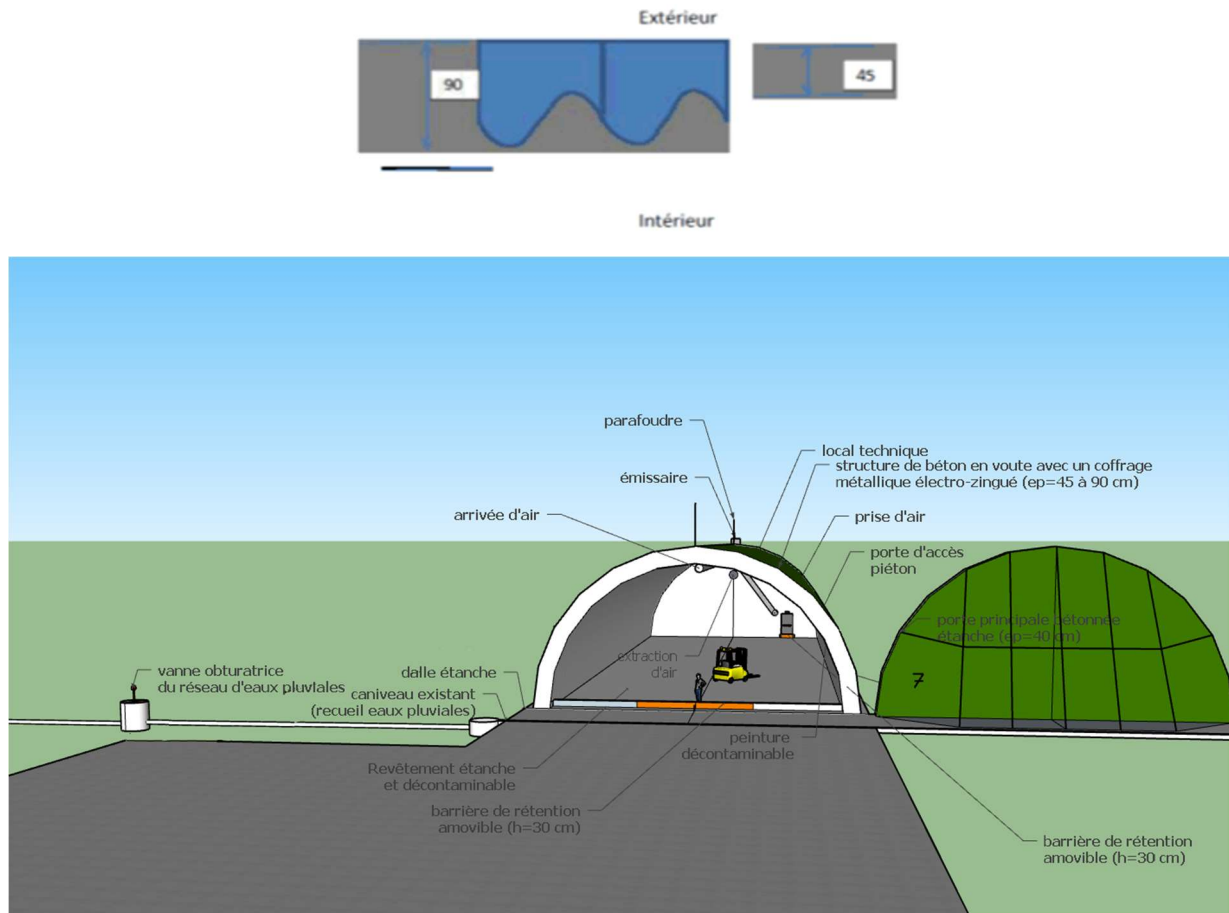
3.1.2. Hangarettes

- Hangarette 0086 (HG 7) : entreposage de déchets thoriés et de fûts de radium,
- ZT1 : Conteneurs de 6m³ gerbés sur 2 niveaux (92 racks TZ6 : containers de 1 m³ gerbés sur deux niveaux)
Hangarette 0087 (HG 8) : entreposage de déchets en conteneurs KC20 (déchet crash), de fûts d'EPI tritiés et de déchets thoriés lorsque la hangarette 7 a atteint sa capacité maximale.

Les plans d'aménagement de chaque hangarette sont consultables en Annexe 2 - 1 du DDAE et permettent de déterminer une capacité maximale totale d'entreposage de 1 860 m³ (621 m³ pour la hangarette 0086 (HG 7), 1239 m³ pour la hangarette 0087 (HG8)).

D'après le DDAE, les hangarets sont en structure béton en voute avec coffrage perdu métallique ondulé électro-zingué de 45 à 90 cm, équipées d'une porte principale bétonnée de 40 cm d'épaisseur.

L'épaisseur de béton minimale de la voute est incertaine, car il n'est pas exclu qu'il y ait moins de 45 cm de béton du fait de la formation de bulles. Il est donc considéré une épaisseur de 40 cm.

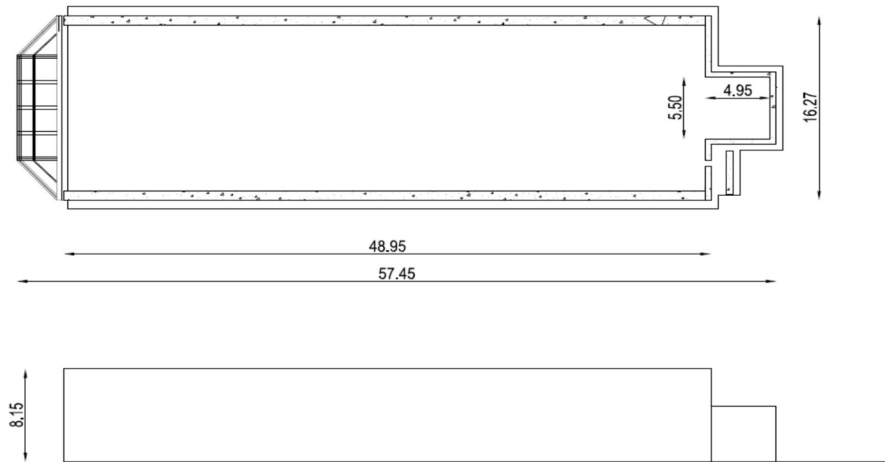




Les dimensions de la hangarette sont les suivantes :

- La largeur extérieure d'une hangarette est de 16,27 m,
- La longueur extérieure est effectivement de 48,9 m donc 48,6 m doit correspondre à la profondeur intérieure,
- La hauteur extérieure de la voute sur plans et de 8,15 m.

HANGARETTE N° 7 ou 086 - Etat actuel



La porte principale avant a une épaisseur de béton de 40 cm, mais comporte des défauts de protection au niveau de la porte principale (balais).

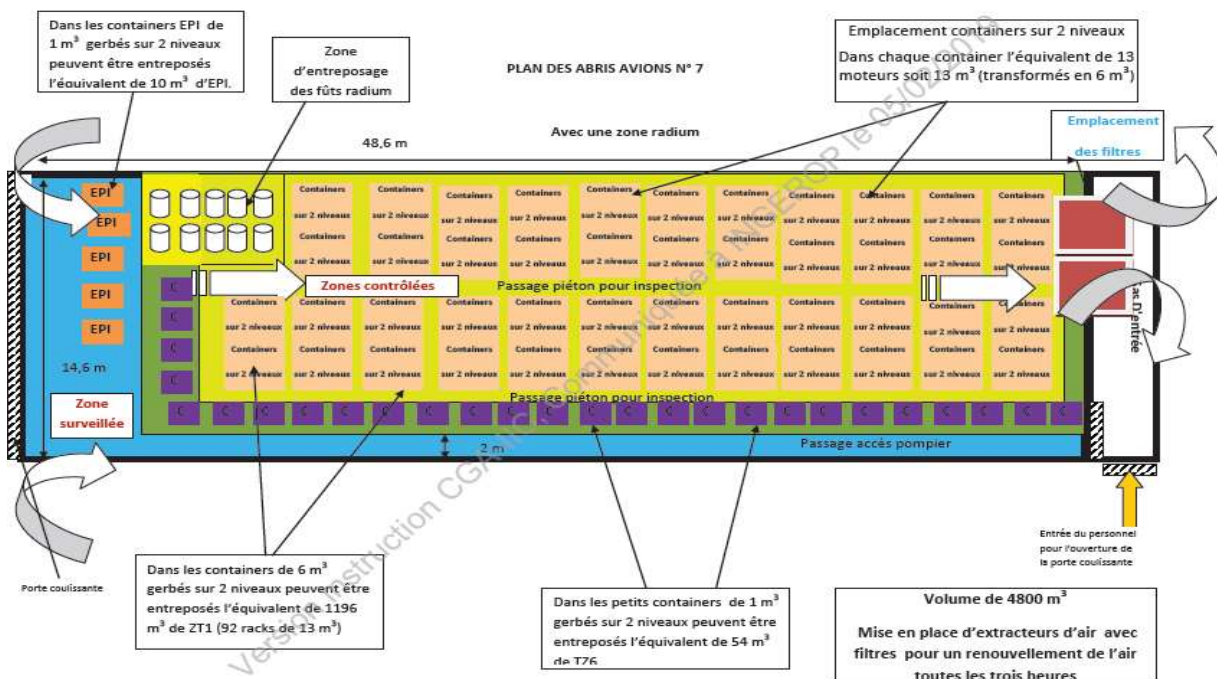


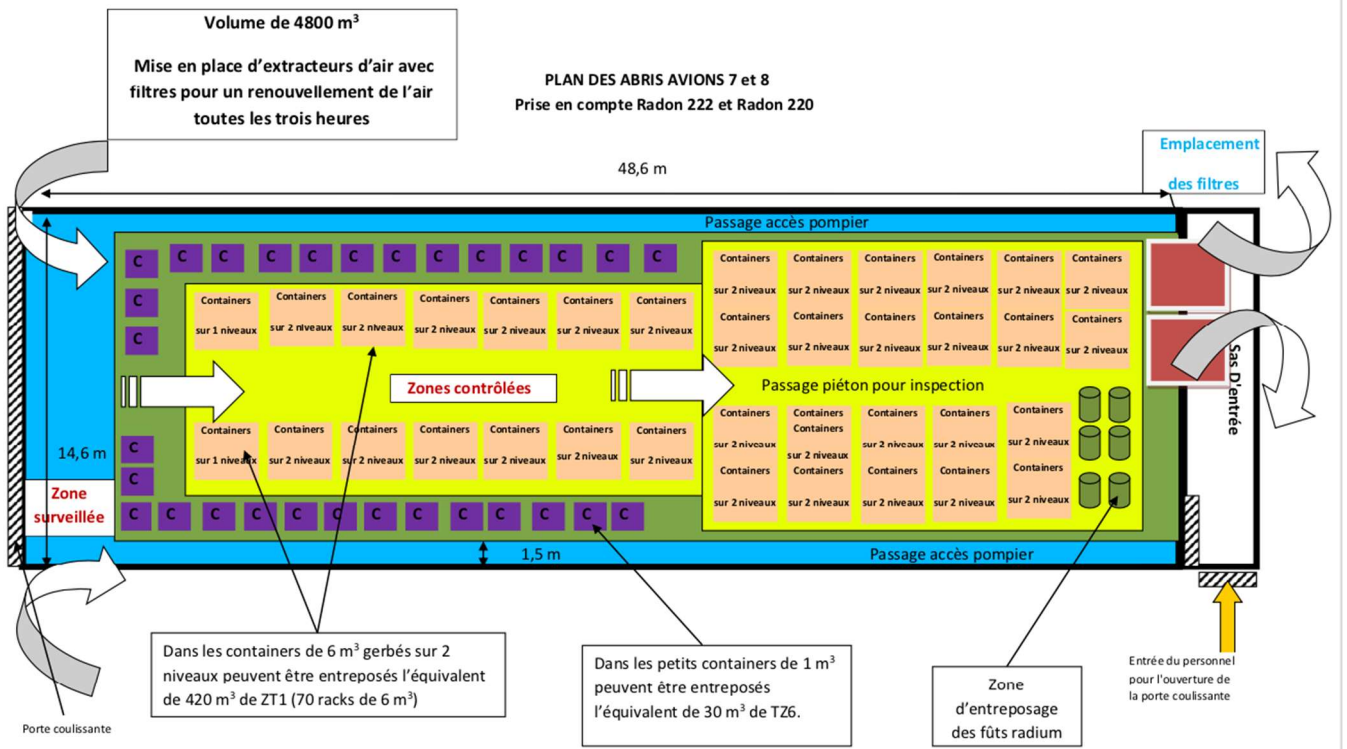


3.1.3. Scénario initial de l'entreposage (non retenu)

Les principes de conditionnement cités ci-dessus avaient permis dans un premier temps de déterminer 2 premières configurations possibles d'aménagement de hangarette :

- Hangarette 0086 (HG 7) : entreposage de déchets thoriés et de fûts de radium :
 - ZT1 : conteneurs de 6 m³ gerbés sur 2 niveaux (92 racks),
 - TZ6 : containers de 1 m³ gerbés sur deux niveaux,





3.2. Moyens de calculs

Les débits de dose gamma au niveau des colis et derrière les voiles des bâtiments sont calculés à l'aide du code 3D MERCURAD incluant la version 6 du code MERCURE¹ développé par le CEA/DEN/DM2S/SERMA.

3.3. Termes sources

3.3.1. Caractéristiques géométriques et physiques

Les déchets thoriés entreposés sur le site sont très divers, tel que présenté ci-dessous.

¹ Le code de calcul déterministe MERCURE version 6.3 simule le transport des photons de 15keV à 10MeV dans des géométries à trois dimensions (3D) entre des sources volumiques et des points de calcul. Il est basé sur l'intégration de noyaux ponctuels d'atténuation en ligne droite avec facteurs d'accumulation. MERCURE-6.3 intègre les noyaux ponctuels par une méthode Monte-Carlo pour lequel il détermine automatiquement les distributions d'importances. Les facteurs d'accumulation utilisés prennent en compte les phénomènes physiques suivants : effet photoélectrique, la diffusion cohérente, la diffusion incohérente, la production de paires, les sources secondaires de rayonnement dues au bremsstrahlung et à la fluorescence. Le facteur d'accumulation d'une succession de plusieurs écrans est déterminé grâce à une méthode itérative innovante. Notons enfin que le noyau de calcul du code PANTHERE, mis en œuvre dans la démarche d'optimisation de la radioprotection pour les opérations réalisées dans les zones autour du réacteur et des bâtiments auxiliaires occasionnant les doses les plus importantes au sein des CNPE d'EDF, est également basé sur la méthode d'atténuation en ligne droite avec facteurs de build-up multicouches utilisé dans MERCURE 6.



Le conditionnement des déchets thoriés se fera en conteneurs 6 m³ (ZT1) et 1 m³ (TZ6). Il a été décidé de procéder à une optimisation de conditionnement par ½ carters dans un seul conteneur gerbable, soit 27 ½ carters dans conteneur, le volume de 2 ½ carters montés reliés l'un à l'autre étant trop important (1 m³).



Les dimensions des conteneurs cités ci-dessus sont les suivantes :

- Dimensions des racks d'entreposage 6 m³ (pièces ZT1) : 2700 mm x 2200 mm x 1000 mm ; épaisseurs : 2 mm pour le fond, 1,5 mm pour les côtés,
- Dimensions des containers 1 m³ (pièces TZ6) : 1050 mm x 1050 mm x 930 mm ; épaisseur : 2 mm pour tout le container.

Les colis de 1 m³ sont remplis au maximum (hauteur utile). Ils disposent d'un couvercle.

Les colis de 6 m³ seront remplis des ½ carters (dans 5,98 m³ utiles) et les vides complétés par d'autres déchets. L'activité purement théorique est de 300 Bq/kg. Ils ne disposent pas de couvercle.

L'épaisseur de carter varie entre 0,5 et 1 cm. La densité de l'alliage n'est pas connue. La structure des ½ carter n'est pas homogène (épaisseur variable). Une homogénéisation de l'ensemble de la masse dans le volume du rack utile sera donc considérée.

3.3.2. Caractéristiques radiologiques – Terme source gamma

Les déchets thoriés consistent en des organes démontés des avions et moteurs, Ces organes sont constitués d'alliages Mg/Th, dont la teneur en thorium dépend de la provenance des organes :

- Alliage ZT1 avec 2,5 à 3,5% thorium (% massique) :
 - ²³²Th : 47,55%,
 - ²²⁸Th : 52,45%,
- Alliage : TZ6 avec 1,2 à 1,8% thorium (% massique) :
 - ²³²Th : 32,99%,
 - ²²⁸Th : 30,93%,
 - ²³⁰Th : 36,08%.

D'après les données transmises après le tableau 4 du DDAE, l'activité massique en thorium est la suivante :

- ZT1 : 3,5%, donc 300 kBq.kg⁻¹,
- TZ6 : 1,8%, donc 150 kBq.kg⁻¹.

Il est à noter que les spectres ZT1 et TZ6 ont été réalisés sur 2 ou 3 échantillons, pas nécessairement représentatifs. A la date de réalisation des modélisations, y compris pour le second scénario, les résultats de mesures complémentaires de spectre réalisées par le GEA de Cherbourg sur 7 échantillons complémentaires

n'avaient pas été reçus. Toutefois, les nouveaux spectres du GEA fournis² ne remettent pas en cause ces données. En effet, les spectres moyens établis sur la base de ces nouveaux échantillons présentent en particulier, en tenant compte des incertitudes de mesure, une contribution équivalente en ^{232}Th qui est l'isotope prépondérant vis-à-vis de la dose. Deux estimations sont donc réalisées dans le cadre de cette étude, à savoir d'une part l'estimation des Débits d'Equivalent de Dose avec les spectres cités ci-dessus, d'autre part en considérant le spectre Thorium le plus dur d'un point de vue atténuation.

Le terme source gamma est caractérisé par 2 grandeurs : l'activité et le spectre d'émission γ .

Ces 2 grandeurs dépendent directement des masses des radioéléments présents dans la source. Les vecteurs isotopiques du thorium n'évoluant pas dans le temps dans le cadre de notre étude, les activités et les spectres d'émission γ sont établis pour un volume unitaire.

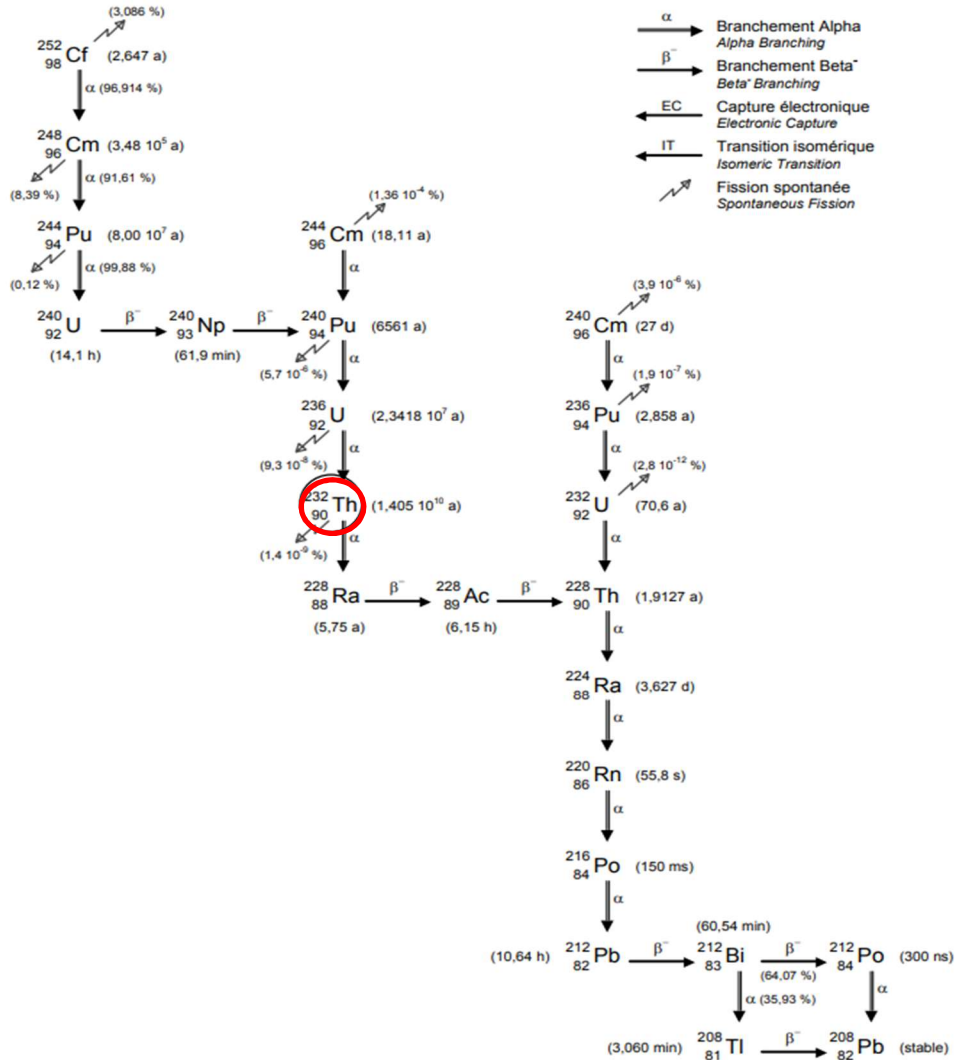
Chaque terme source est ensuite obtenu comme une combinaison linéaire des termes sources unitaires en fonctions des masses respectives dans le terme source considéré.

Le thorium n'existe que sous forme radioactive et se rencontre dans la plupart des grandes familles de radionucléides naturels et dans celles des transuraniens. Il présente 13 isotopes dont le principal est le ^{232}Th , émetteur de rayonnement alpha. Il donne naissance à de nombreux produits de filiation dont l'actinium 228, émetteur de rayonnement gamma.

² GEA Cherbourg, Rapport d'essai n°20GEA0004, Alliages thoriés de Châteaudun, 16/03/2020

Le ^{232}Th et le ^{228}Th apparaissent dans la chaîne de désintégrations suivante :

Chaîne radioactive du thorium
Thorium radioactive series



Le ^{230}Th apparaît dans la chaîne de désintégrations suivante :

Les spectres d'émission γ associés aux différents isotopes sont rappelés ci-après (pour le ^{232}Th , seules les 40 raies (sur 310 raies) les plus importantes en intensité (intensité supérieure à 0,6%), représentant plus de 80% des émissions sont considérées).

^{228}Th	
Énergie (keV)	Intensité (%)
84,373	1,19
215,985	$2,46 \cdot 10^{-1}$
131,612	$1,27 \cdot 10^{-1}$
166,41	$1,00 \cdot 10^{-1}$
205,99	$1,88 \cdot 10^{-2}$
74,38	$3,90 \cdot 10^{-4}$
228,42	$1,80 \cdot 10^{-5}$
831,97	$1,40 \cdot 10^{-5}$
182,29	$5,10 \cdot 10^{-6}$
700,36	$3,00 \cdot 10^{-6}$
908,28	$1,70 \cdot 10^{-6}$
992,65	$1,40 \cdot 10^{-6}$
741,87	$1,40 \cdot 10^{-6}$
142,71	$1,30 \cdot 10^{-6}$

^{228}Th	
Énergie (keV)	Intensité (%)
67,672	$3,80 \cdot 10^{-1}$
143,872	$4,90 \cdot 10^{-2}$
186,053	$8,80 \cdot 10^{-3}$
253,729	$1,11 \cdot 10^{-2}$
253,8	$8,50 \cdot 10^{-4}$

^{232}Th	
Énergie (keV)	Intensité (%)
238,632	43,6
2614,511	35,84
583,187	30,54
911,196	26,2
968,96	15,9
338,32	11,4
510,74	8,08
727,33	6,65
964,786	4,99
860,53	4,455
463,002	4,45
794,942	4,31
240,986	4,12
209,248	3,97
270,245	3,55
300,089	3,18
1588,2	3,06
328,004	3,04
129,065	2,5
277,37	2,37
409,46	2,02

^{232}Th (suite)	
Énergie (keV)	Intensité (%)
835,704	1,7
13,52	1,6
1630,618	1,52
772,291	1,52
1620,738	1,51
99,505	1,26
84,373	1,19
785,37	1,11
39,858	1,07
755,313	1,03
840,372	0,97
1495,904	0,92
562,496	0,89
1459,131	0,87
904,2	0,78
153,967	0,754
726,88	0,68
763,45	0,647
115,183	0,624
1580,531	0,62

3.4. Cas particulier du radon

Du radon 222 et du radon 220 sont issus des déchets radioactifs allant être entreposé dans les hangarettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun.

Avec un renouvellement d'air de $0,3 \text{ h}^{-1}$, les concentrations sont les suivantes ³:

- ^{220}Rn : $35,3 \text{ kBq.m}^{-3}$,
- ^{222}Rn : $37,4 \text{ Bq.m}^{-3}$.

Les spectres d'émission γ associés à ces deux isotopes sont rappelés ci-après :

^{220}Rn	
Énergie (keV)	Intensité (%)
549,76	0,115

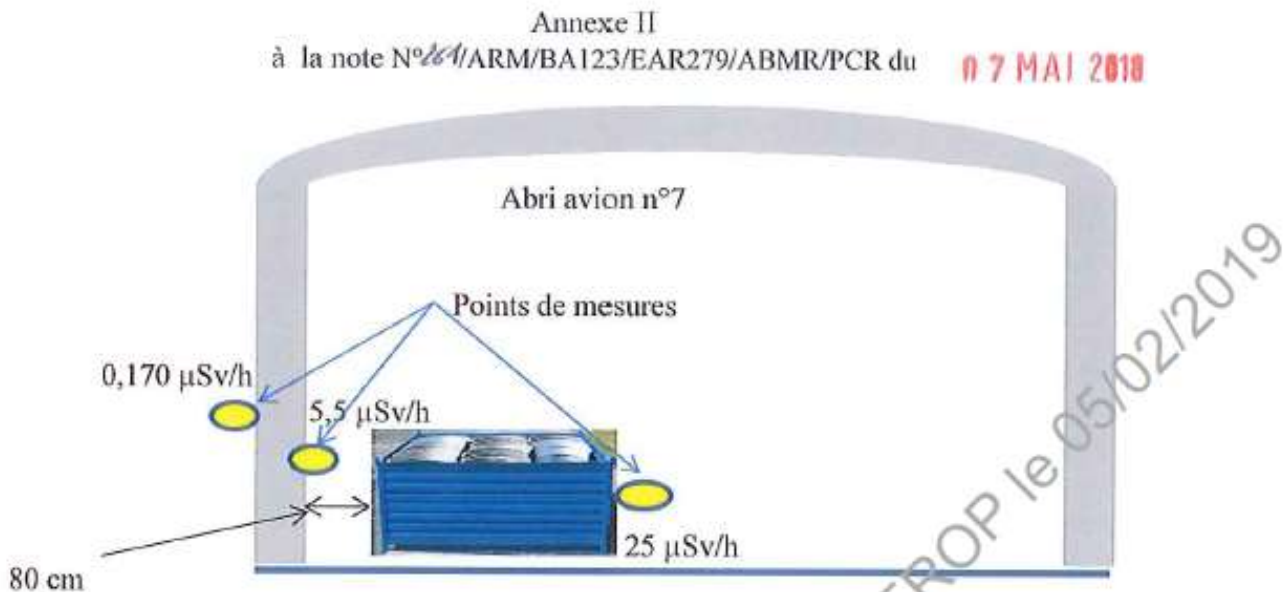
^{222}Rn	
Énergie (keV)	Intensité (%)
510	0,076

³ Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun – Rapport DosExpert FOR-CST-004b

4. MODELISATIONS

4.1. Modélisation d'un conteneur de 27 demi-carters – Mesures PCR 2018

En mai 2018, un rack contenant 27 demi-carters pour une activité estimée à 291,6 MBq a été positionné au niveau de l'abri n°7, en respectant les distances propres au futur entreposage. Des mesures de débits d'équivalent de dose ont alors été effectuées, avec un radiamètre FH40, au contact et à 80 cm du rack, à hauteur respectives de $25 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ et $5,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ainsi que derrière le mur en béton du hangar, pour un débit d'équivalent de dose de $0,170 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.



Il est à noter que la gamme d'énergie mesurable par le radiamètre utilisé est de 33 keV à 3 MeV et que la précision de cet appareil est de l'ordre de +/- 20% (calibration ^{137}Cs).

Dans le cadre de l'étude, la modélisation d'un tel rack a été effectuée, avec les hypothèses suivantes :

- Densité homogénéisée des déchets de $0,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ($200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ représentative de la masse de 27 demi-carters (soit 972 kg) dans un conteneur de 6 m^3),
- Conteneur de 1,5 mm d'épaisseur en acier sur les parois, 2 mm au fond et sans couvercle supérieur,
- Activité globale de 292 MBq.

Il est à noter que cette densité de $0,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ correspond à une hypothèse pénalisante pour la quantification du débit de dose, étant donné que le volume source, de par sa nature et sa densité propre, constitue une protection biologique intrinsèque contribuant à l'atténuation globale de l'émission radioactive. Considérer une densité faible et non égale à la densité propre du déchet, est donc une hypothèse pénalisante pour le calcul.

4.1.1. Points de calculs

Les points de calculs considérés sont à mi-hauteur au milieu de la longueur du rack contenant les déchets, au contact (5 cm) et à 80 cm du conteneur, ainsi que derrière un mur de béton de 40 cm d'épaisseur.

4.1.2. Résultats

Le tableau ci-après présente les Débits d'Equivalent de Dose respectifs obtenus pour les trois isotopes considérés.

	Débit d'Equivalent de Dose gamma ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)		
	5 cm	80 cm	Derrière mur
Th232Eq	61,16	15,39	0,44
Th230	$2,44 \cdot 10^{-3}$	$6,69 \cdot 10^{-4}$	$9,60 \cdot 10^{-8}$
Th228	$2,17 \cdot 10^{-2}$	$5,76 \cdot 10^{-3}$	$7,88 \cdot 10^{-7}$

Sur la base des compositions respectives des alliages ZT1 et TZ6 (voir paragraphe 3.3.2), les débits d'équivalent de dose obtenus à ces points de calcul sont les suivants :

	Débit d'Equivalent de Dose gamma ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)		
	5 cm	80 cm	Derrière mur
ZT1	29,09	7,32	0,21
TZ6	20,19	5,08	0,15

4.1.3. Validation des hypothèses dimensionnantes

Les débits de dose gamma obtenus dans le cadre de cette modélisation, pour l'alliage ZT1, sont de $29 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ et $7,3 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ au contact et à 80 cm du conteneur, et de $0,2 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ derrière une protection biologique en béton de 40 cm d'épaisseur.

Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par des mesures réelles avec un radiamètre FH40 (voir paragraphe 4.1.1).

Il est à noter que des modélisations complémentaires ont permis de vérifier :

- La densité pénalisante de $0,2 \text{ g.cm}^{-3}$, (obtention de résultats de débits de dose gamma plus faibles pour de plus fortes densités),
- L'importance de la contribution périphérique du volume de déchets au débit de dose gamma (la périphérie du déchets (les 50 1ers centimètres) est contributrice à plus de 94% de la dose à l'extérieur du conteneur (dont les 10 1er centimètres à hauteur de 61 % (84 % pour les 20 1ers centimètres), et ce pour le radionucléide ^{232}Th contributeur prépondérant au débit de dose gamma),
- La prépondérance de la contribution du radionucléide ^{232}Th dans la quantification du débit d'équivalent de dose. L'importance isotopique de ce radionucléide dans l'alliage considéré impacte directement le résultat obtenu. L'alliage ZT1, avec une importance isotopique de 47,55% en ^{232}Th , est donc plus irradiant que l'alliage TZ6, avec une importance isotopique de 32,99% en ^{232}Th .

Ces modélisations complémentaires permettent de valider l'hypothèse d'une densité moyenne homogénéisée de $0,2 \text{ g.cm}^{-3}$ des déchets dans un rack.

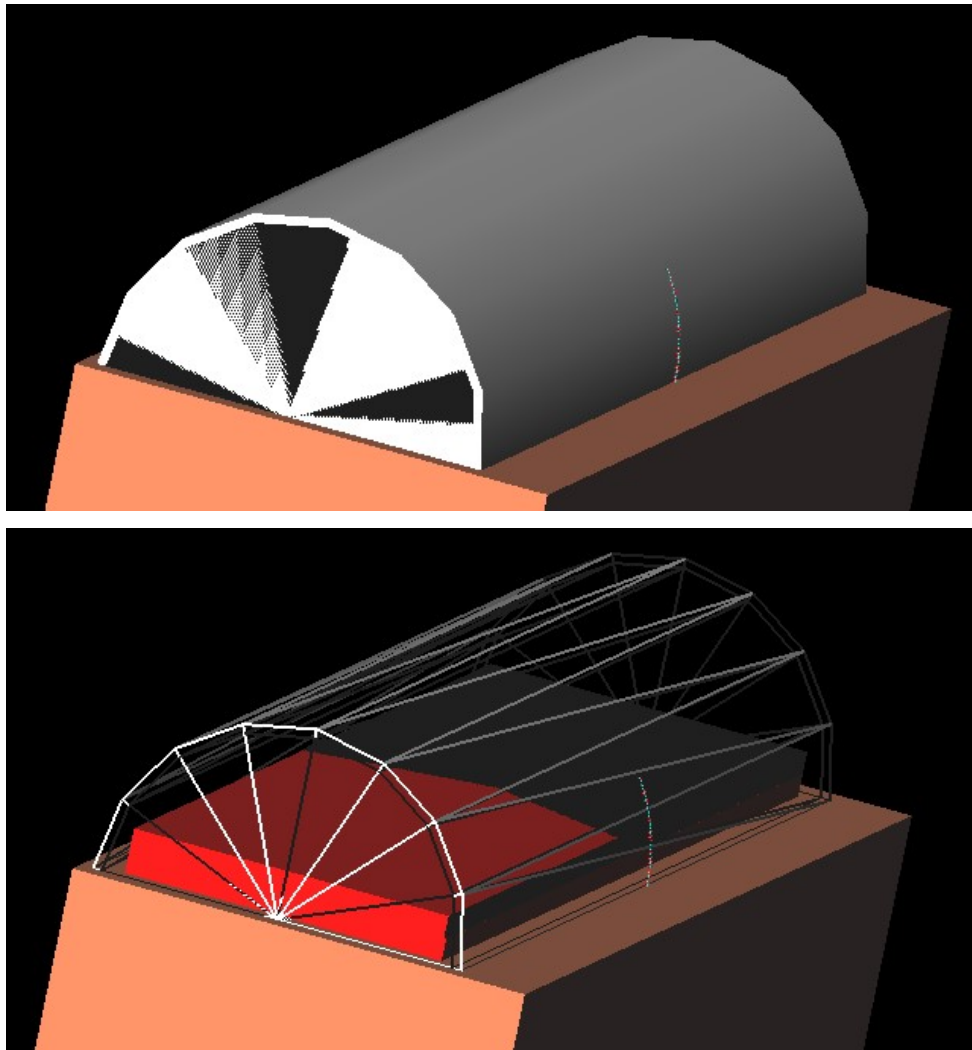
Cette hypothèse est donc considérée dans le cadre de la modélisation de l'ensemble des déchets dans la hangarrette HG7.

4.2. Scenario initial : Modélisation de la hangarette HG7 (non retenu)

Tel que précisé au paragraphe, il est prévu de procéder à l'entreposage, dans la Hangarette 0086 (HG 7), de déchets thoriés et de fûts de radium, pour les déchets contenant l'alliage ZT1, en conteneurs de 6 m³ gerbés sur 2 niveaux (92 racks) et pour les déchets contenant l'alliage TZ6, en containers de 1 m³ gerbés sur deux niveaux.

Au vu des résultats présentés ci-dessus, il est donc procédé à la modélisation d'un volume homogénéisé de déchets, positionné à une distance de 80 cm des parois latérales de la hangarette et à deux mètres de la porte en béton de 40 cm d'épaisseur, sur deux niveaux (soit une hauteur de 2m), et ce dans l'ensemble de la hangarette. Les résultats obtenus permettront de quantifier les débits d'équivalents de dose les plus pénalisants.

Une représentation graphique du modèle utilisé est fournie sur les deux images ci-après.



4.2.1. Points de calculs

Les points de calculs considérés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Au contact intérieur de la paroi latérale, à mi-longueur de la hangarette, pour une hauteur du point de calcul variant de 0 à 4 m.
- Au contact extérieur de la paroi latérale, à mi-longueur de la hangarette, pour une hauteur du point de calcul variant de 0 à 4 m.
- Au contact extérieur de porte en béton de 40 cm, à mi-largeur de la hangarette, pour une hauteur du point de calcul variant de 0 à 4 m.

En complément, il a été constaté des défauts de protection biologiques au niveau des balais de la porte de la hangarrette. Afin de quantifier l'incidence de tels défauts, une ligne de fuite d'une largeur de 1 et 5 cm a été considérée dans la porte de la hangarrette.

4.2.2. Résultats

4.2.2.1 Parois latérales de la hangarrette

Le tableau ci-après permet de visualiser les Débits d'Equivalent de Dose respectifs obtenus pour les différents radionucléides et pour l'alliage ZT1, alliage le plus pénalisant, au contact de la paroi intérieure de la hangarrette.

Hauteur du point de calcul	Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi intérieure de la hangarrette			
	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{232}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{230}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{228}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ en alliage ZT1
0	55,72	$1,27\cdot 10^{-3}$	$1,48\cdot 10^{-2}$	26,49
50	65,15	$1,77\cdot 10^{-3}$	$1,93\cdot 10^{-2}$	30,98
100	72,87	$2,01\cdot 10^{-3}$	$2,40\cdot 10^{-2}$	34,65
150	68,31	$1,90\cdot 10^{-3}$	$2,18\cdot 10^{-2}$	32,48
200	63,45	$1,98\cdot 10^{-3}$	$1,95\cdot 10^{-2}$	30,17
250	74,51	$2,41\cdot 10^{-3}$	$2,46\cdot 10^{-2}$	35,43
300	79,75	$2,94\cdot 10^{-3}$	$2,91\cdot 10^{-2}$	37,92
350	83,52	$3,12\cdot 10^{-3}$	$3,04\cdot 10^{-2}$	39,71
400	78,46	$2,79\cdot 10^{-3}$	$2,87\cdot 10^{-2}$	37,31

Les Débits d'Equivalent de Dose sur la paroi intérieure de la hangarrette sont inférieures à $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ pour des déchets contenant l'alliage ZT1 le plus pénalisant du point de vue irradiation.

Dans le cas d'une présence exclusive de ^{232}Th dans ce thorium, les Débits d'Equivalent de Dose atteindraient une valeur de l'ordre de $70 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à une hauteur de 1,50 m et jusque $85 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ en hauteur (au-dessus des conteneurs 6 m^3 ne disposant pas de couvercle).

Le tableau ci-après permet de visualiser les Débits d'Equivalent de Dose respectifs obtenus pour les différents radionucléides et pour l'alliage ZT1, alliage le plus pénalisant, au contact de la paroi extérieure de la hangarrette.

Hauteur du point de calcul	Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi extérieure de la hangarrette			
	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{232}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{230}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ ^{228}Th	$300 \text{ kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ en alliage ZT1
0	0,77	$8,05\cdot 10^{-8}$	$1,61\cdot 10^{-6}$	0,36
50	0,97	$1,17\cdot 10^{-7}$	$1,96\cdot 10^{-6}$	0,46
100	1,12	$1,51\cdot 10^{-7}$	$2,00\cdot 10^{-6}$	0,53
150	1,10	$1,50\cdot 10^{-7}$	$9,99\cdot 10^{-7}$	0,52
200	1,05	$1,31\cdot 10^{-7}$	$4,57\cdot 10^{-7}$	0,50
250	1,16	$1,46\cdot 10^{-7}$	$1,35\cdot 10^{-7}$	0,55
300	1,20	$1,53\cdot 10^{-7}$	$6,51\cdot 10^{-8}$	0,57
350	1,26	$1,51\cdot 10^{-7}$	$7,43\cdot 10^{-8}$	0,60
400	1,27	$1,51\cdot 10^{-7}$	$9,04\cdot 10^{-8}$	0,61

Les Débits d'Equivalent de Dose au contact de la paroi extérieure de la hangarrette sont inférieures à $0,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ pour des déchets contenant l'alliage ZT1 le plus pénalisant du point de vue irradiation.

Dans le cas d'une présence exclusive de ^{232}Th dans ce thorium, les Débits d'Equivalent de Dose atteindraient une valeur de l'ordre de $1,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à une hauteur de 1,50 m et jusque $1,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ en hauteur (au-dessus des conteneurs 6 m^3 ne disposant pas de couvercle).

Pour les locaux d'un bâtiment classés hors zone réglementée, et attenants à une zone surveillée ou contrôlée dans laquelle il y a une source de rayonnements à émission continue ou discontinue (cas de la zone intérieure de la hangarette), la dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur doit rester inférieure à $80 \mu\text{Sv}$ pour un temps légal de travail mensuel. L'exigence de dose étant de $80 \mu\text{Sv}$ par mois cela sous-entend que le débit de dose journalier ou horaire calculé sur cette limite peut fluctuer et atteindre des valeurs plus élevées sur des périodes courtes mais, en tout état de cause, ces valeurs doivent rester inférieures à $7,5 \mu\text{Sv}$ sur une heure, limite basse du classement en zone contrôlée.

Dans le cadre de l'entreposage des déchets thoriés, les valeurs constatées conduiraient à une valeur mensuelle cumulée au point le plus irradiant, pour une présence continue de 156 heures (7,8 heures par jour sur 20 jours), à une dose efficace de l'ordre de $90 \mu\text{Sv}$ par mois. Hors, la zone attenante à la hangarette ne correspond pas à un poste de travail mais une zone de passage. Il peut donc être considéré que l'exigence de dose de $80 \mu\text{Sv}$ par mois est respectée, le débit de dose horaire étant largement inférieur à la limite de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

En complément, sont présentés de tableau ci-après la décroissance du Débit d'Equivalent de Dose suivant l'éloignement du point de calcul par rapport à la paroi extérieure de la hangarette.

Distance en m	Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) à une hauteur de 150 cm	
	300 $\text{kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ en ^{232}Th	300 $\text{kBq}\cdot\text{g}^{-1}$ en alliage ZT1
Contact paroi extérieure	1,10	0,52
1	0,78	0,37
2	0,62	0,30
3	0,51	0,24
4	0,44	0,21
5	0,38	0,18
6	0,33	0,16
7	0,30	0,14
8	0,27	0,13
9	0,25	0,12
10	0,23	0,11

L'analyse des valeurs ci-dessus permet de constater que le Débit d'Equivalent de Dose décroît fortement dès que l'on s'éloigne de la paroi, pour atteindre une valeur moitié dès une distance de 3 m.

4.2.2.2 Porte de la hangarette

La porte principale avant a une épaisseur de béton de 40 cm, mais comporte des défauts de protection au niveau de la porte principale (balais). Afin de quantifier l'incidence de tels défauts, une ligne de fuite directe, d'une largeur de 1 et 5 cm, a été considérée dans la porte de la hangarette.

Le tableau ci-après permet de visualiser les Débits d'Equivalent de Dose respectifs obtenus pour les différents radionucléides et pour l'alliage ZT1, alliage le plus pénalisant, au contact de la porte bétonnée de la hangarette, ainsi que dans le cas de telles zones de fuite.

Hauteur du point de calcul (en cm)	Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la porte pleine		Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la porte avec fente 1 cm de largeur		Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la porte avec fente 5 cm de largeur	
	300 kBq.g ⁻¹ ²³² Th	300 kBq.g ⁻¹ en alliage ZT1	300 kBq.g ⁻¹ ²³² Th	300 kBq.g ⁻¹ en alliage ZT1	300 kBq.g ⁻¹ ²³² Th	300 kBq.g ⁻¹ en alliage ZT1
0	0,66	0,31	1,14	0,54	3,01	1,43
50	0,73	0,35	1,23	0,59	3,37	1,60
100	0,80	0,38	1,32	0,63	3,29	1,57
150	0,74	0,35	1,24	0,59	3,15	1,50
200	0,67	0,32	1,16	0,55	3,15	1,50
250	0,69	0,33	1,27	0,60	3,75	1,78
300	0,72	0,34	1,33	0,63	4,00	1,90
350	0,72	0,34	1,40	0,67	4,19	1,99
400	0,69	0,33	1,38	0,66	4,35	2,07

L'analyse des valeurs ci-dessus permet de constater que les Débits d'Equivalent de Dose obtenus derrière la porte pleine sont deux fois moindres qu'aux points les plus pénalisants sur la façade latérale de la hangarette. Il peut donc être considéré que l'exigence de dose de 80 μSv par mois est respectée, le débit de dose horaire étant largement inférieur à la limite de 7,5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Il est par contre constaté que les Débits d'Equivalent de Dose augmentent fortement en cas de zone de fuite directe, tout en respectant la limite du débit de dose horaire de 7,5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Une attention particulière doit donc être portée sur l'existence de telles zones de fuites et un zonage spécifique pourrait être mis en place afin de respecter les limites réglementaires.

4.2.2.3 Cas particulier du radon

En complément, une estimation du Débit d'Equivalent de Dose externe lié aux concentrations en radon observées à l'intérieur des hangarettes a été effectuée au contact de la hangarette aux points de calculs sus-cités.

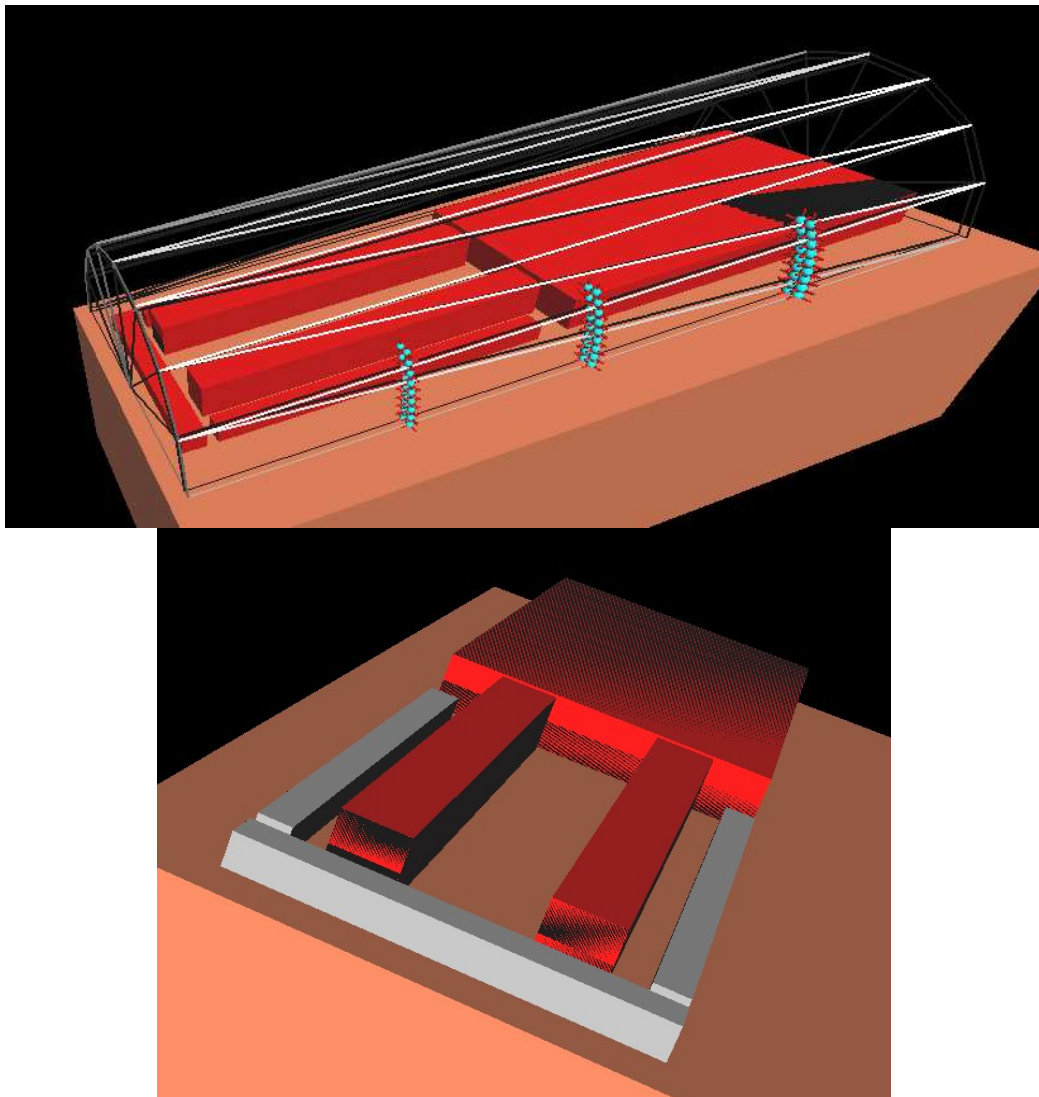
Hauteur du point de calcul (en cm)	Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi extérieure de la hangarette	
	37,4 Bq.m ⁻³ ²²² Rn	35,3 kBq.m ⁻³ ²²⁰ Rn
0	1,46.10 ⁻⁹	2,27.10 ⁻⁶
50	3,19.10 ⁻⁹	4,81.10 ⁻⁶
100	8,49.10 ⁻⁹	1,23.10 ⁻⁵
150	2,52.10 ⁻⁸	3,67.10 ⁻⁵
200	6,15.10 ⁻⁸	9,80.10 ⁻⁵
250	7,28.10 ⁻⁸	1,09.10 ⁻⁴
300	9,27.10 ⁻⁸	1,21.10 ⁻⁴
350	9,66.10 ⁻⁸	1,30.10 ⁻⁴
400	1,05.10 ⁻⁷	1,34.10 ⁻⁴

Il est constaté, pour les concentrations en radon précisées au paragraphe 3.4, un Débit d'Equivalent de Dose inférieur à 1 nSv.h⁻¹ aux différents points de calcul.

4.3. Second scénario : Modification de l'entreposage des conteneurs (retenu)

Tel que précisé au paragraphe 3.1, dans le cadre du second scénario, avec l'évacuation des déchets KC20 et la réduction du volume des déchets entreposés dans chacune des hangarettes, un passage accès pompier d'une largeur de 1,5 m sur la périphérie intérieure de chaque hangarette est créé, les déchets TZ6 sont entreposés sur une seule moitié de la longueur de la hangarette et un espace piéton important est créé au centre sur la moitié de la hangarette,

Une représentation graphique du modèle utilisé est effectuée sur les deux images ci-après.



4.3.1. Points de calculs

Les points de calculs considérés dans le cadre de ce nouveau scénario sont les suivants :

- Au contact intérieur de la paroi latérale, pour une hauteur du point de calcul variant de 0 à 4 m, au milieu de l'entreposage des déchets ZT1, au milieu de la longueur de la hangarette et au milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre),
- Au contact extérieur de la paroi latérale, pour une hauteur du point de calcul variant de 0 à 4 m, au milieu de l'entreposage des déchets ZT1, au milieu de la longueur de la hangarette et au milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre).

L'évolution mineure de l'entreposage au niveau de la porte permet de s'abstenir de nouveaux calculs à proximité de cette dernière.

4.3.2. Résultats

Le tableau ci-après permet de visualiser les Débits d'Equivalent de Dose, au contact de la paroi intérieure de la hangarette aux différents points de mesure cités ci-dessus.

Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi intérieure de la hangarette			
Hauteur du point de calcul	Localisation 1 : Milieu de l'entreposage des déchets ZT1	Localisation 2 : Milieu de la longueur de la hangarette	Localisation 3 : Milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre).
0	16,25	9,59	5,09
50	16,53	10,29	5,94
100	17,87	11,20	7,59
150	17,42	11,61	8,43
200	17,57	12,14	9,35
250	20,44	14,20	10,83
300	23,13	16,36	11,92
350	25,05	17,55	12,83
400	25,10	17,31	12,44

Les Débits d'Equivalent de Dose sur la paroi intérieure de la hangarette sont inférieures à $26 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le tableau ci-après permet de visualiser les Débits d'Equivalent de Dose, au contact de la paroi extérieure de la hangarette aux différents points de mesure cités ci-dessus.

Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi extérieure de la hangarette			
Hauteur du point de calcul	Localisation 1 : Milieu de l'entreposage des déchets ZT1	Localisation 2 : Milieu de la longueur de la hangarette	Localisation 3 : Milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre).
0	0,29	0,18	0,11
50	0,31	0,19	0,13
100	0,35	0,21	0,16
150	0,34	0,22	0,18
200	0,35	0,23	0,20
250	0,41	0,26	0,23
300	0,46	0,30	0,25
350	0,49	0,32	0,28
400	0,52	0,33	0,28

Les Débits d'Equivalent de Dose sur la paroi extérieure de la hangarette sont inférieures à $0,6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Par comparaison aux résultats présentés au paragraphe 4.2.2.1 et obtenus dans le cadre d'un entreposage exclusif de déchets ZT1 à une distance de 80 cm de la paroi intérieure de la hangarrette, il peut être constaté les points suivants :

- Une réduction du débit d'équivalent de dose lié à l'éloignement des déchets des parois latérales de la hangarrette de par la présence de l'accès pompier de 1,5 m de largeur ; cette réduction atteint 14 à 35% suivant la hauteur du point de mesure pour les points de mesures en face de l'entreposage des déchets ZT1 sur la paroi extérieure de la hangarrette - localisation 1,
- Une réduction du débit d'équivalent de dose lié à l'éloignement des déchets ZT1 sur la partie de la hangarrette au niveau de l'entreposage périphérique des déchets TZ6 moins irradiants (proportion moindre de thorium et de ^{232}Th , radionucléide le plus pénalisant du point de vue irradiant dans les déchets TZ6 que les déchets ZT1), réduction d'autant plus importante suivant l'éloignement des points de mesures des déchets ZT1 entreposés au plus proche de la porte de la hangarrette – Localisation 2 et 3.

Dans le cadre de l'entreposage des déchets thoriés dans ce second scénario, les valeurs constatées conduiraient à une valeur mensuelle cumulée au point le plus irradiant, pour une présence continue de 156 heures (7,8 heures par jour sur 20 jours), à une dose efficace de l'ordre de 80 μSv par mois, soit conforme à une zone réglementée, et attenante à une zone surveillée ou contrôlée (cas de la zone intérieure de la hangarrette), le débit de dose horaire restant largement inférieur à la limite de 7,5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, limite basse du classement en zone contrôlée.

5. CONCLUSIONS

L'étude réalisée a permis de montrer que la zone surveillée sera bien contenue à l'intérieur des bâtiments pour les futurs entreposages dédiés à l'entreposage de colis de déchets radioactifs et situés au niveau de la zone Poulmic.

Dans le cadre du scénario initial (non retenu), les Débits d'Equivalent de Dose au contact de la paroi extérieure de la hangarrette sont inférieures à $0,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ pour des déchets contenant l'alliage ZT1 le plus pénalisant du point de vue irradiation.

Dans le cas d'une présence exclusive de ^{232}Th dans le spectre des déchets, les Débits d'Equivalent de Dose atteindraient une valeur de l'ordre de $1,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à une hauteur de 1,50 m et jusqu'à $1,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ en hauteur (au-dessus des conteneurs 6 m^3 ne disposant pas de couvercle).

Dans le cadre de l'entreposage des déchets thoriés, les valeurs constatées conduiraient à une valeur mensuelle cumulée au point le plus irradiant, pour une présence continue de 156 heures (7,8 heures par jour sur 20 jours), à une dose efficace de l'ordre de $90 \mu\text{Sv}$ par mois. Hors, la zone attenante à la hangarrette ne correspond pas à un poste de travail mais à une zone de passage. Il peut donc être considéré que l'exigence de dose de $80 \mu\text{Sv}$ par mois est respectée, le débit de dose horaire étant largement inférieur à la limite de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Il est à noter que ces estimations de Débits d'Equivalent de Dose sont effectuées pour l'hypothèse majorante d'un entreposage de déchets thoriés au plus proche des parois des hangarrettes. La contribution au Débit d'Equivalent de Dose des déchets périphériques de l'entreposage étant majoritaire (94 % pour les 50 premiers centimètres), il est donc préconisé de procéder à un remplissage progressif de la hangarrette en démarrant par un entreposage le plus loin des parois latérales, soit sur l'axe central longitudinal de la hangarrette, ceci permettant, par l'effet de distance, de limiter l'irradiation à l'extérieur de la hangarrette.

Le Débit d'Equivalent de Dose décroît fortement dès que l'on s'éloigne de la paroi extérieure de la hangarrette, pour atteindre une valeur moitié dès une distance de 3 m. L'exigence de dose de $80 \mu\text{Sv}$ par mois est alors totalement respectée. Une zone d'exclusion autour de la hangarrette pourrait alors être marquée si nécessaire.

Les Débits d'Equivalent de Dose obtenus derrière la porte pleine sont deux fois moindres qu'aux points les plus pénalisants sur la façade latérale de la hangarrette. Il peut donc être considéré que l'exigence de dose de $80 \mu\text{Sv}$ par mois est respectée, le débit de dose horaire étant largement inférieur à la limite de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Il est par contre constaté que les Débits d'Equivalent de Dose augmentent fortement en cas de zone de fuite directe, tout en respectant la limite du débit de dose horaire de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Une attention particulière doit donc être portée sur l'existence de telles zones de fuites et un zonage spécifique pourrait être mis en place afin de respecter les limites réglementaires.

Enfin, la contribution du débit d'équivalent de dose externe lié aux concentrations en radon observées à l'intérieur des hangarrettes peut être considéré comme négligeable à l'extérieur des hangarrettes.

Dans le cadre de l'entreposage des déchets thoriés dans le second scénario (retenu), les valeurs constatées sont moindres, du fait de l'éloignement des déchets des parois latérales de la hangarrette de par la présence de l'accès pompier de 1,5 m de largeur et de l'entreposage périphérique et partiel de déchets TZ6 moins irradiants (proportion moindre de thorium et de ^{232}Th , radionucléide le plus pénalisant du point de vue irradiant dans les déchets TZ6 que les déchets ZT1). Ce second scénario conduit à une valeur mensuelle cumulée au point le plus irradiant, pour une présence continue de 156 heures (7,8 heures par jour sur 20 jours), à une dose efficace de l'ordre de $80 \mu\text{Sv}$ par mois, soit conforme à une zone réglementée et attenante à une zone surveillée ou contrôlée (cas de la zone intérieure de la hangarrette), le débit de dose horaire restant largement inférieur à la limite de $7,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, limite basse du classement en zone contrôlée.

Annexe 6-3 : Etude de l'émanation de radon 222 et 220

DOSEXPERT, Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun, Réf. FOR-CST-004f, 09/09/2020,
17 pages A4

Note : le spectre de déchets établi par le GEA en 2020, comparativement à celui pris en compte dans l'étude n'entraîne pas de modification significative des résultats.

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

Par la société DOSEXPERT

Le 22/03/2020






	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

Table des matières

Mises à jour du document	2
1) Introduction	3
2) Documents de référence	3
3) Hypothèses	4
4) Données d'entrée	4
a. Modélisation d'une filiation radioactive à n corps.....	4
b. Vérification des modélisations.....	6
c. Activités initiales de l'hangarette n°7 ou 8.....	7
5) Application numérique	8
a. Calculs d'émanation du radon 220 et 222 dans l'hangarette n°7 ou 8	8
i. Activité volumique du radon 220 et 222 sans ventilation après une heure.....	8
ii. Cinétique des activités volumiques de Rn-222 et Rn-220 sans ventilation.....	10
iii. Activité volumique de Rn-222 et Rn-220 maximale avec ventilation	12
b. Comparaison avec les mesures réalisées dans la Hangarette n°4 (HG 4)	15
6) Conclusions	16

Mises à jour du document

Date :	Auteur(s)		Réviseurs(s)	
09/09/2020	Nom(s) : Julien RANOUIL	Position(s) : Consultant externe en dosimétrie et radioprotection	Nom(s) :	Fonction(s) :
	Visa : 		Visa :	

	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

Indice	Date	Objet
a	23/04/2019	Création du document par Julien RANOUIL
b	07/05/2019	Prise en compte des remarques du mail de C. Royer du 26/04/2019
c	06/06/2019	Prise en compte des remarques et de nouvelles hypothèses par mail de M. LE BIHAN du 21/05/2019
d	22/03/20	Prise en compte du document 007443-011-CR034-A_CR Démarrage Subséquent 7 2020-01-31
e	14/05/20	Prise en compte des remarques de M. LEBIHAN suite à CT du 06/05/20
f	09/09/2020	Prise en compte des remarques de M.ROYER et M. LEBIHAN suite au mail du 10/07/2020

1) Introduction

En référence au document 000743-022-DE002-D de Bertin technologie, cette note technique a pour but de détailler le calcul de l'émanation de Radon 222 et Radon 220 issus des déchets radioactifs allant être entreposé dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun.


2) Documents de référence

[1] Note technique 1414/DEF/SPRA/DM/BAC/DR du 29/03/2004 - et des données d'activité par composant - ZT1, TZ6 et Rad

[2] Radionucléides et radioprotection – D.Delacroix – J.P. Guerre – P. Leblanc – ED. EDP Sciences 2006

[3] RadDecay® version 6 User's Manual – Grove software

[4] D.C. Kocher. Radioactive Decay Data Tables, A Handbook of Decay Data for Application to Radiation Dosimetry and Radiological Assessments. Oak Ridge, Tennessee. Oak Ridge National

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>FOR-CST-004f</p>
	<p>Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun</p>	

Laboratory Technical Information Center, U.S. Department of Energy. 1981.

[5] Rapport INERIS-IRSN du 14/09/2006 Le radon, synthèse des connaissances et résultats des premières investigations en environnement minier

[6] D. PELLEGRINI, 1997 : Etude de l'émanation du radon à partir de résidus de traitement de minerais d'uranium. Mise en évidence de relations entre le facteur d'émanation et les caractéristiques du matériau. Thèse soutenue à l'U.F.R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté le 04/12/1999, 200 p.

[7] « Radioprotection pratique pour l'industrie et la recherche-sources non scellées » - Hugues Bruchet CEA – EDP sciences – 2009

[8] Mail du SPRA du 11/10/19 relatif au facteur d'émanation du radon des alliages thoriés.

[9] Inventaire des déchets radioactifs de EAR 279 au 31/12/19

[10] 20GEA0004 - Alliages thoriés de Châteaudun

3) Hypothèses


Pour mener ces calculs nous allons prendre les hypothèses suivantes :

- Seul le radon endogène généré par les déchets seront pris en compte. Le radon 222 d'origine géologique et le radon 220 originaire exhalé par les matériaux de construction ne sont pas considérés dans cette étude.
- Les spectres radiologiques des alliages Z1 et TZ6 utilisés sont ceux fournis par le SPRA dans [1]
- Il a été fait le choix de ne négliger aucune période radioactive par rapport à d'autres.
- Les périodes de désintégration radioactives sont issues de [2].
- Les activités initiales autres que celles des radionucléides pères (Th-232 ; Th-230 ; Th-228) sont supposées nulles.
- Les activités initiales les plus pénalisantes sont considérées.
- La répartition des déchets radiologique est identique entre la hangarets 7 ou 8.

4) Données d'entrée

a. Modélisation d'une filiation radioactive à n corps

Dans les cas exposés et d'après [1], 4 segments de filiations radioactives sont étudiées :

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>FOR-CST-004f</p>
	<p>Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun</p>	

- Th-232 → Ra-228 → Ac-228 → Th-228 → Ra-224 → Rn-220
- Th-230 → Ra-226 → Rn-222
- Th-228 – Ra-224 → Rn-220
- Ra-226 → Rn-222

Nous sommes confrontés à des filiations de 2, 3 et 6 corps. Or, dans [3], la solution généralisée permettant de connaître l'activité à un temps t d'un n-ième produit de décroissance est établie avec la nomenclature suivante :

A_n^0 : Activité à t=0 pour le n-ième radionucléide considéré.

R_n : Rapport d'embranchement du n-ième radionucléide considéré

T_n : Période radioactive du n-ième radionucléide considéré

λ_n : Constante radioactive du du n-ième radionucléide considéré valant $\frac{\ln(2)}{T_n}$

Or, dans les segments de filiation considérés :

- seul A_1^0 est non nul, les autres activités initiales A_n^0 avec $n \neq 1$ sont nulles. Les autres membres contenant A_n^0 avec $n \neq 1$ comme facteur sont donc eux aussi nuls.
- Pour les segments de filiations considérés, tous les rapports d'embranchements R_n valent 1

Pour une filiation à 2 corps, cela donne :

$$A_2 = A_1^0 R_1 \lambda_2 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2} \right] + A_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

Voici l'expression de A_2 simplifiée en tenant compte des données d'entrée précédentes :

$$A_2 = A_1^0 \lambda_2 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2} \right]$$

(eq. 1)

Pour une filiation à 3 corps, cela donne :

$$A_3 = A_1^0 R_2 R_3 \lambda_2 \lambda_3 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_1)} \right]$$

$$+ A_2^0 \lambda_3 R_2 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 - \lambda_3} \right] + A_3^0 e^{-\lambda_3 t}$$

:

Voici l'expression de A_3 simplifiée en tenant compte des données d'entrée précédentes :



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des
déchets radiologiques allant être stockés dans les
hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

FOR-CST-004f

$$A_3 = A_1^0 \lambda_2 \lambda_3 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \quad (\text{eq. 2})$$

Pour la filiation à 6 corps, la formule est :

$$A_6 = A_1^0 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 \lambda_6 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_4 - \lambda_1)(\lambda_5 - \lambda_1)(\lambda_6 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2)(\lambda_5 - \lambda_2)(\lambda_6 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_4 - \lambda_3)(\lambda_5 - \lambda_3)(\lambda_6 - \lambda_3)} + \frac{e^{-\lambda_4 t}}{(\lambda_1 - \lambda_4)(\lambda_2 - \lambda_4)(\lambda_3 - \lambda_4)(\lambda_5 - \lambda_4)(\lambda_6 - \lambda_4)} + \frac{e^{-\lambda_5 t}}{(\lambda_1 - \lambda_5)(\lambda_2 - \lambda_5)(\lambda_3 - \lambda_5)(\lambda_4 - \lambda_5)(\lambda_6 - \lambda_5)} + \frac{e^{-\lambda_6 t}}{(\lambda_1 - \lambda_6)(\lambda_2 - \lambda_6)(\lambda_3 - \lambda_6)(\lambda_4 - \lambda_6)(\lambda_5 - \lambda_6)} \right] + A_2^0 \times \dots + A_3^0 \times \dots + A_4^0 \times \dots + A_5^0 \times \dots + A_6^0 e^{-\lambda_6 t}$$

En opérant les simplifications dues aux conditions initiales, nous arrivons à :


$$A_6 = A_1^0 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 \lambda_6 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)((\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_4 - \lambda_1)(\lambda_5 - \lambda_1)(\lambda_6 - \lambda_1))} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2)(\lambda_5 - \lambda_2)(\lambda_6 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_4 - \lambda_3)(\lambda_5 - \lambda_3)(\lambda_6 - \lambda_3)} + \frac{e^{-\lambda_4 t}}{(\lambda_1 - \lambda_4)(\lambda_2 - \lambda_4)(\lambda_3 - \lambda_4)(\lambda_5 - \lambda_4)(\lambda_6 - \lambda_4)} + \frac{e^{-\lambda_5 t}}{(\lambda_1 - \lambda_5)(\lambda_2 - \lambda_5)(\lambda_3 - \lambda_5)(\lambda_4 - \lambda_5)(\lambda_6 - \lambda_5)} + \frac{e^{-\lambda_6 t}}{(\lambda_1 - \lambda_6)(\lambda_2 - \lambda_6)(\lambda_3 - \lambda_6)(\lambda_4 - \lambda_6)(\lambda_5 - \lambda_6)} \right]$$

(eq. 3)

b. Vérification des modélisations

Afin de vérifier de façon objectives les modèles eq. 1 , eq.2 et eq. 3, nous allons réaliser les simulations de décroissance dans les conditions semblables décrites à l'annexe 1 et 3 de [2]. Pour cela nous prendrons comme activité initiale 1 Bq et allons calculer les activités de ²²⁰Rn et ²²²Rn pour t=24 h. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I : Comparaison entre les activités de Rn-220 et Rn-222 calculé par les eq.1 , eq.2 et eq.3 établies ci-dessus et les valeurs présentes dans l'annexe 1 et l'annexe 3 de "Radionucléides et radioprotection" cité en référence [2]

	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

Radionucléide père considéré	A_1^0 [Bq]	Activités calculées à partir des modèles établis en 4)a			Activités issues des annexes 1 et 3 de " radionucléides et radioprotection"		Ecart relatif (%)
		Modèle utilisé	A_{Rn222}^{24h} [Bq]	A_{Rn220}^{24h} [Bq]	A_{Rn222}^{24h} [Bq]	A_{Rn220}^{24h} [Bq]	
^{230}Th	1	Eq. 3	1,01E-07		Aucune valeur disponible		Non disponible
^{228}Th	1	Eq. 2		1,74E-01		1,74E-01	0,01%
^{232}Th	1	Eq. 3		4,30E-09		4,29E-09	0,25%
^{226}Ra	1	Eq. 1	1,66E-01		1,66E-01		0,04%

Avec un écart relatif maximal de 0,25 % sur cet exemple, il est objectivement possible de considérer les modèles eq.1, eq.2 et eq.3 valides.

c. Activités initiales de la hangarète n°7 ou 8

D'après [1], les alliages ZT1, TZ6 à 1,6 % et TZ6 à 1,2 % ont été caractérisés de la façon suivante :

Tableau II : Proportion des isotopes du Thorium dans les alliages ZT1, TZ6 à 1,6 % et à 1,2%

	Th-232	Th-228	Th230
ZT1	49,12%	50,88%	0,00%
TZ6 à 1,6%	28,76%	30,97%	40,27%
TZ6 à 1,2%	12,89%	15,36%	75,79%

Les nouveaux spectres du GEA fournis dans [10] confirment ces données.

Dans l'hangarète n°7 ou 8, les volumes de déchets conditionnés et les activités futures estimées sont présents ci-dessous :


	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

Tableau III : Volume de déchets maximum déchets conditionnés et activités globales de thorium et de radium de la hangarete n°7 ou 8

	Thorium		Radium [m ³]	Total [m ³]
	ZT1	TZ6		
Volume [m³]	430	30	10	465
Activité [Bq]	1,59+10	1,35E+09	1,63E+08	1,73E+10

En prenant les activités globales du thorium et du radium du Tableau III et en appliquant les spectres énoncés au Tableau II, il est possible d'estimer les contributions d'éléments pères tels que le Thorium 232, le throrium-230 et le thorium 230 par alliages.

Tableau IV : Activités initiales des éléments pères générant du radon 220 et 222 par filiation radioactive.


Composant / Source	Radionucléide considéré	Activité initiale [Bq]
TZ6 à 1,6 %*	²³⁰ Th	5,44E+08
TZ6 à 1,2 %*	²³⁰ Th	1,02E+09
TZ6 à 1,6% + ZT1	²²⁸ Th	8,51E+09
ZT1 + TZ6 à 1,6 %*	²³² Th	8,20E+09
Fûts de radium	²²⁶ Ra	9,50E+07

*Etant donné que la répartition d'activité entre le TZ6 à 1,6 % et le TZ6 à 1,2% est inconnue, il a été fait le choix d'utiliser la proportion de radionucléide la plus pénalisante. Par exemple, la proportion de Th-228 retenue est celle du TZ6 à 1,6 % soit 30,97 % contre 15,36% dans le TZ6 à 1,2 %.

5) Application numérique

a. Calculs d'émanation du radon 220 et 222 dans l'hangarete n°7 ou 8

i. Activité volumique du radon 220 et 222 sans ventilation après une heure

	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

En appliquant les modèles du 4)a et les activités initiales établies au 4)c, voici les activités de radon obtenues en ne considérant pour le moment aucune ventilation :

Tableau V : Calculs des émanations futures de Radon 222 et 220 dans la hangarète n°7 ou 8 sans prise en compte de la ventilation

Source/composant	Radionucléide père considéré	Modèle utilisé	A_1^0 [Bq]	A_{Rn222}^{1h} [Bq]	A_{Rn220}^{1h} [Bq]
TZ6 à 1,6 %	^{230}Th	Eq. 2	5,44E+08	1,01E-01	
TZ6 à 1,2 %	^{230}Th	Eq. 2	1,02E+09	1,91E-01	
TZ6 à 1,6%	^{228}Th	Eq. 2	8,51E+09		6,61E+07
ZT1 + TZ6	^{232}Th	Eq. 3	8,20E+09		1,57E-04
Fût de radium	^{226}Ra	Eq. 1	1,86E+07	1,40E+05	
			Total	1,40E+05	6,61E+07

Sans ventilation et au bout d'une heure, 140 kBq de ^{222}Rn et 66 MBq de ^{220}Rn sont produits.

Nous supposons que ces activités soient réparties de façon homogène dans le volume de la hangarète n°7 ($V=4800 \text{ m}^3$) au bout d'une heure. Il est pris comme facteur d'émanation, tels que défini dans [5] celui de la matrice la plus semblable à celle des alliages et des composants de notre étude : $E = 0,40$ pour roches et minéraux. L'ensemble des facteurs d'émanations disponibles dans le Tableau VI.


Tableau VI : Facteurs d'émanation du radon de différentes matrices établis dans l'étude de Pellegrini et al de 1997 [6]

	Facteur d'émanation			
	min.	max.	moy.	
Sols	0,01 0,05	0,5 0,32	0,1 0,2	synthèse bibliographique sols désagrégés saturés ($\phi < 2 \text{ mm}$)
Roches et minéraux	< 0,01	0,40	0,08	roches concassées - synthèse bibliographique
Charbon	< 0,01	0,4		0-40 % de teneur en eau ($\phi < 1 \text{ mm}$)
Minerais d'uranium:	0,02	0,55		concassés secs et saturés ($\phi_{90\%} < 75 \mu\text{m}$) minerais concassés ($\phi < 400 \mu\text{m}$)
	0,02	0,26		
	0,03	0,18		
Résidus de traitement de minerais d'uranium	0,07	0,31		secs et saturés ($\phi_{90\%} < 75 \mu\text{m}$) secs
	0,09	0,27		
	0,10	0,12		
Matériaux de construction	< 0,01	0,3	0,05	synthèse bibliographique
	0,02	0,1	0,04	briques d'argile
	0,1	0,4	0,15	béton
	0,02	0,03		ciment

L'activité volumique A_v au bout d'une heure sans ventilation sera donc pour le Radon 222 et le Radon 220 :

$$A_{vRn222}^{1h} = \frac{A_{Rn222}^{1h} \text{totale} \times E}{V} \text{ et } A_{vRn220}^{1h} = \frac{A_{Rn220}^{1h} \text{totale} \times E}{V}$$

Par application numérique des résultats consignés au Tableau V, nous obtenons :

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>FOR-CST-004f</p>
	<p>Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarètes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun</p>	

$$A_{vRn222}^{1h} = 11,7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ et } A_{vRn220}^{1h} = 5,51 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Or, le SPRA a émis une réserve quant à l'utilisation du facteur d'émanation précédent et préconise l'utilisation du facteur d'émanation de 0,05 :

$$A_{vRn222}^{1h} = 1,46 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ et } A_{vRn220}^{1h} = 0,69 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

ii. Cinétique des activités volumiques de Rn-222 et Rn-220 sans ventilation

En appliquant les modèles du 4)a, les activités initiales établies au 4)c et le calcul de l'activité volumique expliqué au 5)a.ii, voici les activités de radon 222 et 220 fonction du temps obtenues en ne considérant pour le moment aucune ventilation :

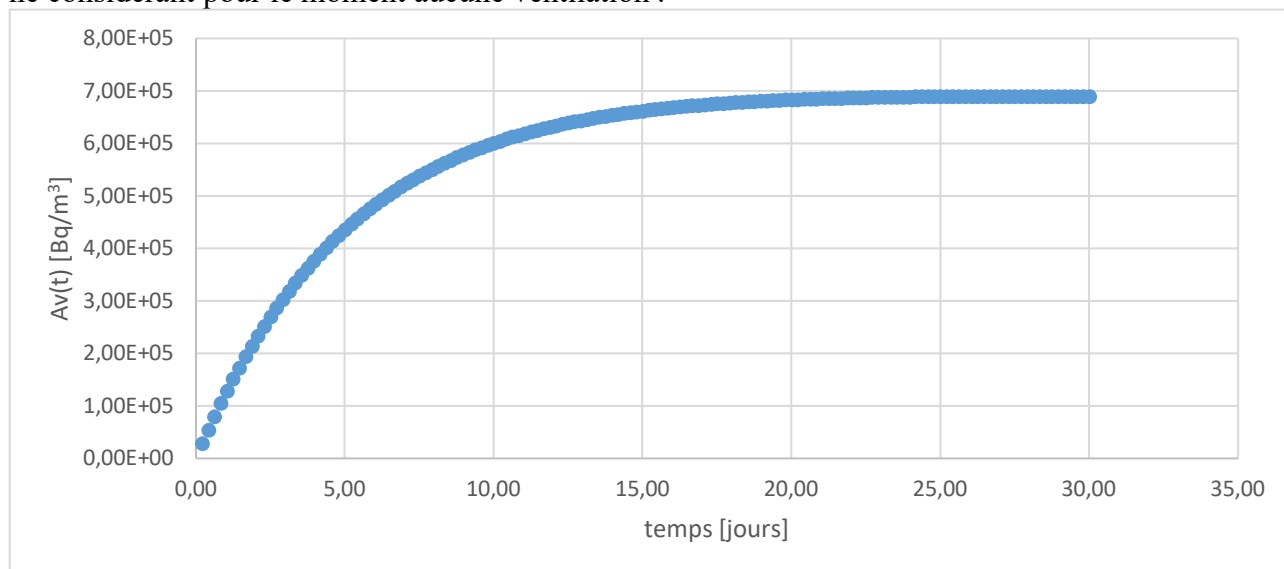


Figure 1: *Activité volumique totale de radon 220 [Bq/m³] en fonction du temps sans ventilation dans la hangarète n°7 ou 8 avec E=0,40*



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des
déchets radiologiques allant être stockés dans les
hangarrettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

FOR-CST-004f

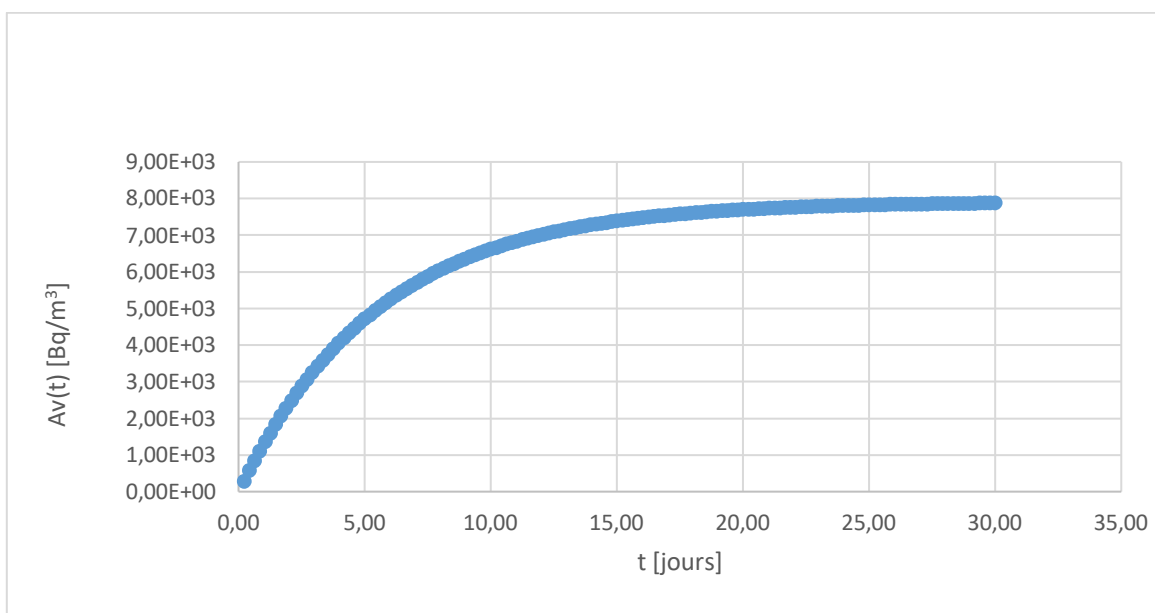


Figure 2 : Activité volumique totale de radon 222 [$Bq \cdot m^{-3}$] en fonction du temps sans ventilation dans la hangarrette n°7 avec $E=0,40$

Si l'on applique le facteur d'émanation proposé par le SPRA, $E=0,05$, nous obtenons les cinétiques suivantes :

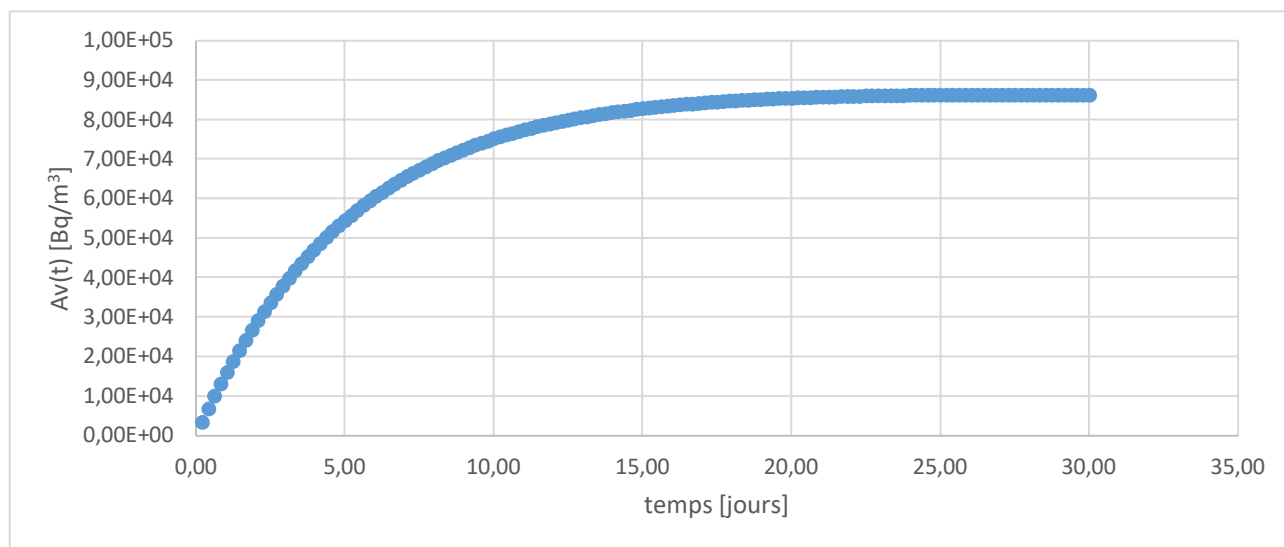



Figure 3: Activité volumique totale de radon 220 [Bq/m^3] en fonction du temps sans ventilation

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>FOR-CST-004f</p>
	<p>Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarrettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun</p>	

dans la hangarette n°7 avec E=0,05

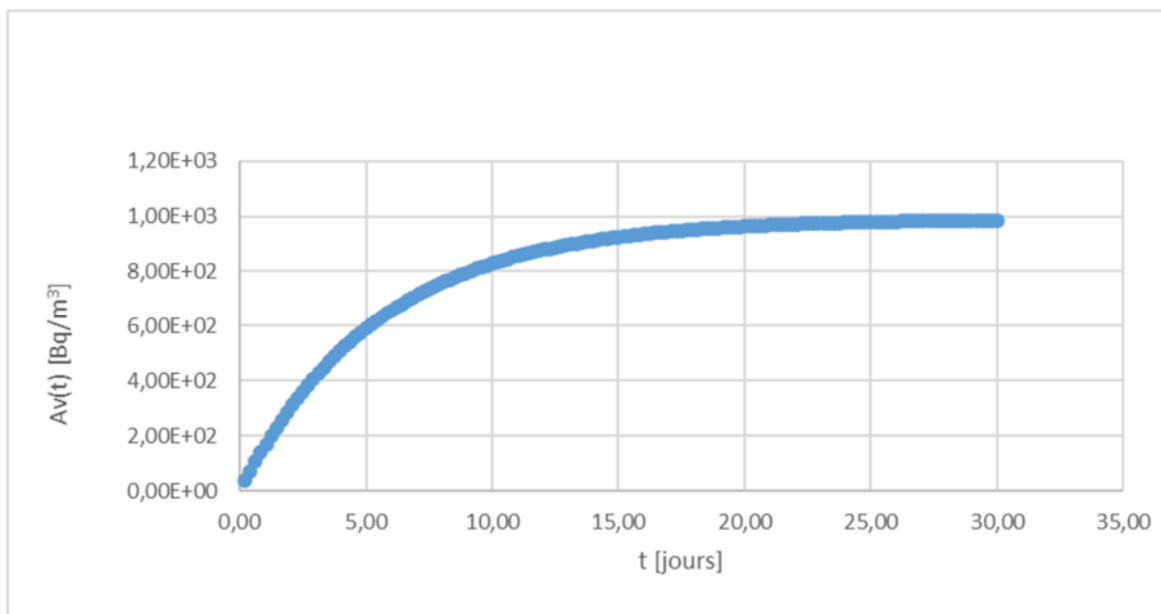


Figure 4: Activité volumique totale de radon 222 [Bq.m-3] en fonction du temps sans ventilation dans la hangarette n°7 avec E=0,05

iii. Activité volumique de Rn-222 et Rn-220 maximale avec ventilation

Pour connaître l'activité volumique de radon 220 et 222 extraite lorsque la ventilation est opérationnelle, il est possible de supposer que nous sommes dans un local ventilé avec une fuite constante comme décrit dans [7]. L'activité volumique peut se modéliser de cette façon :

$$A_{h \text{ Rn}222} = \frac{A_h E}{Q} (1 - e^{-Rt}) \text{ et } A_{h \text{ Rn}220} = \frac{A_h E}{Q} (1 - e^{-Rt})$$

Avec :

- Q le débit d'extraction valant 1500 m³.h⁻¹
- V le volume en m³
- E : le facteur d'émanation introduit au chapitre 5)a.i .
- $R = \frac{Q}{V}$, le taux de renouvellement en h⁻¹
- A_h : les activités totales de Rn-220 et Rn-222 produites en 1 heures pouvant être assimilées aux débits de fuites continus . Elles ont été déterminées dans 5)a .



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des
déchets radiologiques allant être stockés dans les
hangarettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

FOR-CST-004f

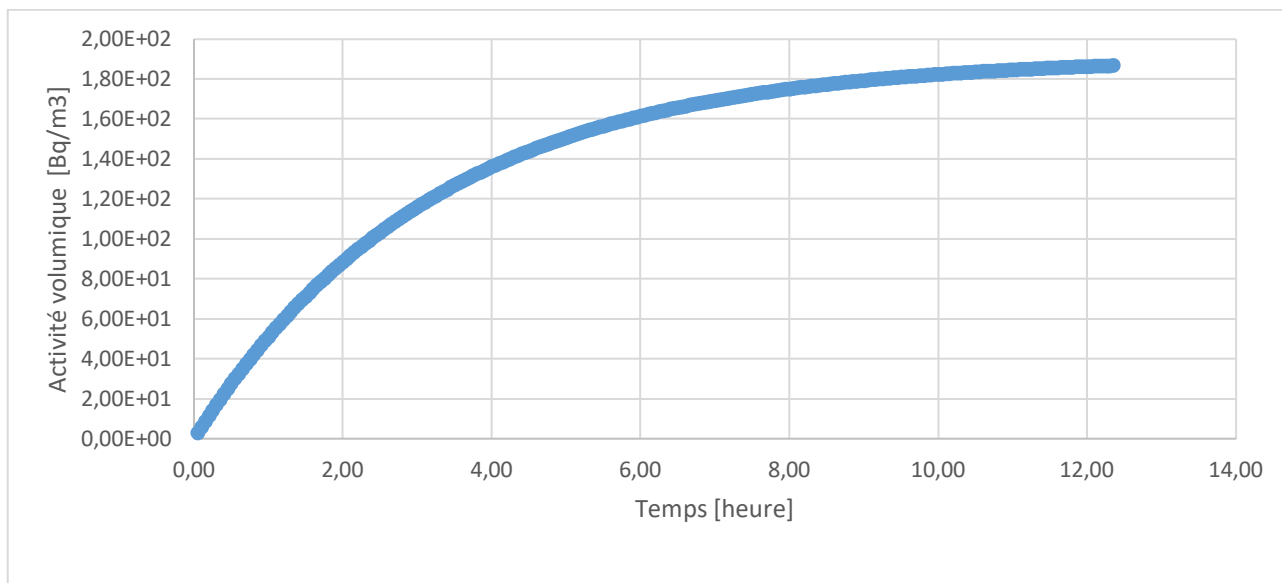


Figure 5 : Activité volumique du radon 222 avec extraction d'air de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans la hangarette n°7 ou 8 avec $E=0,4$

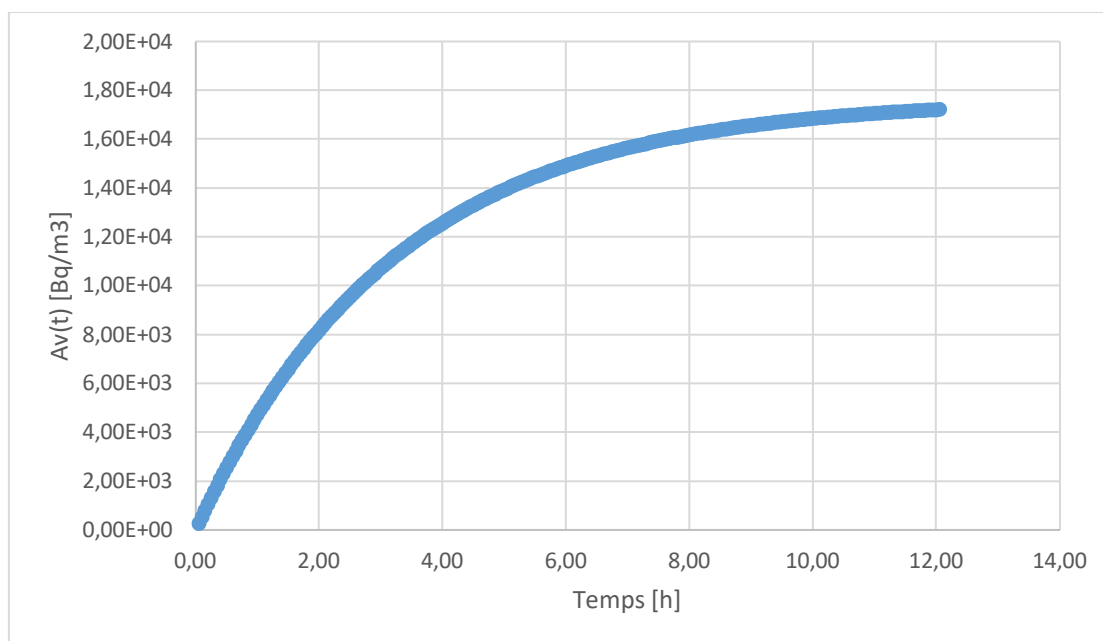


Figure 6 : Activité volumique du radon 220 avec extraction d'air de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans la hangarette n°7 avec $E=0,4$



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des
déchets radiologiques allant être stockés dans les
hangarrettes 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

FOR-CST-004f

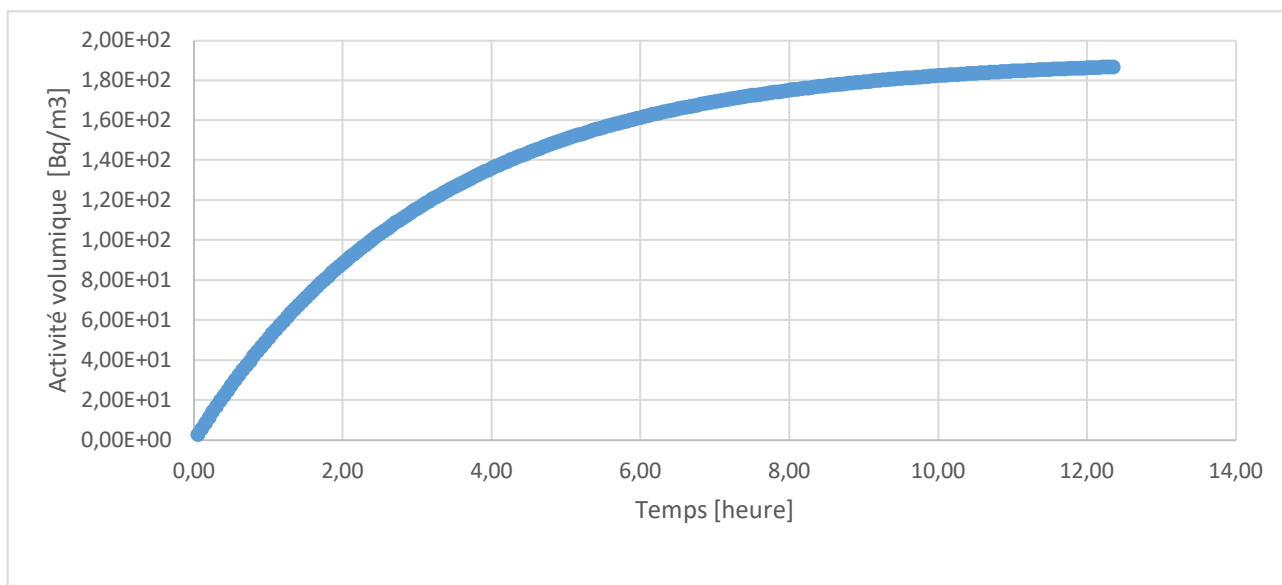


Figure 7: Activité volumique du radon 222 avec extraction d'air de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans la hangarrette n°7 avec $E=0,05$

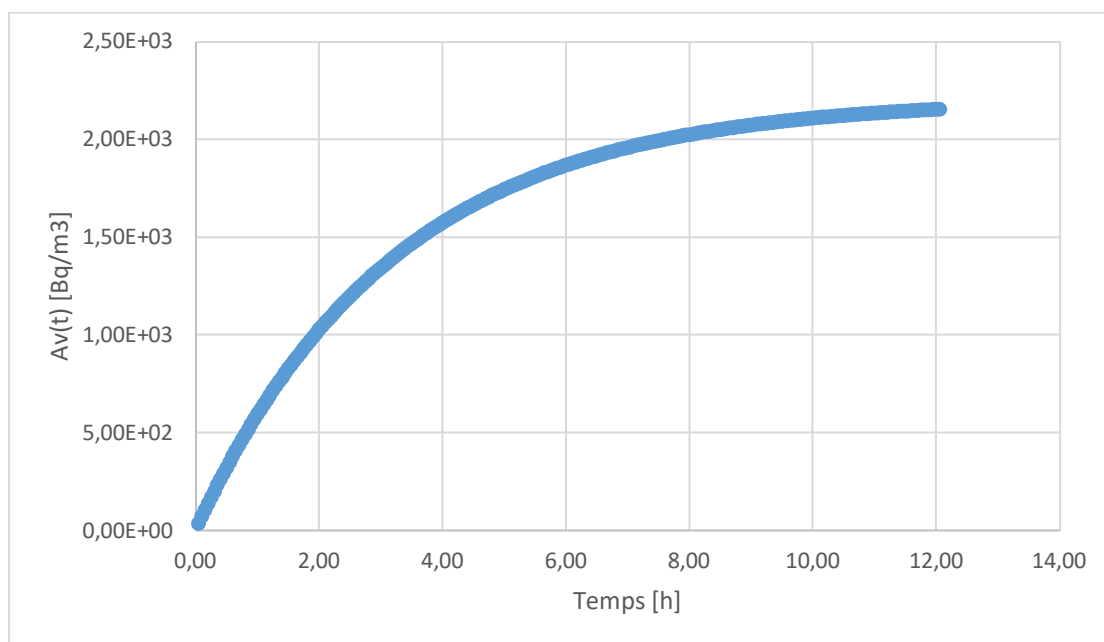



Figure 8: Activité volumique du radon 220 avec extraction d'air de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans la hangarrette n°7 avec $E=0,05$

	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	FOR-CST-004f
	Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun	

L'activité maximale dans l'hangarett est l'équation de l'asymptote quand $t \rightarrow \infty$ c'est-à-dire quand $e^{-Rt} \rightarrow 0$. Soit :

$$A_{v \max Rn222 \text{ ext}} = \frac{A_{Rn222 \text{ totale}}^{1h} \times E}{Q} \text{ et } A_{v \max Rn220 \text{ ext}} = \frac{A_{Rn220 \text{ totale}}^{1h} \times E}{Q}$$

Par application numérique, nous trouvons pour $E=0,4$:

$$A_{vRn222 \max} = 194,15 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ et } A_{vRn220 \max} = 17,65 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Par application numérique, nous trouvons pour $E=0,05$:

$$A_{vRn222 \max} = 24,24 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ et } A_{vRn220 \max} = 2,20 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$$


Ces valeurs sont aussi celles des activités exfiltrées par heures.

b. Comparaison avec les mesures réalisées dans la Hangarett n°4 (HG 4)

Les mesures réalisées sur un mois avec l'Alphaguard ont mis en évidence des concentrations moyennes de l'ordre de 7164 Bq/m³ en Rn 220 et 482 Bq/m³ dans la HG 4. Ces mesures ont été réalisées sans régime ventilatoire et en régime permanent.

Voici un tableau récapitulatif des activités théoriques calculés précédemment dans HG7 sans ventilation en fonction des facteurs d'émanation, les activités présentes dans HG4 d'après [9].

	Emanatio n	Calcul théorique	Activité mesurée dans HG4	Ratio entre les activités HG 4 et HG7 future	Activité extrapolée dans HG4 à partir du ratio entre HG 4 et HG 7	Ratio entre l'activité volumique extrapolée et les activités calculées théoriquement.
Av_Rn220 [Bq/m3]	0,4	6,90E+05	7,16E+03	2,81	2,01E+04	34,3
	0,05	8,62E+04				4,3
Av_Rn222 [Bq/m3]	0,4	7,89E+03	4,82E+02	7,14	3,44E+03	16,4
	0,05	9,86E+02				0,3

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>FOR-CST-004f</p>
	<p>Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des déchets radiologiques allant être stockés dans les hangarées 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun</p>	

Ces résultats montrent que :

- Etant donné les ratios calculés, le facteur d'émanation proposé par le SPRA s'avère plus pertinent que le facteur d'émanation proposé initialement.
- Les calculs théoriques et les mesures réalisées sur le HG 4 convergent vers une activité volumique maximale de l'ordre d'un ordre de grandeur de la dizaine de kBq.m^{-3} sans ventilation.
- L'activité volumique dans le HG 7 ou 8 avec une ventilation de $1500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ serait de l'ordre du kBq.m^{-3}

6) Conclusions

A l'issue de cette étude, voici les conclusions tirées :



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Etude de l'émanation de radon 222 et 220 issus des
déchets radiologiques allant être stockés dans les
hangarets 7 et 8 de la base aérienne de Châteaudun

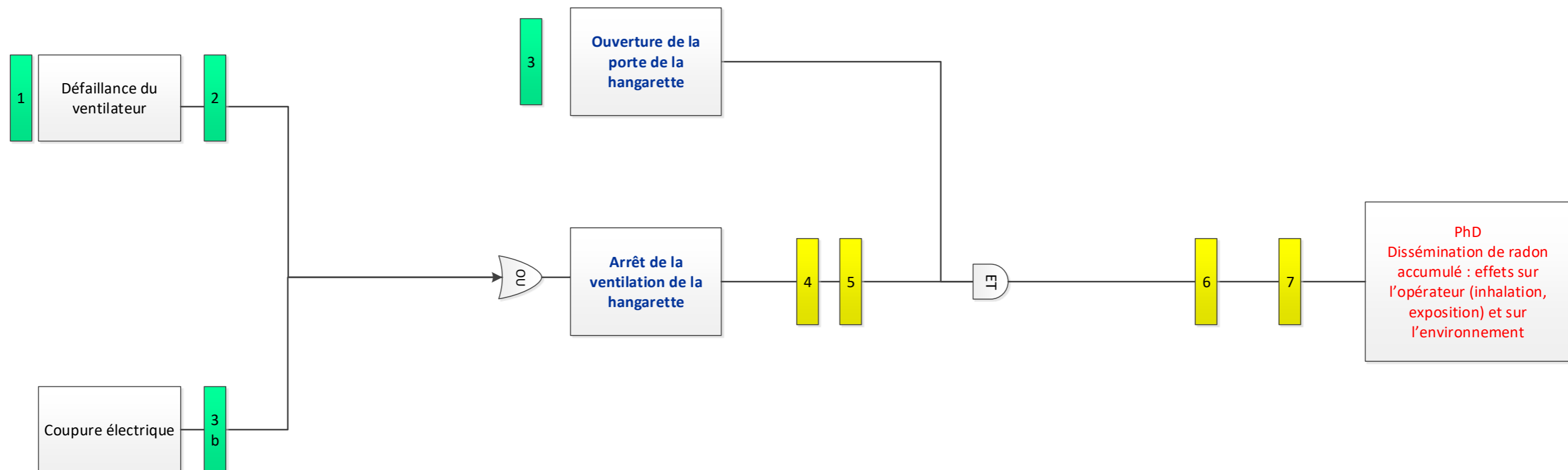
FOR-CST-004f

		Situation normale :	Situation incidentelle :
		Ventilation opérationnelle à 1500 m ³ .h ⁻¹	Sans ventilation
Hangarets n°7 ou 8	Personnel	<p>L'activité volumique de Rn-222 est en permanence dessous du niveau de référence de 300 Bq/m³ Art. R. 4451-15. Le risque lié au Rn-222 est maîtrisé.</p> <p>Cependant, l'activité volumique de Rn-220 dépasse le kBq.m⁻³ après la première heure et a pour ordre de grandeur du kBq.m⁻³</p> <p>Dans l'état actuel, le port d'un appareil respiratoire isolant avec adduction d'air est préconisé pour une intervention dans ces conditions quelque soit la durée d'intervention.</p> <p>La publication de l'arrêté du 28 janvier 2020 modifiant l'arrêté du 15 mai 2006 sur le zonage ne modifie en rien ces conclusions</p>	<p>En quelques heures, les activités volumiques de Rn-220 et Rn-222 atteignent respectivement le kBq.m⁻³ des niveaux de plusieurs dizaines de kBq.m⁻³</p> <p>Le port d'un appareil respiratoire isolant avec adduction d'air est préconisé pour une intervention dans ces conditions quelque soit la durée d'intervention.</p> <p>La hangarete devra être considérée comme une zone « radon » au sens de Art. R. 4451-23 introduite par le décret n°2018 – 427 et la surveillance dosimétrique passive devra être obligatoire.</p> <p>La publication de l'arrêté du 28 janvier 2020 modifiant l'arrêté du 15 mai 2006 sur le zonage ne modifie en rien ces conclusions</p>
	Environnement	<p>Les activités volumiques de Rn-222 rejetées sont du même ordre de grandeur de l'activité volumique de Rn-222 présente dans l'atmosphère à altitude 0 dans une région à potentiel radon faible.</p> <p>L'activité volumique rejetée de Rn-220 est de l'ordre du kBq.m⁻³. Celle-ci est considérable. Cependant, cette étude ne permet pas de présager si ce rejet est une nuisance à l'environnement ou non</p>	



Annexe 6-4 : Nœud papillon, Arrêt de la ventilation de la hangarette 0086 ou 0087 (HG7 ou 8)

1 page, A3



Liste des barrières de prévention mises en œuvre dans le nœud papillon

- 1 : maintenance préventive
- 2 : remontée de défaut moteur chez les pompiers
- 3 : consigne d'ouverture de la porte (vérification préalable du fonctionnement du ventilateur)
- 3b : groupe électrogène Poulmic (à démarrage automatique) et/ou groupe électrogène mobile

Liste des barrières de protection mises en œuvre dans le nœud papillon

- 4 : rondes régulières tous les 4 jours maximum
- 5 : maintenance corrective (moteur et courroie en pièces de rechange)
- 6 : personnel habilité (cat B) - Suivi dosimétrique et médical de l'opérateur
- 7 : surveillance de l'environnement (air, eaux, sols)

Légende

- Ei Intitulé de l'événement initiateur
- Barrière de prévention
- Barrière de protection
- × Branche non retenue
- ERC Evènement Redouté Central
- PhD Phénomène dangereux



Annexe 6-5 : Etude de poste

Note N°104/ARM/BA123/EAR279/ABMR0C123/PCR du 18 mai 2020, 13 pages A4



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DES ARMÉES



BASE AÉRIENNE 123
COMMANDANT PAOLI
ÉLÉMENT AIR RATTACHÉ 279
CHATEAUDUN

Antenne du bureau maîtrise des
risques 0C123

Châteaudun, le 18 mai 2020

N° 104/ARM/BA123/EAR279/ABMR0C123/PCR

Dossier suivi par :

TSEF1C Lionel Le Bihan

ETUDE DE POSTE DE TRAVAIL

CONTRÔLES TECHNIQUES DE RADIOPROTECTION SUR LES INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE DES DÉCHETS RADIOACTIFS - ABRIS AVIONS N° 7 ET 8

1. CONTEXTE

Par la décision n° 75193/DEF/CAB/C2C du 08 juin 2010, le cabinet du ministre faisait savoir que la base aérienne 279 de Châteaudun était retenue pour accueillir l'entreposage des déchets thoriés de faible activité à vie longue en provenance des trois armées et de la DGA et ceci en attendant une reprise par l'ANDRA.

Ces déchets sont actuellement entreposés hangare n° 4 sur des palettes avion pour les carters centraux et les ½ carters ou dans des containers métalliques pour les petites pièces et les EPI. Afin de se conformer à l'arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives deux abris avions (n° 7 et 8) ont été aménagés afin d'entreposer ces déchets dans des conditions optimales. Dans le cadre de l'arrêté du 21 mai 2010 relatif aux modalités techniques et les périodicités des contrôles des sources radioactives, cette installation d'entreposage devra faire l'objet d'un certain nombre de vérification périodique. Cette étude de poste a pour but de définir les modalités d'exécution de ces différentes vérifications afin de protéger le personnel. Ces vérifications seront essentiellement réalisées par le conseiller radioprotection de la BA 123 en ce qui concerne les contrôles techniques internes de radioprotection et par la division contrôle du SPRA (Service de Protection Radiologique des Armées) en ce qui concerne les contrôles externes.

Cette étude de poste s'appuie sur les résultats des différentes études déjà réalisées au niveau de la hangarette n° 4 ainsi que sur les rapports de modélisation du débit de dose et de l'émanation de radon issus des déchets radioactifs. Les différents calculs sont effectués en partant du principe que les hangarettes contiennent chacune 450 m³ de déchets radioactifs. La quantité de déchets à entreposer étant de 900 m³ au maximum

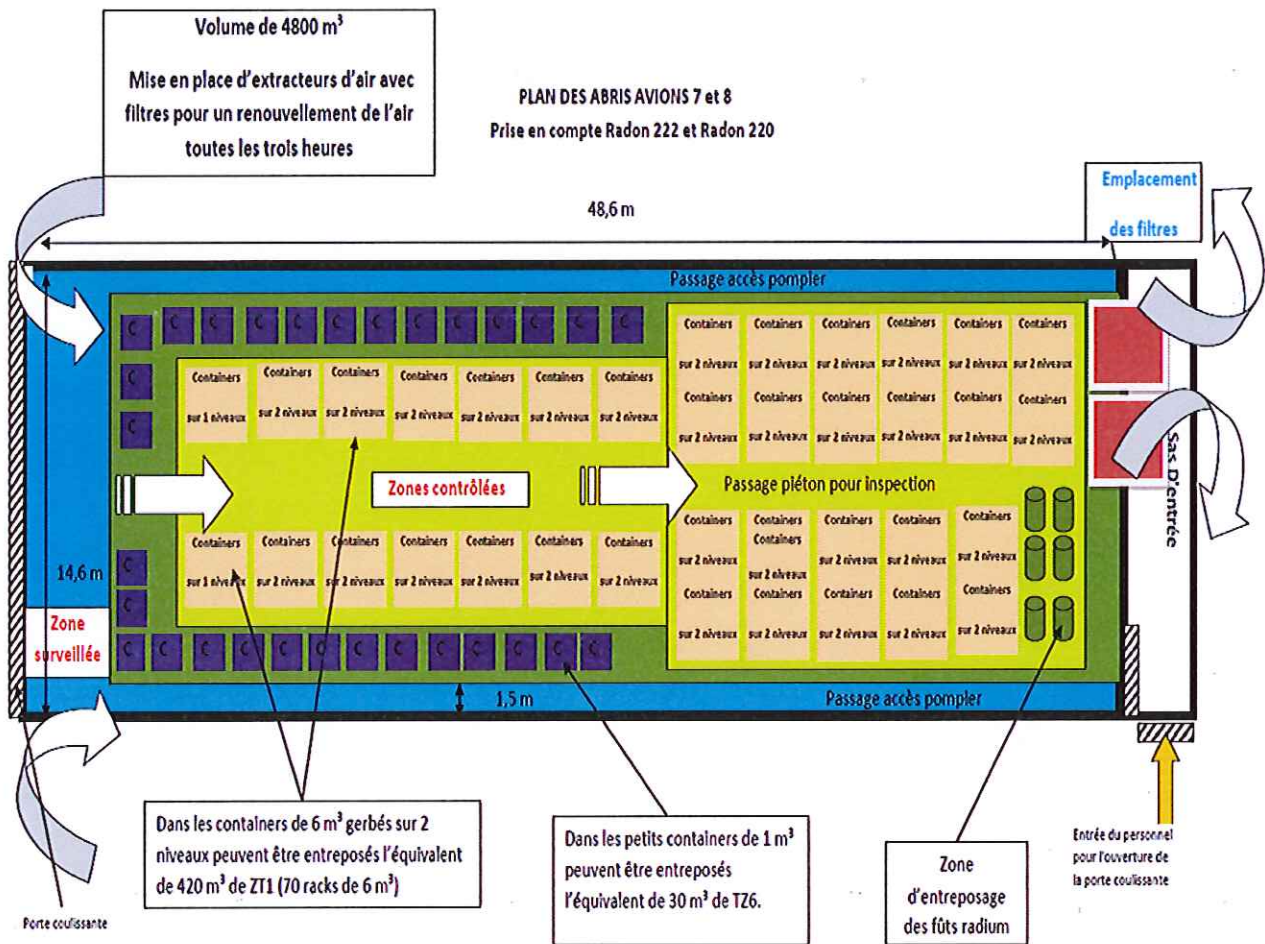
Cette étude de poste ne prend en compte que les risques d'exposition du personnel au cours des contrôles techniques internes ou externes. Lors du fonctionnement des installations, des pannes peuvent survenir. Comme le prévoit l'Article 4 de l'arrêté du 23 juin 2015, l'exploitant définit et décrit dans un document maintenu à jour une politique de prévention des accidents. La politique de prévention des accidents ou des risques comprends les objectifs et les principes d'action généraux de l'exploitant en ce qui concerne la maîtrise des risques d'accidents et fera l'objet d'un document particulier.

Cette étude de poste est effectuée conformément à l'article R 4451-11 du code du travail et suivant le guide pratique de l'IRSN relatif aux études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

2. PRESENTATION DU POSTE DE TRAVAIL



Abri avion utilisé pour l'entreposage des déchets radioactifs



Plan d'aménagement d'un abri avion

Un passage d'accès pompier d'une largeur de 1,5 m sur la périphérie intérieure de chaque hangarette est créé. Les déchets TZ6 sont entreposés sur une seule moitié de la longueur de l'abri et un passage piéton est créé au centre de l'abri avion afin de réaliser une inspection visuelle des colis.



Racks et containers d'entreposage des déchets

3. CONTRÔLES TECHNIQUES DE RADIOPROTECTION

3.1 Nature des contrôles

Les contrôles techniques de radioprotection ont pour but de s'assurer notamment de :

- la bonne organisation de la radioprotection au sein de l'organisme ;
- la cohérence de la délimitation du zonage radiologique ;
- la cohérence de la délimitation du zonage déchets ;
- la conformité des mesures de débit de dose par rapport aux niveaux théoriques de rayonnement des différents déchets entreposés ;
- la vérification du taux de contamination atmosphérique au poste de travail ;
- la signalisation et l'affichages des consignes des zones réglementées ;
- l'absence de contamination ou en cas de contamination de l'existence de moyens de décontamination adaptés ;
- le respect des conditions de ventilation ;
- l'efficacité des dispositifs de protections collectives et individuelles ;
- la vérification de l'intégrité des colis.

3.2 Périodicité et durée des contrôles

Le programme des contrôles techniques de radioprotection est défini par le conseiller radioprotection de l'établissement avec :

- deux contrôles techniques internes semestriels effectués par la PCR ;
- un contrôle technique externe effectué par un organisme agréé (généralement le SPRA) ;
- des mesures mensuelles de débit de dose ;
- des mesures mensuelles de non contamination par frottis ;
- des relevés mensuels de la contamination atmosphérique.

La durée de ces contrôles, mesures et relevés est estimée à 1 heure par mois et par hangarette. Le temps de présence du contrôleur sur une année est donc estimé à 24 heures toutes vérifications confondues.

4. EVALUATION DES RISQUES ET DOSES ASSOCIEES

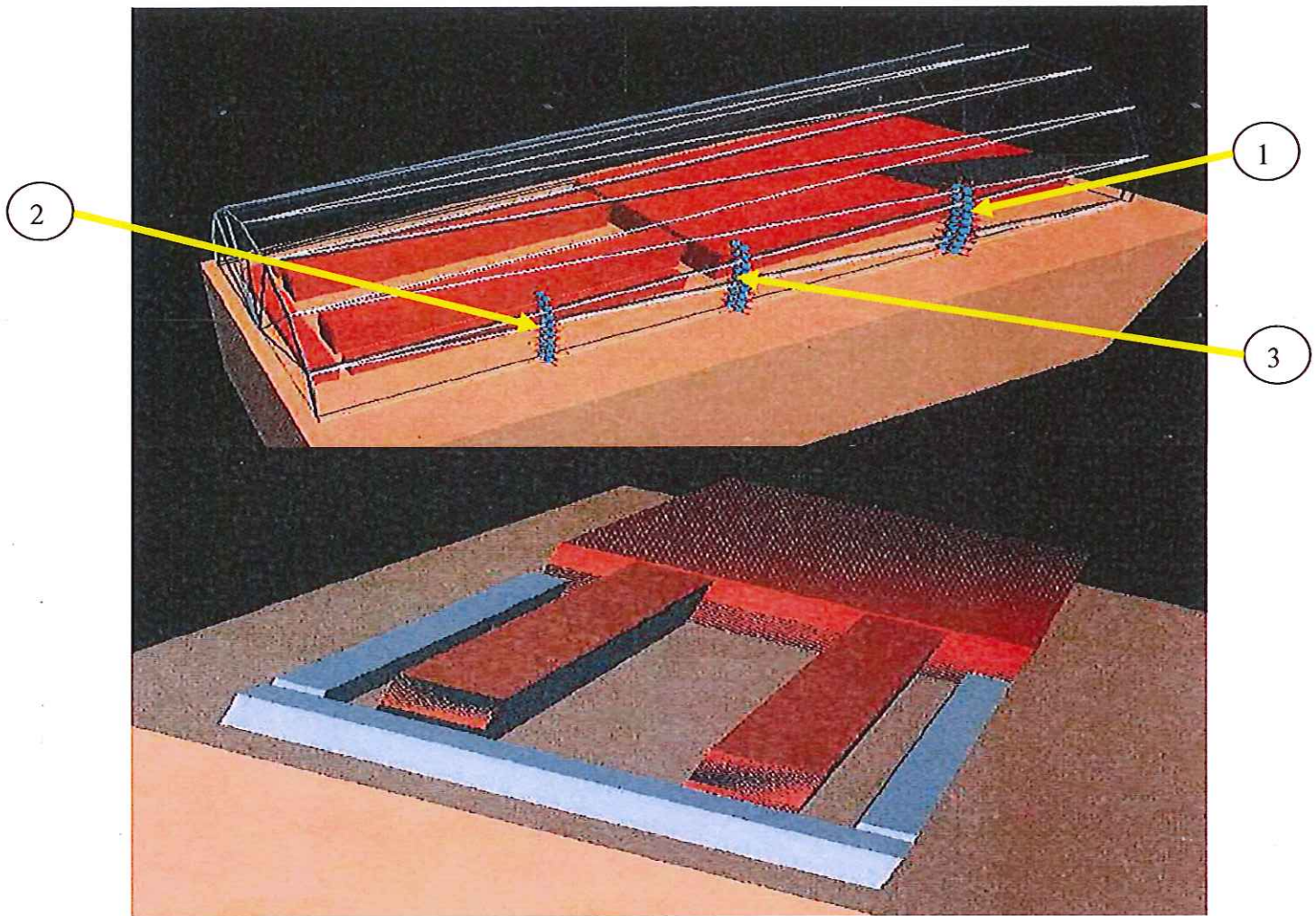
4.1 Irradiation

Pour des raisons de pratique opérationnelle, il est commode de mesurer le **débit d'équivalent de dose** (couramment appelé débit de dose). Il correspond à la dose délivrée pendant l'unité de temps. Il s'exprime en Sievert par heure. Cette mesure s'effectue avec un radiamètre.

Exemple : une personne qui séjourne dans une ambiance de 1 mSv/h pendant 2 heures aura intégré une dose de 2 mSv.

Une étude a été réalisée par la société INGEROP afin de modéliser le débit de dose au niveau d'un bâtiment d'entreposage contenant l'équivalent de 450 m³ de déchets radioactifs.

Les points de calcul présentés sur la figure ci-dessous sont positionnés au contact de la paroi intérieure et au contact de la paroi extérieure, au milieu de l'entreposage des déchets ZT1 (1), au milieu de l'entreposage TZ6 (2) et pour finir au milieu de la longueur de la hangarette (3) correspondant à la limite d'entreposage en ZT1 et TZ6 .



Les résultats des Débits d'Equivalent de dose, au contact de la paroi intérieure d'une hangarette aux différents points de mesure :

Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) au contact de la paroi intérieure de la hangarette			
Hauteur du point de calcul	Localisation 1 : Milieu de l'entreposage des déchets ZT1	Localisation 2 : Milieu de la longueur de la hangarette	Localisation 3 : Milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre).
0	16,25	9,59	5,09
50	16,53	10,29	5,94
100	17,87	11,20	7,59
150	17,42	11,61	8,43
200	17,57	12,14	9,35
250	20,44	14,20	10,83
300	23,13	16,36	11,92
350	25,05	17,55	12,83
400	25,10	17,31	12,44

En complément, le tableau ci-dessous permet de visualiser les débits d'Equivalent de Dose, au contact de la paroi extérieure aux différents points de mesure.

Débit d'Equivalent de Dose (en $\mu\text{Sv.h}^{-1}$) au contact de la paroi extérieure de la hangare			
Hauteur du point de calcul	Localisation 1 : Milieu de l'entreposage des déchets ZT1	Localisation 2 : Milieu de la longueur de la hangare	Localisation 3 : Milieu de l'entreposage des déchets TZ6 (en périphérie) et ZT1 (vers le centre).
0	0,29	0,18	0,11
50	0,31	0,19	0,13
100	0,35	0,21	0,16
150	0,34	0,22	0,18
200	0,35	0,23	0,20
250	0,41	0,26	0,23
300	0,46	0,30	0,25
350	0,49	0,32	0,28
400	0,52	0,33	0,28

Pour rappel, ces calculs ont été réalisés avec 450 m^3 de déchets dans une seule hangare. Dans le cadre de l'entreposage des déchets thoriés dans cette configuration, les valeurs obtenues conduisent à une valeur mensuelle cumulée à hauteur d'homme, pour une présence continue de 156 heures (7,8 heure/jour sur 20 jours) à une dose efficace bien inférieure à $80 \mu\text{Sv}$ par mois, correspondant à la limite de la zone surveillée. Il ne sera donc pas nécessaire de matérialiser une zone surveillée à l'extérieur des abris avion.

Les mesures réalisées à l'aide d'un radiamètre au milieu des racks déjà entreposés au niveau de la hangare n° 4 indiquent des débits de dose pouvant aller jusqu'à $44 \mu\text{Sv/h}$. Il est à noter que les containers se faisant écran entre eux cette valeur n'est pas susceptible d'évoluer.

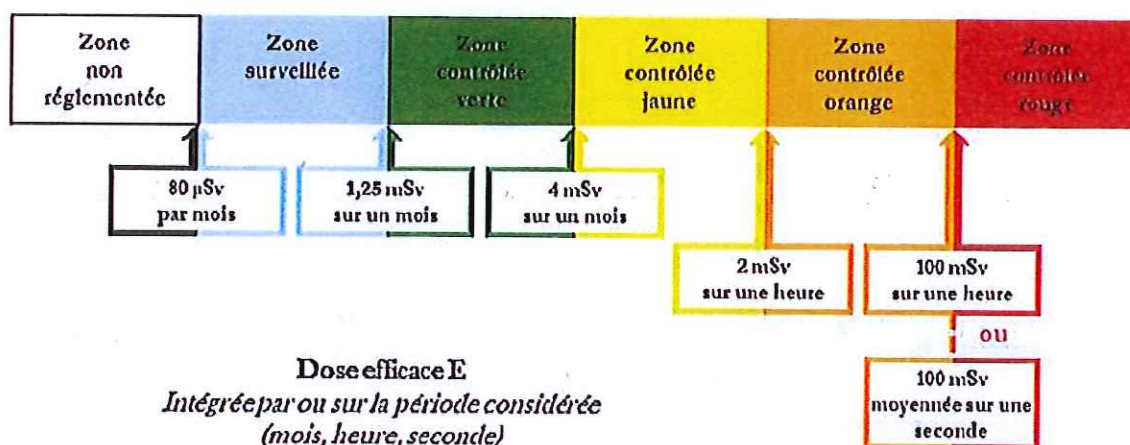
La dose efficace **corps entier** est estimée à :

$$44 \times 24 = 1,056 \text{ mSv}$$

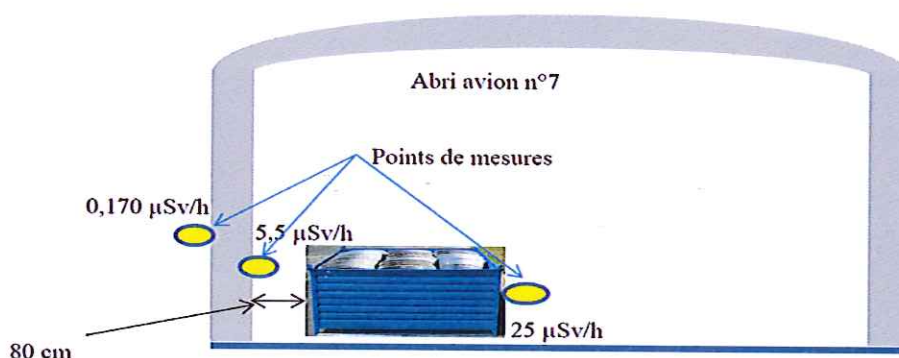
(24 h : temps d'exposition estimé à la réalisation des contrôles sur les deux hangarettes pour une année)

($44 \mu\text{Sv/h}$: débits de dose maxi au milieu des racks)

4.2 Zones réglementées



De son côté l'EAR 279, a positionné au niveau de la hangarrette n° 7 un rack contenant 27 demi-carters pour une activité estimée à 291,6 MBq, voir figure ci-dessous :



Le débit d'équivalent de dose au contact du container est de 25 µSv/h, le débit de dose au contact du mur intérieur à 80 cm du rack est de 5,5 µSv/h.

En reprenant la formule relative à la loi d'atténuation : $D = D_p \times B_d \times e^{-\mu x}$

D : débit de dose à l'extérieur de l'abri avion

D_p : débit de dose au contact du mur intérieur 5,5 µSv/h

B_d : facteur d'atténuation 1 pour le zinc et 7 pour le béton

μ : coefficient d'atténuation linéique en cm^{-1} c'est-à-dire 0,302 cm^{-1} pour le zinc et 0,103 cm^{-1} pour le béton

Les résultats sont les suivants :

$$D = 5,5 \times 1 \times e^{-0,302 \times 0,2} = 5,17 \text{ µSv/h (derrière 2 mm de zinc)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 40} = 0,48 \text{ µSv/h (au contact du mur extérieur avec 40 cm de béton - partie la plus fine du mur)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 80} = 0,009 \text{ µSv/h (au contact du mur extérieur avec 80 cm de béton - partie la plus épaisse du mur)}$$

$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,103 \times 60} = 0,07 \text{ µSv/h (au contact du mur extérieur en prenant une épaisseur moyenne du mur de 60 cm)}$$

De plus en ce qui concerne le coefficient d'atténuation linéique du béton pour une énergie de 2,6 Mev et au regard du livre Personne Compétente en Radioprotection-Principes de radioprotection-réglementation (EDP Sciences version 2007) on obtient 0,090 cm^{-1} .

C'est pourquoi en reprenant le calcul avec cette valeur et avec une épaisseur moyenne du mur de 60 cm on obtient :

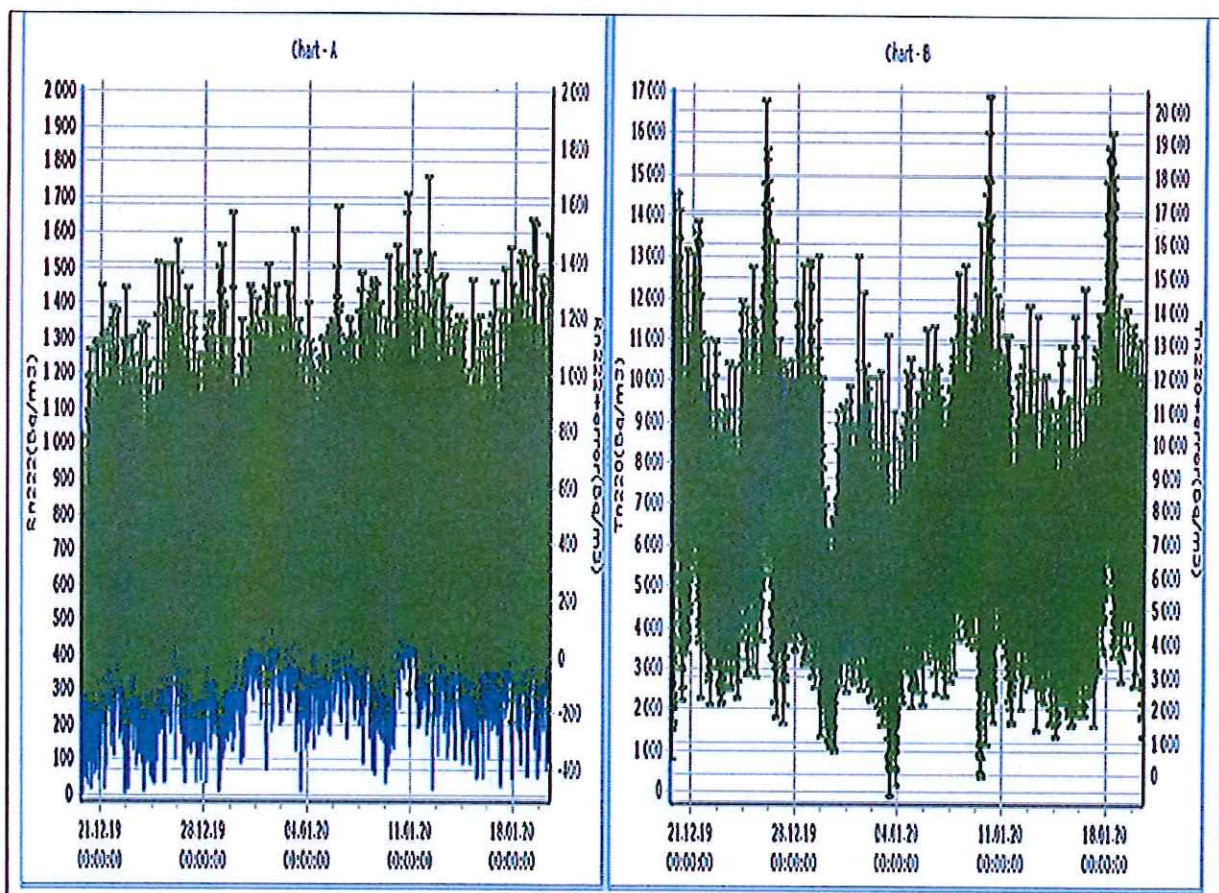
$$D = 5,17 \times 7 \times e^{-0,09 \times 60} = 0,163 \text{ µSv/h}$$

Ce résultat purement théorique correspond aux mesures effectuées sur le mur extérieur au niveau du rack; mesures effectuées avec un radiamètre FH40, avec des débits d'équivalent de dose compris entre 0,150 et 0,170 $\mu\text{Sv/h}$. Pour rappel la valeur du bruit de fond sur le site de l'EAR est comprise entre 0,09 et 0,120 $\mu\text{Sv/h}$. Ce résultat se rapproche des résultats obtenus par la société INGEROP au point 3 correspondant au milieu de la longueur de l'installation.

Compte tenu des résultats, nous obtenons une zone non réglementée (inférieure à 80 $\mu\text{Sv/mois}$) à l'extérieure des abris avion. Par contre, tout le local d'entreposage est considéré en zone réglementée (surveillée et contrôlée). A proximité des déchets, des zones contrôlées seront identifiées. Seul le personnel catégorisé B sera en mesure d'évoluer dans ces zones avec le port d'une dosimétrie passive.

4.3 Contamination

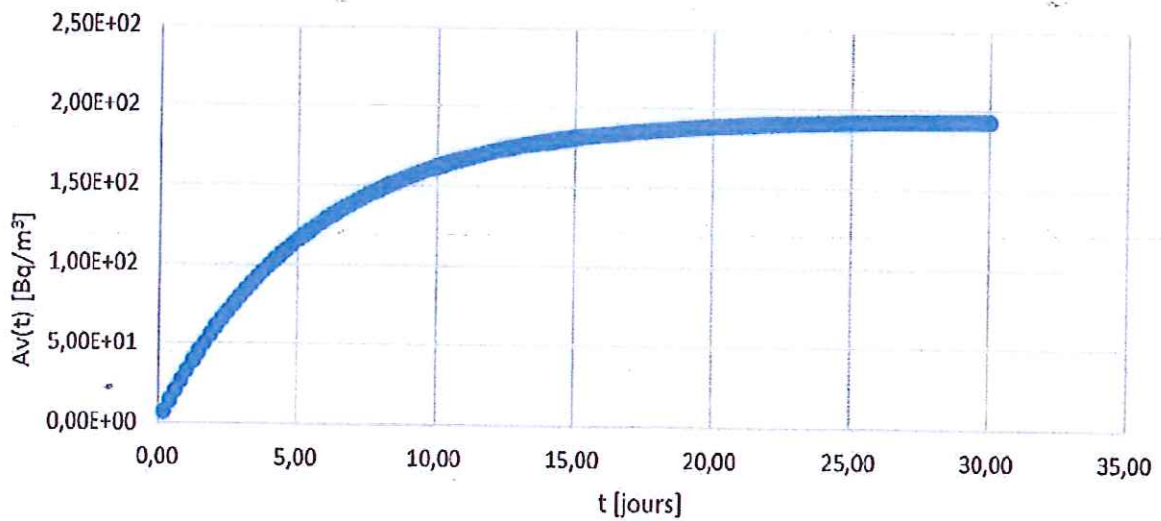
Le thorium en se désintégrant va émettre du radon 222 et du radon 220 (thoron). Suite à l'acquisition d'un AlphaGuard DF 2000 permettant la mesure et la différenciation de ces gaz, des mesures sur 30 jours ont été réalisées au niveau de la hangare n° 4 afin de connaître le taux de contamination atmosphérique dans le bâtiment pour un entreposage de 230 m^3 de déchets, ce qui correspond pratiquement à la moitié des capacités futures sur les hangarets 7 et 8. Les mesures ont été effectuées portes fermées sans aucune ventilation. L'AlphaGuard a été positionné directement sur un rack d'entreposage. Les résultats sont les suivants :



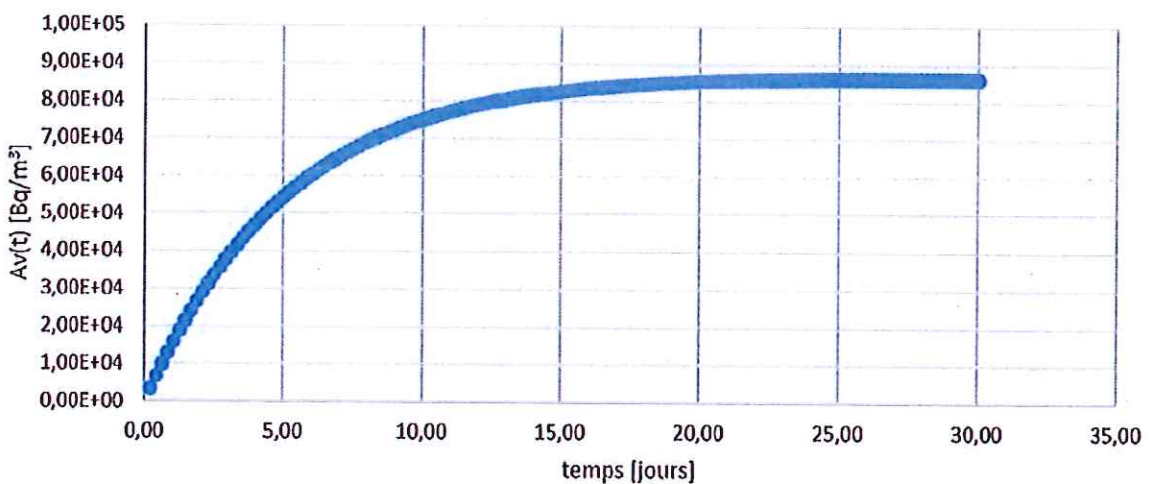
Date	Rn222(Bq/m3)	Rn222+error(Bq/m3)	Tn220(Bq/m3)	Tn220+error(Bq/m3)
19/12/2019	148,63	148,63+-22,16	7 382,89	7 382,89+-262,51
20/12/2019	362,13	362,13+-22,67	8 407,23	8 407,23+-173,29
21/12/2019	474,12	474,12+-26,49	9 050,69	9 050,69+-186,61
22/12/2019	442,88	442,88+-25,70	6 729,65	6 729,65+-153,63
23/12/2019	390,95	390,95+-23,77	6 282,33	6 282,33+-145,25
24/12/2019	371,16	371,16+-24,10	7 625,91	7 625,91+-164,53
25/12/2019	477,47	477,47+-26,75	8 974,02	8 974,02+-187,74
26/12/2019	519,17	519,17+-28,26	8 942,49	8 942,49+-191,90
27/12/2019	426,35	426,35+-25,66	7 492,62	7 492,62+-166,31
28/12/2019	473,20	473,20+-26,43	8 140,54	8 140,54+-176,12
29/12/2019	464,59	464,59+-26,05	6 679,47	6 679,47+-156,21
30/12/2019	449,57	449,57+-23,36	4 389,84	4 389,84+-120,90
31/12/2019	550,67	550,67+-25,91	6 675,41	6 675,41+-154,09
01/01/2020	546,96	546,96+-26,09	6 679,18	6 679,18+-155,74
02/01/2020	530,03	530,03+-25,57	5 846,41	5 846,41+-144,19
03/01/2020	454,13	454,13+-23,52	4 336,49	4 336,49+-120,11
04/01/2020	457,47	457,47+-23,89	6 349,89	6 349,89+-147,37
05/01/2020	521,16	521,16+-25,59	6 634,22	6 634,22+-154,30
06/01/2020	540,26	540,26+-26,38	7 416,33	7 416,33+-164,64
07/01/2020	509,99	509,99+-25,96	7 443,83	7 443,83+-165,87
08/01/2020	521,65	521,65+-27,52	8 358,33	8 358,33+-180,16
09/01/2020	496,69	496,69+-26,46	7 946,62	7 946,62+-177,28
10/01/2020	627,32	627,32+-28,18	7 754,95	7 754,95+-177,13
11/01/2020	541,62	541,62+-27,00	6 749,05	6 749,05+-159,24
12/01/2020	523,75	523,75+-26,25	7 092,46	7 092,46+-160,72
13/01/2020	518,50	518,50+-25,86	6 222,86	6 222,86+-148,96
14/01/2020	460,80	460,80+-24,31	6 011,63	6 011,63+-144,28
15/01/2020	411,44	411,44+-23,57	5 982,23	5 982,23+-142,72
16/01/2020	455,51	455,51+-24,26	6 137,69	6 137,69+-145,95
17/01/2020	499,14	499,14+-25,78	7 906,42	7 906,42+-172,49
18/01/2020	526,43	526,43+-28,28	9 594,64	9 594,64+-200,36
19/01/2020	520,63	520,63+-27,96	8 177,48	8 177,48+-178,73
20/01/2020	464,10	464,10+-36,64	7 101,02	7 101,02+-222,81
Valeur moyenne	481,95	4,55	7 163,66	28,84

Ces valeurs sont bien supérieures au niveau de référence en milieu de travail, c'est-à-dire 300 Bq/m³ en valeur moyenne (décret n° 2018-434 du 04 juin 2018).

La société DosExpert a été chargée de réaliser une étude relative à l'émanation de radon 222 et 220 au niveau des hangarettes. Les calculs théoriques de cette étude réalisée pour un entreposage de 465 m³ de déchets dans une hangarette prennent en compte un facteur d'émanation des alliages thoriés de 0,05. En effet, pour les matériaux dépourvus de porosité interne, seul le radon formé en surface a une probabilité non négligeable d'émaner. Les résultats sont les suivants :

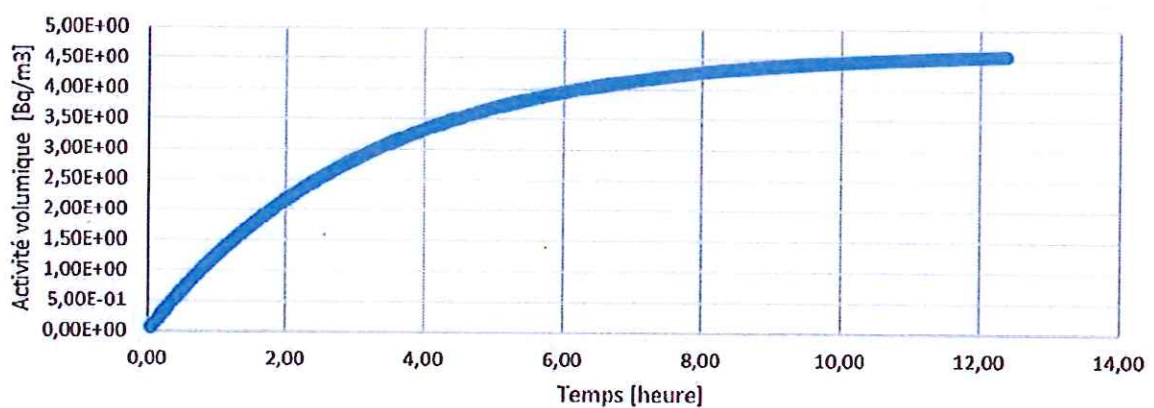


L'activité volumique totale du radon 222 sans ventilation est de $2,00E+02 \text{ Bq.m}^{-3}$

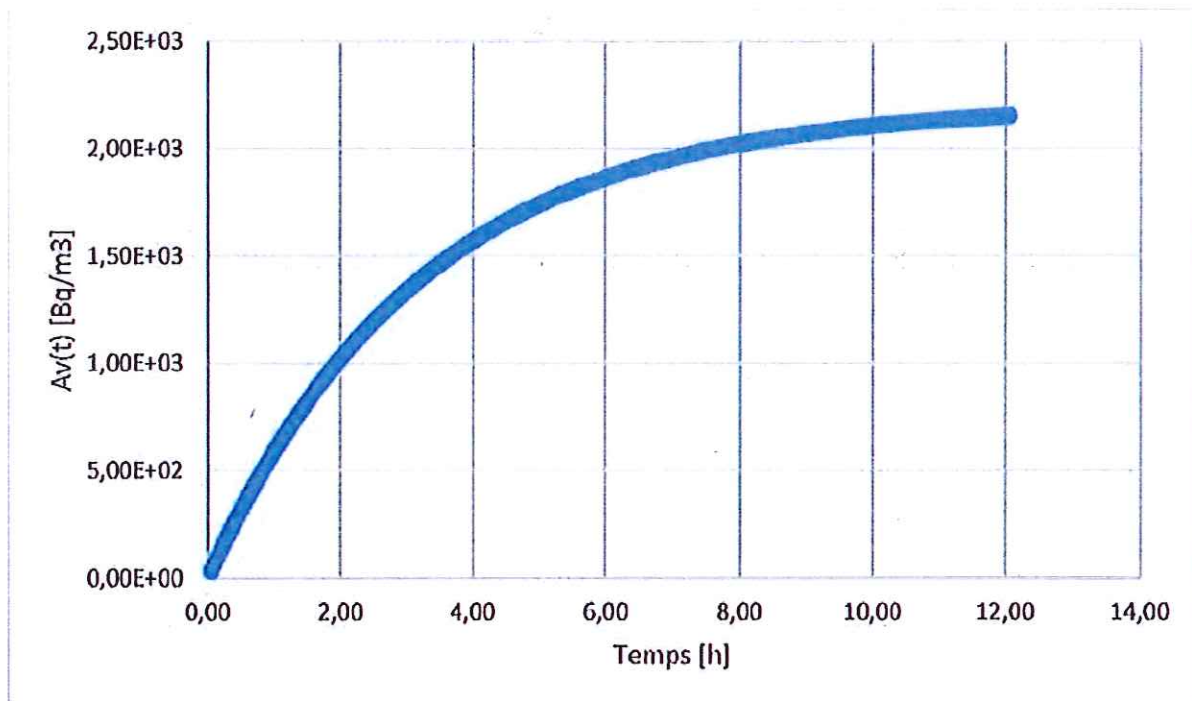


L'activité volumique totale du radon 220 sans ventilation est de $8,75E+04 \text{ Bq.m}^{-3}$

Toutefois en fonctionnement normal de l'installation, il est prévu une extraction d'air de $1500 \text{ m}^3/\text{h}$, permettant ainsi un renouvellement total de l'air à l'intérieur des hangarottes toutes les trois heures. Avec ce renouvellement d'air les activités volumiques sont les suivantes :



L'activité volumique du radon 222 avec un renouvellement d'air de $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ est de $4,67E+00 \text{ Bq.m}^{-3}$.



L'activité volumique du radon 220 avec un renouvellement d'air de 1500 m³/h est de 2,2E+03 Bq/m³.

Ces valeurs vont servir de base de calculs pour déterminer le niveau de contamination d'un opérateur pour la réalisation des contrôles techniques sans et avec la ventilation en tenant compte d'une part de la concentration d'activité du gaz radon dans l'air en Bq/m³ et d'autre part du temps d'exposition.

<u>exposition</u> concentration x temps	x	coefficient de dose par exposition	=	dose efficace
Bq·m ⁻³ ·h	x	mSv par Bq·m ⁻³ ·h	=	mSv
ou mJ·m ⁻³ ·h		ou mSv par mJ·m ⁻³ ·h		

Avec les coefficients de dose suivants :

- Dose par énergie alpha potentielle (mJ)
 - 1,4 mSv par mJ.h.m⁻³ sur les lieux de travail pour le radon 222*
 - 0,5 mSv par mJ.h.m⁻³ sur les lieux de travail pour le radon 220*
- Conversion activité radon (Bq) en Energie Alpha Potentielle (EAP) descendants (mJ)
 - 1 Bq = 2,22 x 10⁻⁶ mJ
- Dose par activité du gaz radon (Bq)
 - 3,11 x 10⁻⁶ mSv par Bq.h.m⁻³ pour le radon 222
 - 1,11 x 10⁻⁶ mSv par Bq.h.m⁻³ pour le radon 220

* Les facteurs de conversion exprimant la dose efficace par unité d'exposition à l'énergie alpha potentielle sont issus de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Sans renouvellement de l'air

Pour un travailleur présent 24 heures par an dans les hangarets 7 et 8, la dose efficace est de :

$$(24 \times 200 \times 3,11.10^{-6}) + (24 \times 87\,500 \times 1,11.10^{-6}) = 2,345 \text{ mSv.}$$

La dose efficace totale (externe et interne) pour un opérateur effectuant l'intégralité des contrôles pendant un an sur les deux hangarets sans renouvellement d'air est de **3,40 mSv**.

Avec renouvellement de l'air

Pour un travailleur présent 24 heures par an dans les hangarets 7 et 8, la dose efficace est de :

$$(24 \times 4,67 \times 3,11.10^{-6}) + (24 \times 2200 \times 1,11.10^{-6}) = 0,058 \text{ mSv.}$$

La dose efficace totale (externe et interne) pour un opérateur effectuant l'intégralité des contrôles pendant un an sur les deux hangarets avec renouvellement d'air est de **1,114 mSv**.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS

Le tableau ci-dessous reprend les limites annuelles d'exposition pour le personnel catégorisé B (Art. R. 231-76 du code du travail) et permet ainsi de comparer avec les doses susceptibles d'être reçues par les opérateurs :

	Limite réglementaire de dose en mSv pour 12 mois consécutifs travailleurs catégorie B	Opérateur 24h/an sans renouvellement d'air et sans ARI	Opérateur 24h/an avec renouvellement d'air et sans ARI	Opérateur 24h/an avec renouvellement d'air et avec ARI
Dose efficace	6	3,4	1,114	1,056

L'activité volumique du Radon 220 est en permanence au dessus des 300 Bq.m⁻³. Le port d'un appareil respiratoire isolant (ARI) avec adduction d'air est donc obligatoire pour toute intervention dans la zone d'entreposage des hangarets et ceci quelque soit la durée d'intervention.

Les hangarets devront être considérée comme des zones "radon" au sens de l'Art. R. 4451-23 introduit par le décret n° 2018-427.

Le port d'un appareil respiratoire isolant empêchera l'inhalation du radon, l'opérateur sera alors dans les conditions normales de fonctionnement de l'installation exposé uniquement à l'irradiation. Toutefois, il n'est pas exclu que l'ARI puisse tomber en panne (bouteilles vides suite à une fuite, tuyauterie gelée...) pendant que l'opérateur effectue son contrôle. En l'absence d'apport d'air, l'opérateur se retrouve dans l'obligation de respirer sans ARI. Les calculs suivants prennent en compte l'impact d'une telle situation tout en laissant 5 mn à l'opérateur pour sortir de la hangarete.

5.1 Panne de l'ARI sans panne de la ventilation

La dose efficace interne supplémentaire à prendre en compte pour les 5 mn de présence d'un opérateur dans l'installation (temps d'évacuation en cas de dysfonctionnement de l'ARI) est de :

$$(1/12 \times 4,67 \times 3,11 \cdot 10^{-6}) + (1/12 \times 2200 \times 1,11 \cdot 10^{-6}) = \mathbf{0,204 \mu Sv.}$$

5.2 Panne de l'ARI avec panne de la ventilation

La dose efficace interne supplémentaire à prendre en compte pour les 5 mn de présence d'un opérateur dans l'installation (temps d'évacuation en cas de dysfonctionnement de l'ARI) est de :

$$(1/12 \times 200 \times 3,11 \cdot 10^{-6}) + (1/12 \times 87\,500 \times 1,11 \cdot 10^{-6}) = \mathbf{8,145 \mu Sv.}$$

En cas de panne de l'ARI, les doses susceptibles d'être reçues par l'opérateur, si ce dernier quitte le bâtiment au bout de 5 mn, sont négligeables.

6. CONCLUSIONS

Cette étude de poste associée aux études des sociétés INGEROP et DOSEXPERT a permis de montrer que :

- la zone surveillée sera bien contenue à l'intérieur des bâtiments ;
- l'activité volumique du radon 220 dépasse très largement le niveau de référence de 300 Bq/m³, ayant pour conséquences :
 - o les abris avion doivent être considérés comme des zones radon ;
 - o seul le personnel catégorisé B avec une dosimétrie sera autorisé à pénétrer dans les bâtiments ;
 - o en situation normale avec ventilation ou en situation incidentelle sans ventilation, le port d'un appareil respiratoire isolant avec adduction d'air est obligatoire avant de pénétrer dans les installations.

Observations : Les valeurs des activités volumiques obtenues dans les hangarottes avec un fonctionnement de la ventilation et un facteur d'émanation de 0,05 sont aussi les valeurs des activités exfiltrées par heure au niveau du point de rejet gazeux.

M. Lionel V. [Signature]
Personne-charge
protection
CHATEL AUDUN



Annexe 6-6 : Mesure du thoron

Annexe 6-6a : Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de la hangarette 0025 (HG4) contenant des déchets radiologiques, DOS Expert, version 1, 05/03/20 (10 pages A4)

Annexe 6-6b : Note technique : Interprétation des résultats des mesurages de Radon 220 et 222 lors des ouvertures de porte de la hangarette 0025 (HG4) contenant des déchets radiologiques, version 1, 14/09/20 (4 pages A4)



	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarett contenant des déchets radiologiques.</p>	

Table des matières

1. Modifications	1
2. Validation	2
3. Objet	2
4. Domaine d'application	2
5. Références normatives et réglementaires	2
6. Entrée en vigueur	2
7. Définitions	2
8. Logigramme	3
9. Description des phases	4
9.1. <i>Phase 1 : Choix du dispositif de mesure et du laboratoire</i>	4
9.2. <i>Phase 2 : Détermination du nombre de dispositifs de mesure et des positions</i>	5
9.3. <i>Phase 3 : Préparation de l'intervention</i>	6
9.4. <i>Phase 4 : Pose des détecteurs (uniquement pour la première ouverture)</i>	7
9.5. <i>Phase 5 : Déballage des détecteurs (pour les ouvertures suivantes)</i>	8
9.6. <i>Phase 6 : Ouverture de porte</i>	8
9.7. <i>Phase 7 : Emballage des dosimètres</i>	8
9.8. <i>Phase 8 : Renvoi des détecteurs</i>	8
9.9. <i>Phase 9 : Réception des rapports d'essai et interprétation des résultats</i>	8
a) <i>Détermination de l'activité volumique de radon 222</i>	9
b) <i>Détermination de l'activité volumique de radon 220</i>	9

1. Modifications

Date	Indice	Auteur	Note
05/03/20	a	J.RANOUIL	Création du document

	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	Version 1
	Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarettte contenant des déchets radiologiques.	

2. Validation

Fonction	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom			
Date			
Visa			

3. Objet

Cette procédure vise à spécifier les étapes nécessaires à la conception et à l'exécution d'un dépistage réglementaire de radon.

4. Domaine d'application

Cette procédure s'applique pour la réalisation d'un dépistage radon ou d'une étude dans un cadre non réglementaire (recherche, information...)

5. Références normatives et réglementaires

- [1] **NF ISO 11665-8** Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Air: radon 222 - Partie 8 : Méthodologies appliquées aux investigations initiales et complémentaires dans les bâtiments.
- [2] **NF ISO 11665-4** Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air : radon 222 - Partie 4 : méthode de mesure intégrée pour la détermination de l'activité volumique moyenne du radon avec un prélèvement passif et une analyse en différé.

6. Entrée en vigueur

Ce présent mode opératoire en vigueur dès la date d'approbation.

7. Définitions

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire



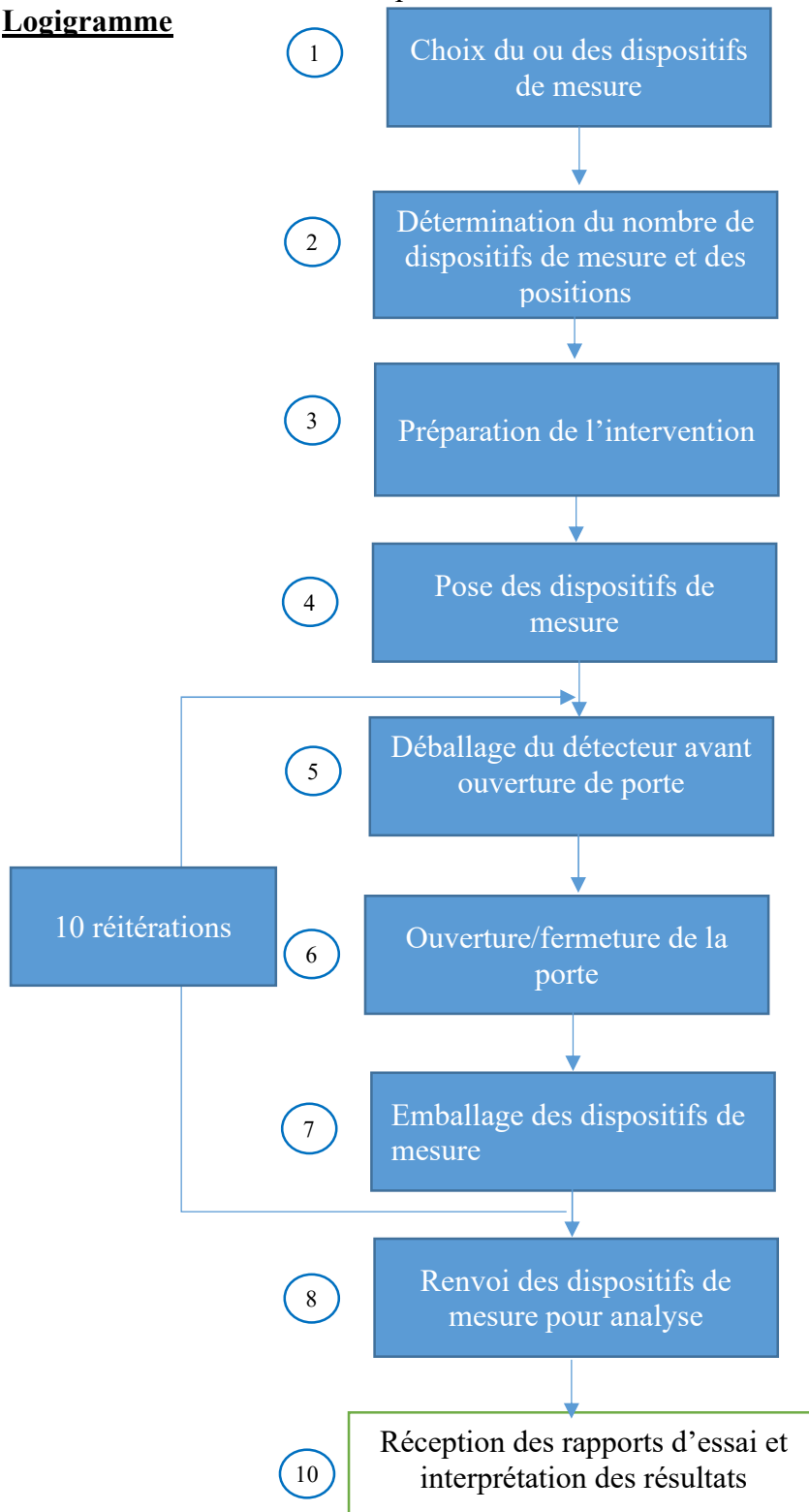
CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION


Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de
thoron lors des ouvertures de porte de hangar
contenant des déchets radiologiques.

Version
1

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

8. Logigramme



	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangare contenant des déchets radiologiques.</p>	

9. Description des phases

9.1. Phase 1 : Choix du dispositif de mesure et du laboratoire

Conformément aux exigences de [1] et [2] il a été fait le choix d'utiliser pour les mesurages, le dosimètre passif RADTRAK^{2T} ® combiné avec le RADTRAK² fourni par le laboratoire RADONOVA, Suède. Ce laboratoire est accrédité suivant la norme SS ISO/CEI 17025 par le SWEDAC, signataire de l'accord de reconnaissance multilatérale MRA et membre de *European Accreditation*. Cependant, la méthode de mesure du Thoron n'est pas couverte par l'accréditation. Les recherches pour trouver un laboratoire fournissant des mesurages de thoron sous accréditation ont été infructueuses. Voici les caractéristiques du RADTRAK^{2T} :

- Détecteur solide de trace nucléaire (DSTN) avec comme matériau sensible le polymère CR-39
- Dispositif de mesure en « configuration fermée » et peut donc être utilisé dans des conditions où le facteur d'équilibre varie fortement (empoussièrement élevé, forte humidité...)
- Le *design* de la chambre interne au détecteur lui permet de mesurer simultanément le radon et le thoron

Voici les caractéristiques du RADTRAK² :

- Détecteur solide de trace nucléaire (DSTN) avec comme matériau sensible le polymère CR-39
- Dispositif de mesure en « configuration fermée » et peut donc être utilisé dans des conditions où le facteur d'équilibre varie fortement (empoussièrement élevé, forte humidité...)
- Conforme à la norme SS-ISO 11665-4 : 2012 (équivalent suédois à NF ISO 11665-4 : 2012)
- Le *design* de la chambre interne au détecteur le rend insensible au radon 220 (thoron).

La figure 1 montre une illustration du détecteur avant utilisation :


	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarette contenant des déchets radiologiques.</p>	



Figure 1: Détecteur de radon RADTRAK2 emballé sous plastique étanche

9.2. Phase 2 : Détermination du nombre de dispositifs de mesure et des positions

Afin d'estimer l'activité volumique moyenne à laquelle les opérateurs pourront être exposés lors des phases d'ouvertures de porte, il a été choisi de positionner les détecteurs comme suit :

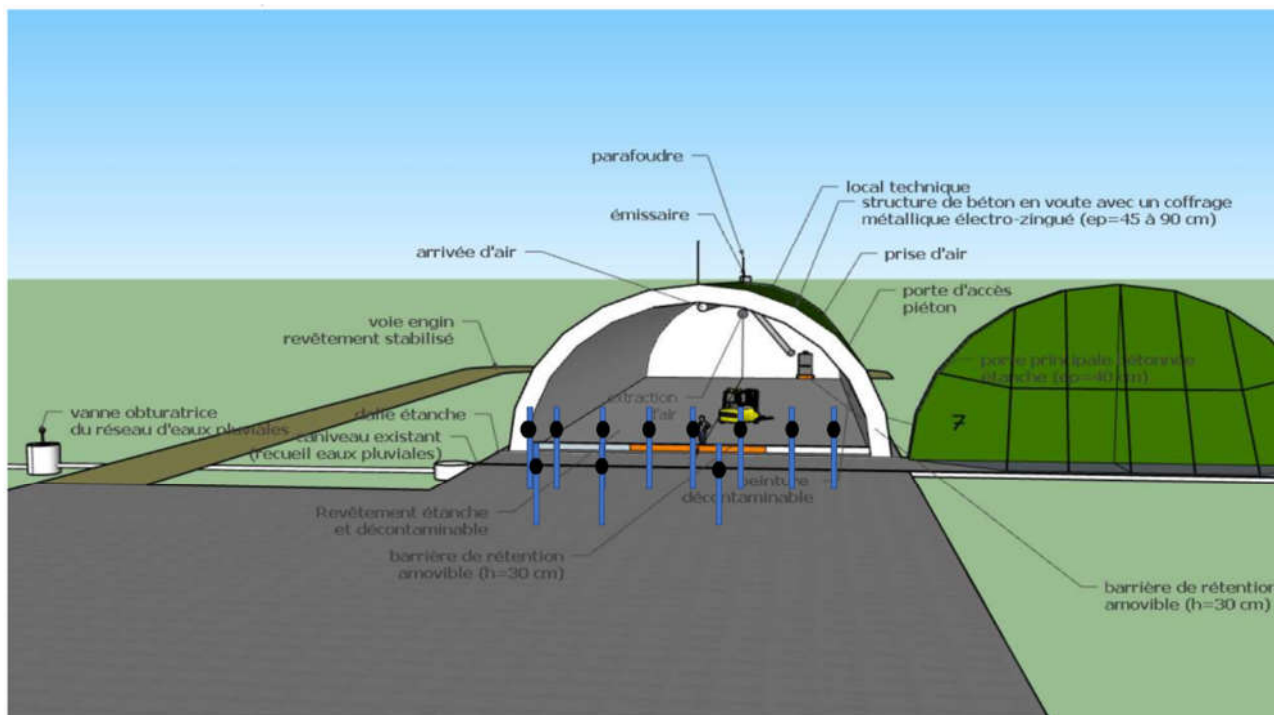


Figure 2: Schéma de principe de positionnement des dosimètres radon/thoron

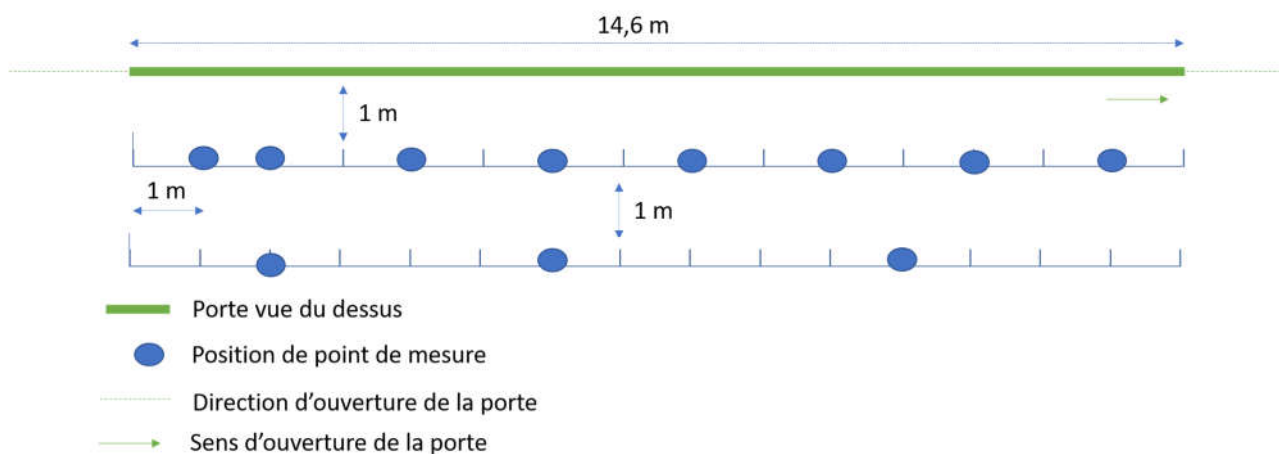



Figure 3: Position des dosimètres radon/thoron vue du dessus

Les dosimètres seront accrochés positionnés à 1m70 sur des piquets lestés avec plot en béton.

9.3. Phase 3 : Préparation de l'intervention

Il s'agit de préparer le matériel et les documents nécessaires à l'intervention :

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangar contenant des déchets radiologiques.</p>	

- **Nombre de détecteurs choisi en phase 2** les détecteurs ne doivent pas dépasser la date limite d'utilisation fournie par le fabricant
- **Des piquets mesurant 2 mètres lestés d'un plot de béton et ayant un numéro unique**
- **Autant Signalisation « Ne pas déplacer le dosimètre »**
- **Autant de sachet**
- **Un ruban à mesurer** ou « mètre »
- **Un appareil photo numérique** ou *smartphone*
- EPI ou autre équipement de sécurité éventuellement nécessaire (dosimètre...)

Note : Tout ce matériel, à l'exception des détecteurs pris pour la pose, doit être ramené sur site lors du retrait des dosimètre pour une éventuelle étude d'impact.

9.4. Phase 4 : Pose des détecteurs (uniquement pour la première ouverture)


Il s'agit ici de poser les détecteurs conformément aux § 5.4.4 et § 5.5 de [1]

- Pour la première pose, les emballages des dosimètres RADTRAK2T et RADTRAK2 sont ouverts
- Les numéros d'identification des dosimètres respectifs radon et thoron (cf Figure 2) posés doivent être relevés pour le piquet
- Les dosimètres posés photographiés à environ deux mètre de distance, si possible de façon perpendiculaire au mur et leurs positions doivent être notés sur le rapport de dépistage sur le plan fourni.
- La date et l'heure de la pose ainsi que le piquet de supports doivent être notés.



Figure 4: Exemple de numéro d'identification du dosimètre RADTRAK2 n°669401-2 (à gauche) et du dosimètre RADTRAK2T n°660363-3 (à droite)

Note : Les photographies ne sont pas à inclure dans le rapport de dépistage car cela l'alourdirait pour leurs futures transmissions. Néanmoins, ce sont de précieux documents pouvant servir pour des investigations *a posteriori* et l'amélioration continue des mesurages. Il convient de les archiver avec les autres documents en rapport avec le dépistage.

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarett contenant des déchets radiologiques.</p>	

9.5. Phase 5 : Déballage des détecteurs (pour les ouvertures suivantes)

Le sachet de protection des dosimètres est retiré afin que la détection recommence. Le déballage commence 30 minutes avant l'ouverture de la porte afin d'établir la diffusion de l'air à l'intérieur du dosimètre.

9.6. Phase 6 : Ouverture de porte

Voici les conditions d'ouverture/fermeture de la porte :

- La porte est ouverte pendant 24 heures.
- Il est proposé de réaliser les mesures lors de **10 ouvertures**.
- L'intervalle de temps entre la fermeture d'une porte et l'ouverture suivante doit être **supérieur à 72 heures** afin de varier les conditions climatiques et d'avoir une accumulation maximale de radon 220 dans la hangarett.

9.7. Phase 7 : Emballage des dosimètres

Après la période d'ouverture de la porte, les dosimètres sont remis en sachet afin d'arrêter la détection. La date et l'heure d'emballage doit être noté.

9.8. Phase 8 : Renvoi des détecteurs

Après n ouverture, les détecteurs sont renvoyés le plus rapidement possible au laboratoire choisi lors de la phase 2 suivant les instructions fournis par celui-ci et les exigences de [1] et [2].

Les dosimètres doivent notamment être renfermés dans les poches de retours fournies par le laboratoire.

9.9. Phase 9 : Réception des rapports d'essai et interprétation des résultats

Le laboratoire renvoi 1 à 2 semaines après le rapport d'essai contenant les activités volumiques. L'objectif est de déduire des mesurages obtenus, une mesure d'activité volumique de radon 220 utilisée *in fine* pour estimer l'exposition du personnel à une ouverture de porte.

La combinaison des résultats obtenus et l'incertitude de mesure propagée estimée est décrite ci-après.


Avec

$A_{vR2;n}$: Activité volumique de radon 222 seul retourné par un détecteur de radon 222 pour le n-ième piquet en $Bq \cdot m^{-3}$

$A_{vR2T;n}$: Activité volumique de radon 222 + radon 220 retournés par un détecteur de radon 222 pour le n-ième piquet en $Bq \cdot m^{-3}$

$A_{vRn220;n}$: Activité volumique de radon 220 déduite de $A_{vR2;n}$ et $A_{vR2T;n}$ en $Bq \cdot m^{-3}$

$U_{AvR2T;n}$: incertitude élargie déclarée par le laboratoire sur l'activité volumique de radon 222 + radon 220 retourné par le détecteur de radon 222 pour le n-ième piquet en $Bq \cdot m^{-3}$

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarete contenant des déchets radiologiques.</p>	

$U_{AvR2;n}$: incertitude élargie déclarée par le laboratoire sur l'activité volumique radon 220 seul retourné par le détecteur de radon 222 pour le n-ième piquet en $Bq \cdot m^{-3}$

$U_{AvRn220;n}$: incertitude calculée sur l'incertitude du radon 220 pour le n-ième piquet issu de la propagation quadratique des incertitudes $u_{vR2;n}$ et $u_{vR2;n}$ en $Bq \cdot m^{-3}$

\bar{A}_{vRn220} : Activité volumique de radon 220 moyenne pour tous les piquets $Bq \cdot m^{-3}$

S_{vRn220} : Estimateur de l'écart type sur la série de mesure $A_{vR220;n}$ en $Bq \cdot m^{-3}$

S_{vRn222} : Estimateur de l'écart type sur la série de mesure $A_{vR222;n}$ en $Bq \cdot m^{-3}$

$U_{AvRn220}$: Incertitude élargie calculée sur l'incertitude du radon 220 pour tous les piquets issus de la propagation quadratique des incertitudes des $u_{AvRn220;n}$ en $Bq \cdot m^{-3}$

a) Détermination de l'activité volumique de radon 222

L'activité volumique radon 222 pour un n-ième piquet avec l'incertitude de type A propagée se calcule comme suit :

$$A_{vRn222;n} = A_{vR2;n} \pm U_{AvR2;n} \quad \text{Équation I}$$

L'activité volumique moyenne de radon 222 avec l'incertitude de type A propagée pour tous les piquets confondus est donc :

$$A_{vRn222} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{vR2;n}}{n} \pm \sqrt{S_{vRn220}^2 + \sum_{i=1}^n U_{AvR2;n}^2} \quad \text{Équation II}$$

Il est possible de rester conservatif en ne retenant que la borne supérieure de l'intervalle.


b) Détermination de l'activité volumique de radon 220

L'activité volumique radon 220 pour un n-ième piquet avec l'incertitude de type A propagée se calcule comme suit :

$$A_{vRn220;n} = (A_{vR2T;n} - A_{vR2;n}) \pm \sqrt{U_{AvR2T;n}^2 + U_{AvR2;n}^2} \quad \text{Équation III}$$

$$A_{vRn220;n} = (A_{vR2T;n} - A_{vR2;n}) \pm U_{AvRn220;n} \quad \text{Équation IV}$$

L'activité volumique moyenne de radon 220 avec l'incertitude de type A propagée pour tous les piquets confondus est donc :

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarete contenant des déchets radiologiques.</p>	

$$A_{vRn220} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{vR2T;n} - A_{vR2;n}}{n} \pm \sqrt{S^2_{vRn220} + \sum_{i=1}^n U^2_{AvRn220;n}} \quad \text{Équation V}$$

Il est possible de rester conservatif en ne retenant que la borne supérieure de l'intervalle.


	CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION	Version 1
	Note technique : Interprétation des résultats des mesurage de Radon 220 et 222 lors des ouvertures de porte de hangarett contenant des déchets radiologiques.	

Table des matières


1. Modifications	1
2. Validation	1
3. Objet	2
4. Domaine d'application	2
5. Références normatives et réglementaires	2
6. Entrée en vigueur	2
7. Définitions	2
8. Rappel sur le dispositif de mesure et les conditions	2
9. Les résultats	3
10. La conclusion	4

1. Modifications

Date	Indice	Auteur	Note
14/09/20	a	J.RANOUIL	Création du document

2. Validation

Fonction	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom			
Date			
Visa			

	<p>CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN DOSIMÉTRIE ET RADIOPROTECTION</p>	<p>Version 1</p>
	<p>Note technique : Interprétation des résultats des mesurage de Radon 220 et 222 lors des ouvertures de porte de hangarett contenant des déchets radiologiques.</p>	

3. Objet

Cette note technique vise à interpréter les résultats

4. Domaine d'application

Cette procédure s'applique pour la réalisation d'un dépistage radon ou d'une étude dans un cadre non réglementaire (recherche, information...)

5. Références normatives et réglementaires

- [1] **NF ISO 11665-8** Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Air: radon 222 - Partie 8 : Méthodologies appliquées aux investigations initiales et complémentaires dans les bâtiments.
- [2] **NF ISO 11665-4** Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air : radon 222 - Partie 4 : méthode de mesure intégrée pour la détermination de l'activité volumique moyenne du radon avec un prélèvement passif et une analyse en différé.
- [3] **Mode opératoire permettant le mesurage de radon et de thoron lors des ouvertures de porte de hangarett contenant des déchets radiologiques -DOSEXPERT-version 1 du 05/03/2020**

6. Entrée en vigueur

Ce présent mode opératoire en vigueur dès la date d'approbation.

7. Définitions

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

8. Rappel sur le dispositif de mesure et les conditions

Par application du mode opératoire [3], les dosimètres ont été disposés comme suit :

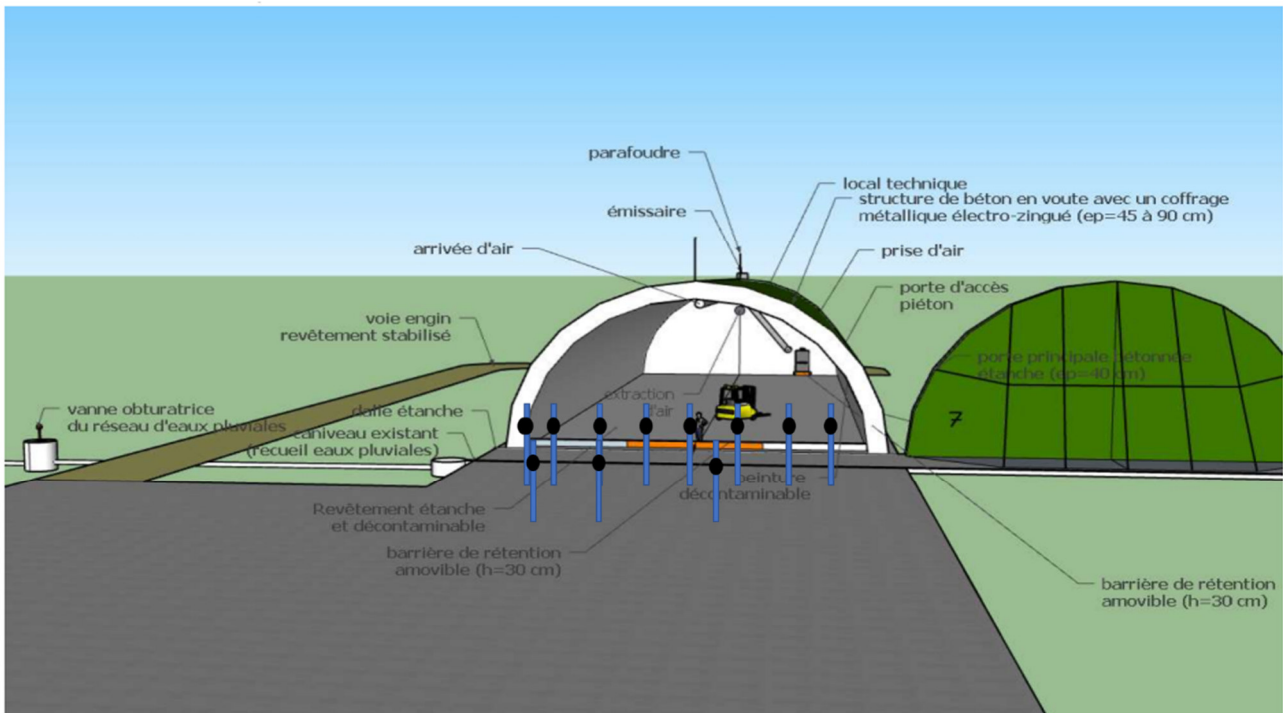


Figure 1: Schéma de principe de positionnement des dosimètres radon/thoron

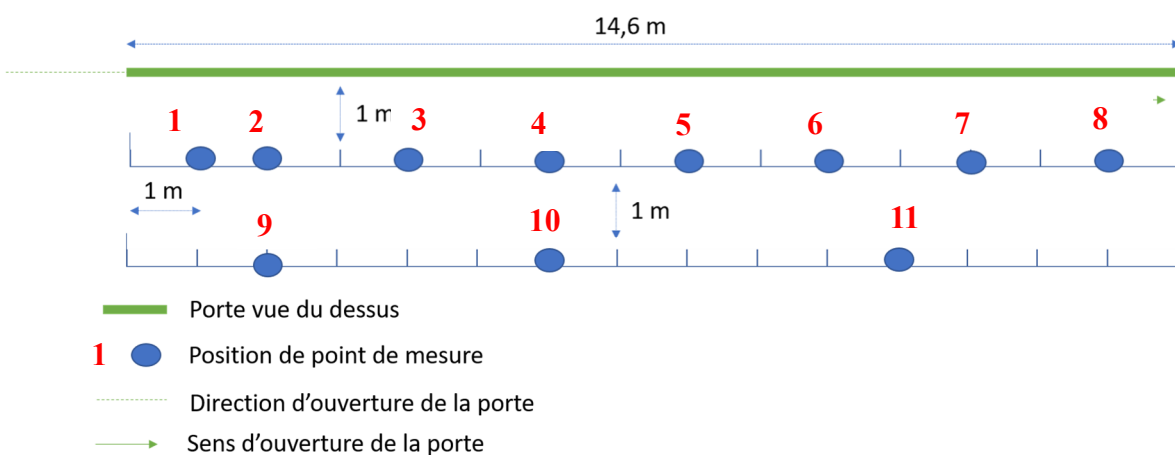


Figure 2: Position des dosimètres radon/thoron vue du dessus

9. Les résultats

A l'issue de la lecture des dosimètres RADTRAK² (mesurant le radon) et RADTRAK2T (mesurant le radon et le thoron), voici les résultats obtenus :



CONSEIL, EXPERTISE ET FORMATION EN
DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

Note technique : Interprétation des résultats des
mesurage de Radon 220 et 222
lors des ouvertures de porte de hangarete
contenant des déchets radiologiques.

Version
1

Tableau I : Récapitulatifs les expositions et des activités volumiques de radon et de thoron obtenus pour 10 itérations d'ouvertures/fermetures de portes (soient 240 heures cumulées) devant la hangarete n°4 du 29/05/2020 au 06/07/2020.

Localisation	Exposition radon [kBqh/m ³]	Exposition Radon + Thoron [kBqh/m ³]	Exposition Thoron [kBqh/m ³]	Activité volumique Radon brute [Bq/m ³]	Activité volumique Radon nette [Bq/m ³]	Activité volumique Thoron brute [Bq/m ³]	Activité volumique Thoron nette [Bq/m ³]
Poteau 1	19	36	17	79	0	71	0
Poteau 2	20	28	8	83	0	33	0
Poteau 3	17	90	73	71	0	304	208
Poteau 4	21	32	11	88	5	46	0
Poteau 5	11	32	21	46	0	88	0
Poteau 6	10	36	26	42	0	108	12
Poteau 7	10	32	22	42	0	92	0
Poteau 8	13	32	19	54	0	79	0
Poteau 9	20	32	12	83	0	50	0
Poteau 10	15	32	17	63	0	71	0
Poteau 11	15	32	17	63	0	71	0
Témoin	20	43	23	83	0	96	0

10. La conclusion

A l'issue de l'application du protocole de mesure [3], il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- Lorsque la porte est ouverte, le risque radon peut être considéré comme négligeable. En effet, les activités volumiques nettes de radon 222 sont proches de 0 Bq/cm³ en prenant en compte l'incertitude de mesure propagée.
- Lorsque la porte est ouverture, il existe un risque d'exposition au thoron localisé au poteau n°3. En effet, une activité nette de près de 200 Bq/m³ y est détectée. La démarche ALARA inhérente aux futures opérations à réaliser devant la hangarete n°4 devra prendre en compte ce fait.
- Le risque thoron devient négligeable à 2 mètres de la porte. En effet, les activités volumiques nettes de radon 220 sont proches de 0 Bq/cm³ en prenant en compte l'incertitude de mesure propagée.