RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS SÉTIF 1



FACULTÉ DES SCIENCES, DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

Domaine : Sciences de la matière

Spécialité : Physique médicale

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Validation des protocoles de décontamination des surfaces contaminées par le ^{18}F-FDG à l'aide d'un détecteur à puits NaI (Tl)

Réalisé par :

Bouaita Raouane **Hadjam Aya**

Présenté le 18 Juin 2026, devant le jury composé de :

BETKA ABDERRAHIM	MCA	UFAS1	Président
BENAIDJA ASMA	MCB	UFAS1	Examinatrice
BARA DJEMAI	MRA	CDTA	Co-Encadrant
TAKDENTI ABDERRAOUF	Physicien médical principal	PROFAM	Encadrant

Année universitaire : 2025/2026

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la radioprotection opérationnelle sur le site de production radiopharmaceutique PROFAM OSM (Biopharm Industrie, Oued Smar, Alger), où le ^{18}F-FDG est produit par cyclotron GE PETtrace 800. L'objectif principal est de valider un protocole de décontamination de surface adapté aux contraintes spécifiques des environnements de production de radiotraceurs à durée de vie courte. L'étude repose sur une approche expérimentale comparative portant sur plusieurs types de surfaces (inox, verre, plastique, bois), soumises à des contaminations contrôlées par le ^{18}F, puis décontaminées selon un protocole standardisé à base de Radiacwash®. Les niveaux résiduels d'activité ont été mesurés à l'aide d'un détecteur NaI(Tl) CAPRAC-t, avec correction de la décroissance radioactive appliquée à toutes les mesures.

L'analyse statistique repose sur une ANOVA à un facteur portant sur la nature du matériau de surface, complétée par un test post-hoc de Tukey HSD. Les résultats montrent que le matériau de surface constitue un facteur déterminant de l'efficacité de décontamination, le bois se distinguant significativement de tous les autres substrats en raison de sa porosité et de sa capacité d'absorption élevée.

Cette étude contribue à l'établissement de niveaux de décontamination de référence conformes aux exigences réglementaires algériennes (COMENA) et aux bonnes pratiques de fabrication (BPF/PIC-S), et propose des recommandations pratiques pour la gestion des contaminations de surface en zone contrôlée.

Mots-clés : radioprotection, décontamination de surface, ^{18}F-FDG, NaI(Tl), ANOVA, Tukey HSD, cyclotron, BPF.

Abstract

This study was conducted within the framework of operational radiation protection at the PROFAM OSM radiopharmaceutical production facility (Biopharm Industrie, Oued Smar, Algiers), where ^{18}F-FDG is produced using a GE PETtrace 800 cyclotron. The primary objective was to validate a surface decontamination protocol tailored to the specific constraints of short-lived radiotracer production environments.

The experimental approach involved a comparative evaluation of several surface materials (stainless steel, glass, plastic, and wood) subjected to controlled ^{18}F contamination and subsequently decontaminated using a standardized Radiacwash®-based protocol. Residual activity levels were measured with a NaI(Tl) CAPRAC-t detector, with radioactive decay correction applied systematically to all measurements.

Statistical analysis was performed using a one-way ANOVA with surface material as the single factor, followed by Tukey's HSD post-hoc test. Results demonstrate that surface material is a determining factor in decontamination efficiency, with wood differing significantly from all other substrates due to its porosity and high absorption capacity.

This work contributes to the establishment of reference decontamination levels consistent with Algerian regulatory requirements (COMENA) and Good Manufacturing Practice guidelines (GMP/PIC-S), and provides practical recommendations for surface contamination management in controlled areas.

Keywords : radiation protection, surface decontamination, ^{18}F-FDG, NaI(Tl), ANOVA, Tukey HSD, cyclotron, GMP.

ملخص

يندرج هذا العمل في إطار الوقاية الإشعاعية التشغيلية بموقع إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية PROFAM OSM (Biopharm Industrie)، وادي السمار، الجزائر)، حيث يتم إنتاج ^{18}F-FDG بواسطة السيكلوترون GE PETtrace 800 ويتمثل الهدف الرئيسي في التحقق من صحة بروتوكول لإزالة التلوث السطحي يتلاءم مع القيود الخاصة ببيئات إنتاج المتتبعات الإشعاعية قصيرة العمر.
تعتمد الدراسة على منهج تجريبي مقارن شمل عدة أنواع من الأسطح (الفولاذ المقاوم للصدأ، الزجاج، البلاستيك، والخشب)، عُرّضت لتلوثات مضبوطة بنظير ^{18}F، ثم أزيل التلوث عنها وفق بروتوكول موحّد يعتمد على مادة Radiacwash® وقد قيس النشاط الإشعاعي المتبقي باستخدام كاشف NaI(Tl) CAPRAC-t، مع تطبيق تصحيح اضمحلال النشاط الإشعاعي على جميع القياسات.
استند التحليل الإحصائي إلى تحليل التباين الأحادي (ANOVA) لدراسة تأثير طبيعة مادة السطح، واستكمل باختبار Tukey HSD للمقارنات البعدية. وأظهرت النتائج أن مادة السطح تَعد عاملاً حاسماً في فعالية إزالة التلوث، حيث تميز الخشب بشكل ملحوظ عن جميع المواد الأخرى بسبب مساميته العالية وقدرته الكبيرة على الامتصاص.
تُسهم هذه الدراسة في وضع مستويات مرجعية لإزالة التلوث تتوافق مع المتطلبات التنظيمية الجزائرية (COMENA) ومع ممارسات التصنيع الجيدة (BPF/PIC-S) ، كما تقدم توصيات عملية لإدارة التلوثات السطحية داخل المناطق الخاضعة للرقابة.
الكلمات المفتاحية :الوقاية الإشعاعية، إزالة التلوث السطحي، ^{18}F-FDG، NaI(Tl)، تحليل التباين الأحادي(ANOVA) ، Tukey HSD، السيكلوترون، ممارسات التصنيع الجيدة(BPF).

Table des matières

Remerciements i

Résumé ii

Table des figures ix

Liste des tableaux xi

Liste des abbréviations xii

Introduction 1

1 Généralités sur le ^{18}F-FDG et la contamination radioactive 3

1.1 Introduction 4

1.2 Fluor-18 et la production du ^{18}F-FDG 4

1.2.1 Cyclotron 4

1.2.2 Principe de fonctionnement du cyclotron 5

1.2.3 Fluor-18 7

1.2.3.1 Désintégration du fluor-18 8

1.2.4 Synthèse du ^{18}F-FDG 8

1.2.5 Contrôle de qualité du ^{18}F-FDG 10

1.3 Contamination radioactive des surfaces 11

1.3.1 Contamination fixée et non fixée 11

1.3.2 Risques radiologiques pour les opérateurs 11

1.3.2.1 Doses et leurs effet 12

1.3.2.2 Limite de dose réglementaires 13

1.4 Réglementation et seuils de références 14

1.4.1 Cadre réglementaire algérien – ANSSN / COMENA 14

1.4.2 Normes internationales - AIEA GSR Part 3 et Safety Reports . 15

1.4.3 Critères réglementaires concernant la contamination radioactive 16
1.4.4 Zonage radiologique et seuils de dose par zone....16
1.5 Méthodes de surveillance de la contamination.... 17
1.5.1 Méthode directe et indirecte.... 17
1.5.2 Activité minimale détectable 18
1.6 Conclusion 18

2 Matériels et méthodes 19

2.1 Introduction.... 20
2.2 Site et périmètre d'étude 20
2.2.1 Sources de contamination dans l'unité.... 22
2.2.2 Sélection et justification des surfaces étudiées.... 24
2.3 Instrumentation et équipements de mesure 25
2.3.1 Détecteur wipe test Mirion CAPRAC®-t.... 25
2.3.2 Calibration de Détecteur wipe test Mirion CAPRAC®-t.... 25
2.3.3 Calcul de l'activité minimale détectable 27
2.4 Agents de décontamination 28
2.4.1 Détergent Radiacwash.... 28
2.4.2 Lingette de décontamination DECPOL RAD.... 29
2.4.3 Alcool isopropylique 70 %.... 30
2.4.4 Eau.... 31
2.5 Méthodes de mesure de la contamination 32
2.5.1 Méthode indirecte du Wipe Test.... 32
2.6 Taux de décontamination (TD%).... 37
2.7 Traitement statistique.... 38
2.7.1 Statistique descriptive.... 38
2.7.2 ANOVA à un facteur.... 38
2.7.2.1 Préparation et organisation des données 38
2.7.2.2 Hypothèses statistiques de l'ANOVA.... 39

2.7.2.3 Calcul des statistiques descriptives 39
2.7.2.4 Décomposition de la variance 40
2.7.2.5 Calcul des carrés moyens 40
2.7.2.6 Statistique de test de Fisher 40
2.7.2.7 Règle de décision 41
2.7.2.8 Paramètres de l'analyse 41
2.7.2.9 Logiciel de calcul 42
2.7.3 Test post-hoc de Tukey 42
2.8 Conclusion 42

3 Résultats et discussions 43

3.1 Introduction 44
3.2 Résultats de calibration des instruments 44
3.2.1 Calibration de détecteur wipe test CAPRAC®-t 44
3.2.2 Bruit de fond 45
3.2.3 Activité minimale détectable 45
3.3 Carctérisation de la contamination initiale 45
3.3.1 Activité surfaciques initiales 45
3.3.2 Correction de décroissance radioactive 46
3.4 Efficacité des protocoles de décontamination 48
3.4.1 Taux de décontamination TD(%) par protocol 48
3.4.2 Analyse comparative "éfficacité par surface" 51
3.4.3 Analyse statistique ANOVA à un facteur : agent décontaminant 52
3.4.4 Analyse statistique test post-hoc de Tukey 56
3.5 Disscusion générale 56
3.6 Recommendation pour PROFAM OSM 58
3.7 Conclusion 58

Bibliographie **60**

Dédicace **61**

Dédicace **63**