MODÉLISATION DE L'INFLUENCE D'UN DÉPÔT D'AÉROSOL SUPER-MICRONIQUE SUR LA MESURE DE L'AÉROSOL RADIOACTIF

G. Dougniaux, K. Ankrah et W. Soerjady

¹Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SCA, 91192 Gif-sur-Yvette, France *Courriel de l'orateur : gregoire.dougniaux@irsn.fr

TITLE

MODELLING THE INFLUENCE OF A SUPER-MICRONIC AEROSOL DEPOSIT ON THE MEASUREMENT OF RADIOACTIVE AEROSOL

RESUME

Dans le contexte des mesures de la contamination aéroportée, il est nécessaire de s'appuyer sur des modèles et des simulations numériques afin d'améliorer la maîtrise des mesures effectuées, en particulier l'influence des différentes dimensions d'aérosols prélevés sur la mesure nucléaire. Cet article présente une méthode de représentation de ces dépôts d'aérosols dans Geant4, un logiciel de simulation des interactions rayonnement-matière. Les premiers résultats de modélisation présentés ici sont validés par des mesures expérimentales.

ABSTRACT

In the context of airborne contamination measurements, it is necessary to rely on models and numerical simulations in order to improve the control of the measurements carried out, in particular the influence of the different dimensions of aerosols sampled on the nuclear measurement. This article presents a method of representing these aerosol deposits in Geant4, a software for simulating radiation-matter interactions. The first modelling results presented here are validated by experimental measurements.

MOTS-CLÉS: Modélisation Geant4, aérosol radioactif, spectrométrie alpha, filtration / **KEYWORDS**: Geant4 modelling, radioactive aerosol, alpha spectrometry, filtration

1. INTRODUCTION

Dans un contexte de maîtrise du confinement et des rejets liés aux opérations en chantier de démantèlement, une surveillance réglementaire de la contamination atmosphérique assure la radioprotection des travailleurs. Les moniteurs de contamination atmosphérique (CAM) mesurent en temps réel et en continu les activités volumiques α et β portées par les aérosols. Ils ont pour but d'émettre une alarme sonore et visuelle en cas de dépassement d'un seuil préalablement fixé par l'exploitant, ajusté aux risques présents sur site. La mesure de l'activité par les CAM, en particulier celle liée aux émetteurs alpha artificiels, est sensible aux variations de granulométrie des aérosols (Hoarau, 2020 et 2021). La dégradation de la mesure engendrée par les grosses particules modifie l'évaluation du bruit de fond (lié aux descendants du radon, ²¹⁸Po et ²¹⁴Po principalement) dans la région de mesure des α -artificiels (²³⁹Pu, ²⁴¹Am, etc.).

Afin d'améliorer la compréhension des mécanismes d'interaction entre les aérosols radioactifs fins et ultrafins, et un aérosol supermicronique, nous proposons d'utiliser différentes représentations de dépôt d'aérosols et de les inclure dans Geant4 (Agostinelli et al., 2003; Allison et al., 2016), un logiciel de simulation des interactions rayonnement-matière. Nous pouvons ainsi ajuster les calculs aux données expérimentales précédemment obtenues et *in fine* comprendre les mesures temps-réel de la contamination atmosphérique liée aux descendants du radon. Nous allons présenter ici la géométrie nécessaire aux simulations Geant4 et le modèle de dépôt d'aérosol développé, puis les résultats validant les différentes représentations.

2. GÉOMÉTRIE ET MODÈLES DE SIMULATION

Les simulations utilisent la géométrie simplifiée de la tête de mesure de l'ABPM203M. La zone de prélèvement (filtre) et de mesure (détecteur PIPS) est représentée, ainsi que les ailettes radiales spécifiques à ce moniteur. La figure 1 présente la réalisation de cette zone d'intérêt dans Geant4.



Figure 1 – Représentation de la zone de prélèvement et de mesure dans Geant4

La géométrie est validée à l'aide d'un spectre en énergie expérimental. Un spectre est l'enregistrement des énergies déposées dans le détecteur du moniteur par les rayonnements issus des désintégrations alphas des descendants du radon 22, particulièrement les poloniums 218 et 214. Les résultats de simulation sont en très bon accord ($R^2 = 99,5\%$) avec les données expérimentales (figure 2).



Figure 2 – Comparaison entre le spectre expérimental de référence et la simulation avec une fenêtre d'entrée du détecteur de 0,91 µm et un étalonnage en énergie du moniteur (R² = 99,5%)

Un algorithme permet de représenter un dépôt de particules polydispersées sphériques sur un disque. La figure 3 présente un exemple de dépôt généré (à gauche) et le résultat dans l'interface graphique de Geant4 (à droite). Dans cette dernière, chaque point blanc dans le volume cylindrique est une sphère représentant le dépôt d'aérosols.



Figure 3 – Affichage des particules via Matlab (à gauche) et Geant4 (à droite). À gauche, il s'agit d'un agrandissement d'une zone au centre du filtre. À droite, l'ensemble du filtre est représenté et les particules apparaissent comme des pixels blancs.

3. RÉSULTAT ET DISCUSSION

Par rapport au déroulement d'un essai permettant une mesure, il est important d'en préciser les différentes étapes. Ainsi, le moniteur est soumis pendant tout l'essai à une atmosphère maîtrisée en radon 222 et ses descendants pour partie fixés sur des aérosols fins. Le tableau 1 décrit les caractéristiques de cette atmosphère. Deux heures après le début de l'essai, le moniteur subit une bouffée rapide d'un aérosol supermicronique et l'enregistrement du spectre en énergie est déclenché pour les deux heures suivantes. Le spectre enregistre alors des rayonnements qui proviennent du filtre et des aérosols supermicroniques.

Caractéristiques de l'aérosol			Activités				
Diamètre aérodynamique médian en activité	Écart-type géométrique	Concentration	²²² Rn	²¹⁸ Po	²¹⁴ Po	Facteur d'équilibre	Fraction attachée ou libre
0,2 µm	1,8	15 #/cm ³	30 Bq/m ³	15 Bq/m ³	5 Bq/m ³	0,3	60 %
< 5 nm	/	/					40 %

Tableau 1 –	Caractéristiq	ue de l'atm	osphère en	radon 222
-------------	---------------	-------------	------------	-----------

Les résultats présentés dans la suite sont le fruit de simulations de l'essai A-P2-E2 (Hoarau, 2020). Il s'agit d'un dépôt de 1,36 mg de particules d'alumine SPM105 sur un filtre membrane FSLW à la vitesse de 1,2 m/s. Le tableau 2 présente les caractéristiques des particules déposées.

Tablead	Caracteriolique a	a acportation o	
Masse déposée	Diamètre aérodynamique médian en masse	Écart-type géométrique	Diamètre médian en masse
1 36 mg	9 um	1 86	57 um

Tableau 2 - Caractéristique du dépôt dans l'essai A-P2-E2

Concernant la distribution de la radioactivité dans le milieu, pour ne pas présupposer une répartition particulière de la radioactivité à la surface des particules de l'aérosol supermicronique deposé, deux représentations sont proposées : homogène sur la totalité de la surface (régime purement diffusif) ou uniquement sur la face avant (régime purement inertiel), c'est-à-dire face au flux d'air, vers le haut. La figure 4 présente les résultats de ces simulations. Pour comparer, nous avons ajouté à la figure 4 le spectre donné par la radioactivité sur le filtre, sans dépôt de particule. On constate que ce dernier est peu différent du spectre pour lequel les α sont émis depuis la demi-sphère supérieure. Un dépôt homogène en surface de la sphère engendre une dégradation significative du pic, sans décalage en énergie. Ce dernier résultat est très intéressant et nous allons le comparer aux données de référence.





La figure 5 présente la comparaison entre le spectre mesuré (essai A-P2-E2) et les spectres simulés précédemment présentés. Le spectre mesuré est encadré par les deux simulations, celle avec les α sur le filtre et celle avec les α sur les sphères entières. Le spectre résultant est composé de 50 % des deux simulations (R² = 98,2 %).





Figure 5 – Comparaison des spectres expérimentaux et simulés

Selon ce résultat, la radioactivité semble répartie de façon homogène sur les sphères représentant le dépôt, et à parts égales entre ces sphères et le filtre. Ce constat permet de représenter correctement les données expérimentales. Nous avons ainsi pu définir un premier modèle permettant de représenter avec succès l'influence d'un dépôt de particules sur une mesure nucléaire. Ce modèle repose sur deux hypothèses fortes sur la localisation des descendants du radon sur le dépôt et le filtre, qu'il est nécessaire de tester de façon plus approfondie.

4. CONCLUSION

La modélisation d'un moniteur de mesure de la radioactivité ambiante (ABPM203M) dans Geant4 a pu être validée sur la base de mesures expérimentales. Nous avons ensuite proposé un modèle simple permettant de créer un dépôt de particules sur un filtre, et les résultats nous ont permis d'importer ce modèle dans Geant4 et ainsi de faire des simulations en incluant les aérosols. Ce modèle de dépôt de particules s'inclut très bien dans le logiciel de simulation nucléaire Geant4 et nous a permis de représenter correctement la forme d'un spectre alpha obtenu expérimentalement.

Toutefois, la simulation et la mesure n'ont pu converger que sous deux hypothèses qu'il est nécessaire de tester afin de faire évoluer le modèle et la compréhension des mécanismes pilotant la répartition des descendants du radon lors de leur collecte sur une membrane chargée avec un dépôt de particules microniques.

RÉFÉRENCES

- Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Asai, M., Axen, D., Banerjee, S., Barrand, G., Behner, F., Bellagamba, L., Boudreau, J., Broglia, L., Brunengo, A., Burkhardt, H., Chauvie, S., Chuma, J., Chytracek, R., ... Zschiesche, D. (2003). GEANT4 A simulation toolkit. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 506*(3), 250–303. https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01368-8
- Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Arce, P., Asai, M., Aso, T., Bagli, E., Bagulya, A., Banerjee, S., Barrand, G., Beck, B. R., Bogdanov, A. G., Brandt, D., Brown, J. M. C., Burkhardt, H., Canal, P., Cano-Ott, D., Chauvie, S., Cho, K., ... Yoshida, H. (2016). Recent developments in GEANT4. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 835*, 186–225. https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.06.125
- Hoarau, G. (2020). Étude de la limite de détection et des fausses alarmes émises par les moniteurs de mesure de la contamination radioactive atmosphérique dans les chantiers de démantèlement. Université Paris-Saclay.
- Hoarau, G., Dougniaux, G., Gensdarmes, F., Dhieux Lestaevel, B., Laurent, J., & Cassette, P. (2019). Qualification d'un dispositif expérimental permettant l'étude d'un moniteur de la contamination atmosphérique dans des conditions représentatives de chantiers de démantèlement. *Congrès Français Sur Les Aérosols*. https://doi.org/10.25576/ASFERA-CFA2019-16665
- Hoarau, G., Dougniaux, G., Gensdarmes, F., Ranchoux, G., & Cassette, P. (2021). Impact of the coarse indoor nonradioactive aerosols on the background radon progenies compensation of continuous air monitor. *Health Physics*.