HAL open science

Production d'aérosols réprésentatifs d'opérations de démantélement pour des études de toxicologie

M Payet, Francois Gensdarmes, V Malard, C Grisolia

To cite this version:

M Payet, Francois Gensdarmes, V Malard, C Grisolia. Production d'aérosols réprésentatifs d'opérations de démantélement pour des études de toxicologie. Congrès Français sur les Aérosols, ASFERA, Jan 2019, Paris, France. 10.25576/ASFERA-CFA2019-16666 . irsn-04099210

HAL Id: irsn-04099210

https://irsn.hal.science/irsn-04099210v1

Submitted on 16 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

PRODUCTION D'AÉROSOLS RÉPRESENTATIFS D'OPERATIONS DE DEMANTELEMENT POUR DES ETUDES DE TOXICOLOGIE

M. Payet(1)*, F. Gensdarmes (2), V. Malard (3) et C. Grisolia (1)

[1]CEA, IRFM, F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France
[2]Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), 91192 Gif-sur-Yvette, France
[3]CEA, BIAM, UMR7265 CEA/CNRS/Aix Marseille Univ F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

*mickael.payet@cea.fr

TITLE

Production of aerosol representative of dismantling operation to carry out toxicological studies

RÉSUMÉ

Ce travail propose une méthode pour produire et caractériser un aérosol représentatif d'une opération de découpe lors du démantèlement d'une installation nucléaire contaminée en tritium, en vue de définir des simulants afin de réaliser des études de toxicologie. Les résultats obtenus ont permis de déterminer des fractions mises en suspension et la granulométrie de l'aérosol, pour la découpe de tube en acier inoxydable 316.

ABSTRACT

This work describes a method to produce and to characterise aerosols from cutting operations that represent decommissioning process within nuclear facility containing tritium. The result obtained makes it possible to calculate the airborne release fraction and aerosol size distribution in the case of 316 stainless steel.

MOTS CLÉS : démantèlement, aérosol, tritium, resuspension / **KEYWORDS:** dismantling, aerosol, tritium, resuspension

1. INTRODUCTION

L'exposition à du tritium sous forme gaz a été étudiée d'un point de vue toxicologique (Paquet, 2009). Cependant, lors d'opérations de démantèlement d'installations nucléaires, les aérosols produits peuvent contenir des particules chargées en tritium. La toxicologie de ce type de particule est une problématique à étudier pour mieux appréhender les risques encourus pour les travailleurs et l'environnement, ce qui fait l'objet du projet européen TRANSAT (*Transversal actions for Tritium*). Un point clé de ce projet est la production et la caractérisation d'aérosols représentatifs d'opérations de découpe lors du démantèlement d'installation nucléaire contaminée en tritium pour la réalisation d'études de toxicologie en laboratoire. L'objectif de cet article est de présenter une méthode pour obtenir des échantillons de particules représentatifs qui serviront à définir des critères simulants pour la fourniture et le chargement en tritium de lots de particules en quantités suffisantes pour les études de toxicologie. On s'intéresse en particulier dans cette étude à la production de particules produites par la découpe à froid de tuyaux en acier inoxydable 316.

2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET VALIDATION

2.1. Description du dispositif

Le dispositif expérimental est constitué de trois fonctions principales : l'isolateur pour permettre de confiner l'aérosol et les particules produites, le système de production de particules et la partie mesure pour caractériser ces particules émises.
L'isolateur est une boîte à gants en plexiglas de 250 L à vide (Figure 1). L'air entrant est filtré par un filtre THE (Très Haute Efficacité) pour éviter les pollutions extérieures. Une pompe à palettes associée à une vanne et à un rotamètre permet de réguler le flux et le renouvellement d'air dans l'isolateur. Le débit d'extraction initial est ajusté à 183 ± 5 L/min. Un filtre à membrane (FSLW, ∅ 47 mm) est installé à l'extraction de l'isolateur pour permettre la collecte des particules. Les particules sont produites lors de la découpe d'un tube d'acier, maintenu par un étau, avec une scie alternative à moteur sans charbon dit « *brushless* » (scie sabre Makita 36 V DJR de 1250 W et une cadence maximale de coupe de 3 000 cps/min) et équipée d'une lame en carbure de tungstène. Une buse de prélèvement isoaxiale est placée près de l'extraction d'air pour effectuer une mesure de l'aérosol avec un compteur optique de particules GRIMM 1.109 (COP). La concentration en nombre (Cn) est mesurée sur 32 canaux de tailles entre 0,25 µm et 30 µm.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2019-16666

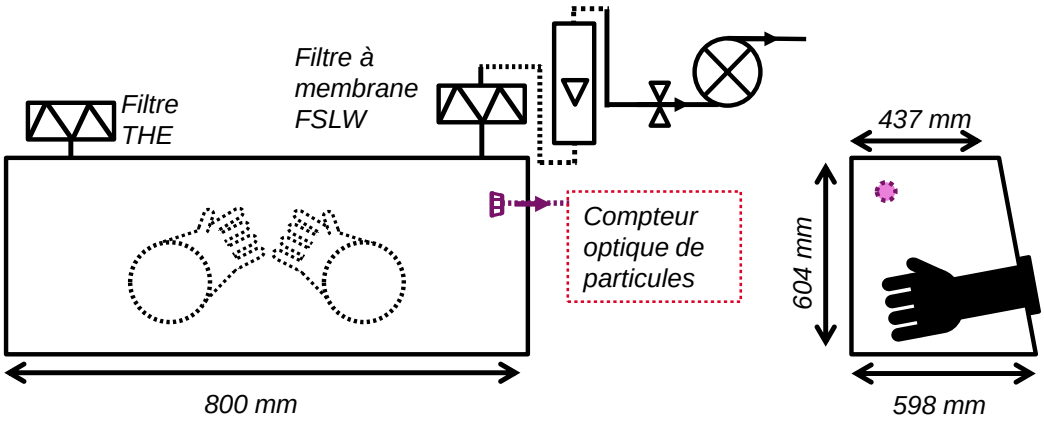

Figure 1. Schéma du dipositif de production et d'analyse de particules

2.2. Validation du dispositif

À chaque essai, l'isolateur est ouvert pour l'installation du matériel de découpe (scie, tube et étau) puis refermé. En conséquence, l'aérosol initialement présent dans l'isolateur correspond à celui de l'air du laboratoire. L'évolution de la concentration de particules en nombre dans l'isolateur après sa fermeture et après la mise en route de l'extraction est représentée sur la Figure 2.a. La concentration de l'aérosol atmosphérique initialement présent dans l'isolateur est stable avant mise en route de l'extraction ($C_n \approx 4{,}5\times10^4$ particules/L) et diminue de façon exponentielle dès que l'extraction d'air est activée par la pompe (à partir de 744 s) jusqu'à atteindre un plateau stable inférieur à 10^3 particules/L. L'atteinte de ce palier indique qu'il y a un terme source de particules dans l'isolateur, certainement lié à des microfuites et au fait que le système est en dépression par rapport à l'atmosphère. La concentration finale en aérosol atmosphérique étant négligeable devant la concentration initiale dans l'isolateur, on ne prend pas en compte le terme source lié à la fuite pour la description de l'évolution de la concentration d'aérosol. Dans ce cas, si on néglige également le dépôt des particules dans l'enceinte, le bilan de matière sur la concentration en nombre de l'aérosol permet de décrire la décroissance par la relation :

$$C_n = C_n^0 \times e^{-\frac{t}{\tau}}, \qquad (1)$$

où C_n^0 représente la concentration en particules à l'état initial, $\tau = V/Q$ est la constante de temps d'épuration de l'isolateur, Q est le débit d'air filtré et V est le volume de l'isolateur.

La constante de temps, τ, obtenue expérimentalement par ajustement de l'équation 1 sur les résultats expérimentaux, vaut 72 ± 4 s. Par conséquent, chaque séquence de production de particules a été réalisée après une durée d'épuration d'au moins 10 min (> 5×τ) pour s'assurer du renouvellement du volume de l'isolateur par de l'air filtré. Signalons que la constante de temps théorique, égale à 81 s, est légèrement supérieure à celle obtenue expérimentalement car le volume théorique considéré ne prend pas en compte le volume lié aux gants ni à l'encombrement des éléments de découpe (scie et étau). Ainsi, le volume effectif de l'isolateur est évalué à partir de la constante τ expérimentale et vaut 219 L.

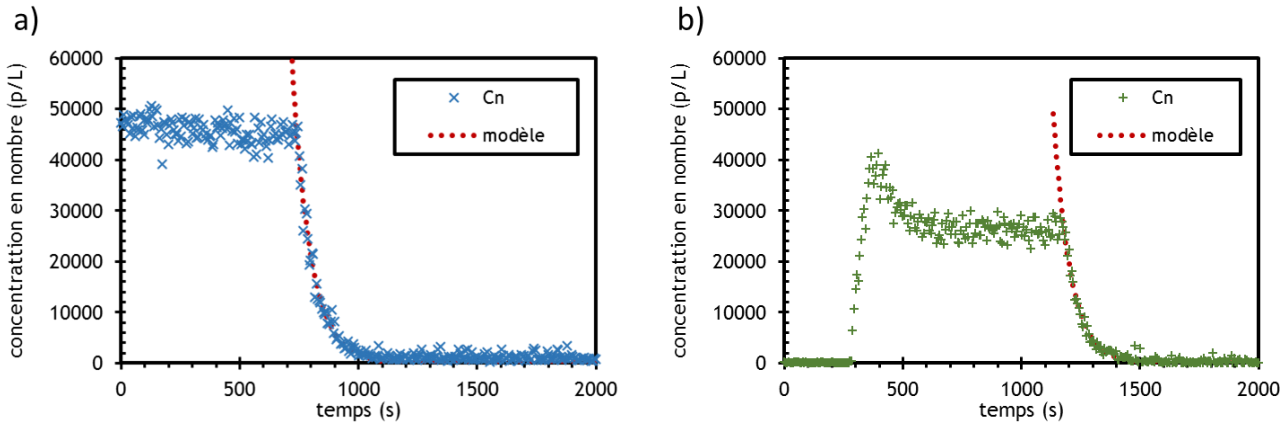

Figure 2. Evolution de la concentration dans l'isolateur a) bruit de fond sans, puis avec extraction d'air ; b) particules émises par le fonctionnement de la scie (les modèles de décroissance sont superposés dans chaque cas).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2019-16666

3. PRODUCTION D'AÉROSOL

3.1. Émission propre à la scie

Afin de vérifier le bruit de fond lorsque la scie est en marche sans effectuer de découpe, une séquence de 15 min est réalisée en alternant des périodes de 20 s de fonctionnement de la scie puis 10 s d'arrêt afin d'éviter la surchauffe de l'équipement. La Figure 2.b représente la concentration de l'aérosol dans l'isolateur lié à l'émission de la scie sans découpe. Ces particules proviennent probablement de la friction entre les pièces en mouvement de la scie. Un état stationnaire est atteint avec une concentration d'environ 3×10^4 particules/L. Après l'arrêt de la scie, on observe à nouveau une décroissance exponentielle avec une constante de temps d'épuration τ de 70 ± 4 s. Suite à cette phase d'épuration, on retrouve un niveau de bruit de fond inférieur à 10^3 particules/L.

3.2. Production de particules métalliques

Pour identifier les particules produites lors de la découpe, on analyse l'évolution du diamètre moyen en masse de l'aérosol (moyenne géométrique). Ce paramètre permet de comparer sans ambiguïté les différentes situations (découpe, émission propre à la scie ou bruit de fond) car la concentration d'aérosol provenant de la découpe est du même ordre que la concentration liée à l'émission propre de la scie. Ce diamètre (d_g) est calculé à partir des concentrations en nombre mesurées par le compteur optique et de la masse moyenne des particules pour chaque canal de mesure en supposant les particules sphériques.
La Figure 3.a présente l'évolution du diamètre géométrique moyen en masse en fonction du temps pour une découpe d'un tube en acier inoxydable et la Figure 3.b pour l'émission de particules de la scie sans découpe. Dans ces figures, la période 0 – 600 s correspond à des mesures effectuées après l'épuration initiale de l'isolateur et avant la mise en route de la scie.
En moyenne, d_g augmente de manière significative lors de la découpe et passe de 0,35 µm (bruit de fond lié à la fuite d'aérosol atmosphérique) à 4,1 µm (aérosol produit par la découpe). Par ailleurs, on constate que l'augmentation du diamètre moyen est faible lorsque la scie est en fonctionnement sans découpe : d_g passe de 0,35 µm à 0,82 µm. Par conséquent, les différents types de particules produits peuvent être, en première approximation, discriminés selon les canaux de mesure du compteur optique. De cette façon, en sélectionnant uniquement les particules de diamètre supérieur à 1 µm, on peut calculer à partir des mesures COP la concentration massique des particules produites par la découpe de l'acier.

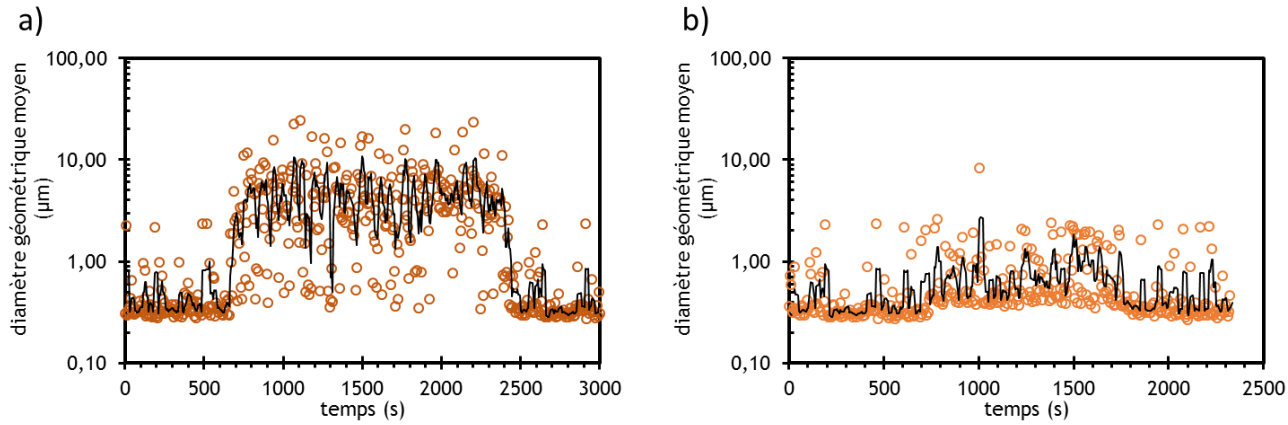

Figure 3. Diamètre géométrique moyen en masse a) de l'aérosol lors d'une découpe ; b) de l'aérosol émis par la scie sans découpe. Cercle : mesure sur 6 s. Ligne noire : moyenne mobile sur 6 valeurs.

3.3. Prise en compte de la sédimentation pour l'évaluation de la fraction d'aérosol dispersée

Pour interpréter les résultats en prenant en compte la sédimentation des particules d'acier inoxydable dans l'isolateur pendant le prélèvement, nous utilisons un modèle analytique d'évolution de la concentration d'aérosol (Gensdarmes, 2003). Ce modèle suppose que la concentration est homogène à chaque instant dans l'isolateur et fait intervenir le temps caractéristique d'épuration, le temps de prélèvement et la granulométrie de l'aérosol, le volume et la surface de dépôt par sédimentation de l'isolateur. Il permet d'étendre l'équation 1 pour prendre en compte un terme puits lié à la sédimentation des particules. Ce modèle permet d'établir des coefficients de correction I afin de relier la masse d'aérosol initialement dispersée, m_d, dans un essai de découpe avec la masse d'aérosol effectivement collectée par le préleveur, m_c, ($m_c = I \cdot m_d$).
En utilisant un diamètre de particule égal à 4 µm avec une masse volumique de 8000 kg/m³ (acier inoxydable), un volume effectif d'enceinte égal à 219 L et un débit de prélèvement de 185 L/min, on obtient un coefficient de correction I égal à 0,62. Logiquement, $1 - I = 0{,}38$ représente la fraction de particules sédimentées

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2019-16666

pendant le prélèvement. Compte tenu de la valeur non négligeable de ce coefficient, I est utilisé pour calculer la fraction mise en suspension et le débit d'émission dans les essais réalisés.
Notre dispositif permet d'obtenir de deux façons la masse d'aérosol produite lors d'une découpe. Premièrement, la masse produite peut être calculée en utilisant le débit d'émission, q_{COP} (mg/s), déterminé à partir des mesures du COP pour les tailles supérieures à 1 µm ; il est défini par la relation :

$$q_{COP} = \frac{Q}{I} \times \overline{C_m} = \frac{Q}{I} \times \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} \sum_{j=12}^{32} C_{n_j}(k) \times m_j \ , \qquad (2)$$

où $\overline{C_m}$ est la concentration moyenne en masse à l'état stationnaire pendant une découpe. Cette concentration est calculée à partir de la concentration en nombre du canal j à l'instant k notée $C_{n_j}(k)$ et de la masse moyenne d'une particule pour le $j^{ème}$ canal m_j. Le nombre d'intervalles de mesures pendant une découpe est noté p. Le canal j = 12 correspond à la limite de classe de taille 1 µm.

La seconde méthode repose sur la pesée du filtre de collecte de l'aérosol à l'extraction de l'isolateur. Dans ce cas, le débit d'émission, q_{filtre}, s'exprime à partir de la masse cumulée sur le filtre Δm_{filtre} et de la durée de la découpe Δt_d selon :

$$q_{filtre} = \frac{1}{I} \times \frac{\Delta m_{filtre}}{\Delta t_d} \ . \qquad (3)$$

Le Tableau 1 récapitule les données acquises et met en évidence un écart entre les 2 méthodes même si les ordres de grandeur sont comparables. Cet écart peut être lié aux hypothèses faites pour calculer la concentration massique à partir des mesures de concentration en nombre du COP (hypothèses de particule sphérique et d'indice de réfraction équivalent à celui des particules utilisées pour l'étalonnage de l'instrument). Par ailleurs, signalons que l'incertitude relative élargie sur la pesée différentielle des filtres de cette taille est inférieure à 10 % (incertitude déterminée selon la méthode définie dans la norme ISO 15767).

Tableau 1. Bilan du débit d'émission obtenu par COP q_{COP} ou par pesée sur filtre q_{filtre}, de la perte de masse de la pièce découpée Δm, de la masse collectée sur filtre Δm_{filtre} et de la fraction mise en suspension f_a $\left(f_a = \frac{\Delta m_{filtre}/I}{\Delta m}\right)$ calculée à partir du filtre.

Échantillon	q_{COP} (µg/min)	q_{filtre} (µg/min)	Δm (mg)	Δm_{filtre} (mg)	f_a
acier 316-1	48	69	7793	1,6	$3{,}3\times10^{-4}$
acier 316-2	39	73	11414	2,0	$2{,}8\times10^{-4}$

Dans un dispositif à une échelle bien supérieure (32 m^3 et 300 m^3/h), Bernard *et al.,* (1998) ont obtenus des valeurs de fractions mises en suspension comprises entre $1{,}2\times10^{-4}$ et $6{,}7\times10^{-4}$ pour de l'acier inoxydable avec une scie alternative. On constate que les valeurs obtenues dans ce travail sont du même ordre de grandeur. De plus, elles tiennent compte de la sédimentation et le dispositif permet de déterminer plus précisément la granulométrie de l'aérosol produit et de discriminer l'aérosol issu du matériau découpé de l'aérosol inhérent à l'outil utilisé.

4. CONCLUSION

L'utilisation de l'isolateur permet de caractériser en ligne la granulométrie et le débit d'émission de l'aérosol produit lors de la découpe d'acier inoxydable. La faible fraction mise en suspension souligne la difficulté de produire ce type d'aérosol en quantités importantes (plusieurs dizaines de milligrammes) pour les études de toxicologie à venir. Toutefois, ces essais permettent d'obtenir et de caractériser des échantillons représentatifs et de définir des propriétés simulantes (diamètre, morphologie, composition élémentaire) pour un approvisionnement en aérosol de substitution avec des quantités suffisantes.

5. REFERENCES

Paquet, F. et Metivier, H. (2009) J. Radiol. Prot. 29(2), 175-181.

Gensdarmes, F. (2003) Effet de la sédimentation sur l'épuration d'un aérosol polydispersé dans une enceinte, application à l'étude de la mise en suspension par chute de poudre. Rapport technique IPSN/DPEA/SERAC/LPMA/03-14.

Bernard, J., Pilot, G. et Grandjean, J.P. (1998) Evaluation of various cutting techniques suitable for the dismantling of nuclear components. Rapport EUR 17919.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2019-16666