

# QUALIFICATION D'UNE BUSE DE NEBULISATION POUR LA GENERATION D'AEROSOLS CALIBRES

A. Kort\*<sup>1</sup>, L. Juhel-Fauvel<sup>1</sup>, B. Hippeau<sup>1</sup>, N. Le Roux<sup>1</sup>, F. Gensdarmes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SCA, Gif-sur-Yvette, 91192, France

\*amel.kort@irsn.fr

## TITLE

**Qualification of a nebulization nozzle for the generation of calibrated aerosol**

## RESUME

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la maîtrise de la génération des particules utilisées par l'IRSN pour étudier les transferts et les dépôts de contaminants particulaires dans l'air. L'objectif est de proposer dans un premier temps un générateur d'aérosols calibrés à 3 µm en diamètre aérodynamique médian massique en vue du remplacement des générateurs à ultrasons LIXEA SinapTec®. Pour ce faire, la buse de nébulisation Tekceleo a été retenue et une étude a été menée en vue de sa qualification.

Cette communication présente les résultats de la qualification de cette buse de nébulisation.

## ABSTRACT

This work is part of the control of particle generation for IRSN studies on particulate contamination transfer and deposition. The objective as a first step is to provide an aerosol generator calibrated to 3 µm in mass median aerodynamic diameter for the replacement of LIXEA SinapTec® ultrasonic generators. The Tekceleo nebulization nozzle was selected and a study was carried out for its qualification.

This communication presents the qualification results of this nebulization nozzle.

**MOTS-CLÉS:** buse de nébulisation, Welas, impacteur Andersen, génération / **KEYWORDS:** nebulization nozzle, Welas, Andersen impactor, generation

## 1. INTRODUCTION

Cette communication présente les résultats de travaux menés au sein du Service du Confinement et de l'Aérodispersion des polluants (SCA) de l'IRSN, visant à proposer un générateur d'aérosols calibrés à 3 µm en diamètre aérodynamique médian massique en vue du remplacement des générateurs à ultrasons LIXEA SinapTec® largement utilisés dans le cadre d'études sur la dispersion des aérosols (coefficient de transfert de la contamination particulaire, rétrodiffusion au niveau d'ouvertures sur des dispositifs de confinement, dépôts des aérosols,...) et dont le suivi n'est plus assuré par le constructeur.

Le choix s'est porté sur le nébuliseur de Tekceleo basé sur le couplage d'un transducteur piézoélectrique avec une membrane micro-perforée vibrante. Lorsqu'un liquide entre en contact avec la membrane soumise à des vibrations, celui-ci est injecté en un nuage de microgouttelettes de taille relativement homogène de l'autre côté de la membrane, au travers des micro-perforations. La taille des gouttelettes, leur débit et les caractéristiques de l'aérosol généré après évaporation sont des paramètres modulables et adaptables aux besoins. Initialement développée dans le domaine médical pour l'aérosolthérapie (Tekceleo, 2021), cette technologie peut répondre à différents besoins de nébulisation pour d'autres domaines. Pour les besoins du SCA, nous avons étudié le modèle de générateur Micronice 12 µm (P&S-360) avec réservoir déporté, permettant de nébuliser de grandes quantités de liquide.

L'objectif final de ce travail est de proposer un générateur d'aérosols calibrés à 3 µm en diamètre aérodynamique médian massique (AMMD) à partir de solutions alcooliques de Di-Ethyl-Hexyl-Sebacate (DEHS).

L'objet de la qualification du générateur Tekceleo est de définir d'une part la granulométrie des aérosols générés en termes d'AMMD et d'autre part les concentrations produites, à partir de différentes solutions.

Les résultats de qualification seront donc présentés et discutés dans cette communication.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Description du banc expérimental

Le banc ETNA est utilisé pour réaliser la qualification. ETNA est un banc aéraulique confiné permettant de travailler sur les aérosols de façon sécurisée et sans interférence avec le bruit de fond constitué par l'aérosol atmosphérique ambiant. Le banc est constitué d'une chambre de test (0,8 × 0,6 × 1 m<sup>3</sup>) avec un débit de

circulation d'air variable de 100 à 300 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. L'installation fonctionne par défaut à 100 % en air de recirculation avec des systèmes de filtration HEPA H14 (*High Efficiency Particulate Air*). Lorsqu'un aérosol est injecté dans l'installation, celui-ci implique un apport d'air neuf dans des proportions dépendant du débit principal de circulation, du débit injecté dans l'installation et des débits éventuels de prélèvement vers l'extérieur de l'installation. Le banc ETNA permet de disposer des instruments de mesure pour étudier la concentration et la granulométrie des aérosols produits par la buse de nébulisation. Il comporte une chambre de mesure, où les appareils de mesure sont disposés, la buse de nébulisation de liquide, deux filtres à air pour assurer la propreté de l'air à l'entrée du conduit où est positionnée la buse, ainsi qu'un premier filtre, situé après la chambre expérimentale permettant la filtration des aérosols.

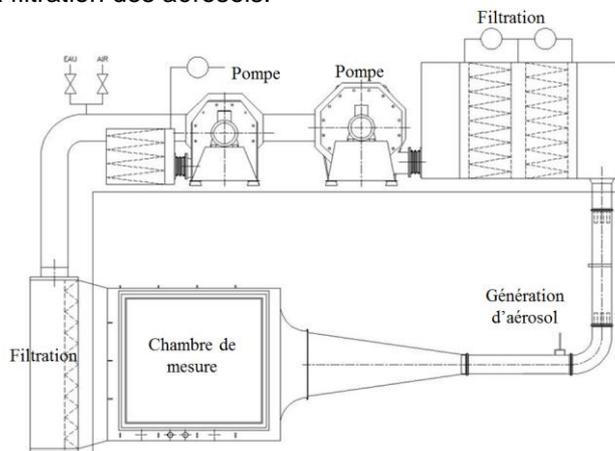


Figure 1 : Représentation de l'installation ETNA

La solution à nébuliser contient de l'huile DEHS diluée dans de l'éthanol, avec un rapport de dilution de 3 % de DEHS et de 97 % d'éthanol en volume. À partir de cette solution, des gouttelettes sont produites par la buse. L'éthanol va rapidement s'évaporer (la pression de vapeur saturante de l'éthanol à 20°C est de  $5,8 \cdot 10^3$  Pa) et, compte tenu du temps de transfert vers la chambre de mesure (1 s), on considère que l'aérosol est uniquement constitué d'huile DEHS. Cette huile ne s'évapore quasiment pas car sa pression de vapeur saturante dans l'air à 20°C est très faible ( $< 3 \cdot 10^{-4}$  Pa).

Dans la chambre de mesure, sont disposés trois appareils :

- un néphélomètre (TSI 8530) servant à suivre la concentration,
- un compteur optique de particules (*White-Light Aerosol Spectrometer Welas 2000* de chez Palas) mesurant un diamètre optique dans une gamme de 0,3 µm à 17 µm,
- un impacteur en cascade (Andersen Mark II) mesurant un diamètre aérodynamique entre 0,4 µm et 9 µm.

Pour tous les essais effectués, le temps de prélèvement est de 50 min.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

#### 3.1. Granulométrie des aérosols produits par le générateur Tekceleo

Différents paramètres de fonctionnement du générateur Tekceleo ont été étudiés, comme la position du réservoir par rapport à la buse de pulvérisation, ou la modulation du signal transmis à la membrane pour faire varier le débit de dispersion. Par ailleurs, différentes proportions du mélange éthanol/DEHS ont été testées avec également l'incorporation de fluorescéine sodée pour les applications nécessitant une très basse limite de détection. Trois expériences ont été réalisées pour chaque type d'essai afin de s'assurer de la répétabilité de la génération en termes de diamètre et de concentration.

La figure 2 montre un exemple de résultats obtenus sur la distribution granulométrique. Il s'agit d'une comparaison des granulométries mesurées par l'impacteur Andersen et par le compteur Welas après conversion du diamètre optique donné par le Welas en diamètre aérodynamique.

L'évolution de la masse déposée sur les 8 étages de l'impacteur Andersen est représentée en fonction du diamètre aérodynamique. Les masses déposées sur chaque étage sont normalisées par rapport à la masse totale déposée  $M_0$  et par rapport à la largeur des canaux de mesure de l'instrument en échelle logarithmique. Afin de comparer les diamètres mesurés par l'impacteur et le compteur Welas, il est nécessaire de convertir le diamètre optique du compteur Welas en un diamètre aérodynamique. Les formules de conversion dépendent de la masse volumique du liquide utilisé (Hinds, 1999), ici du DEHS, de la pression et de la température. Signalons que l'indice de réfraction du DEHS est pris en compte lors de la mesure réalisée par le Welas ( $n=1,47$ ).

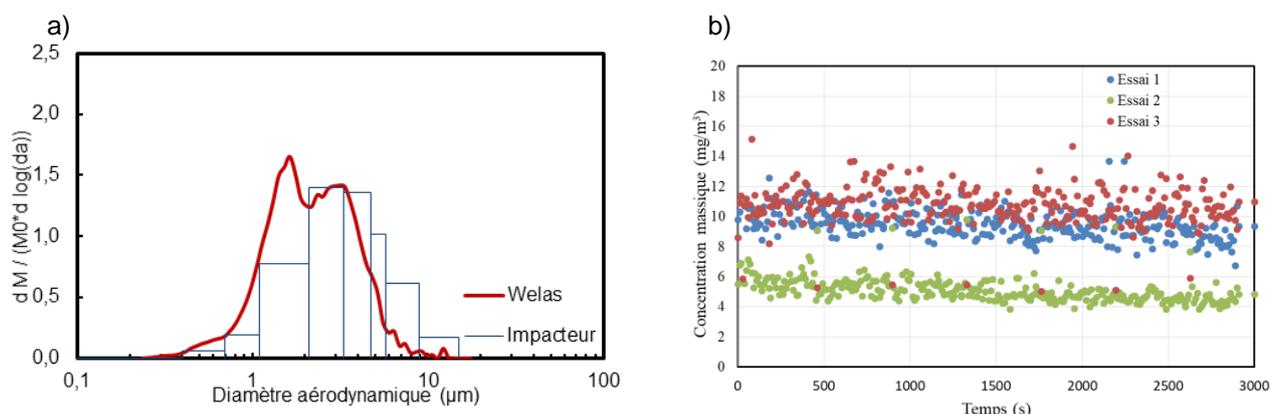


Figure 2 : a) Comparaison d'une granulométrie en fonction du diamètre aérodynamique converti à partir de la mesure Welas et de celui mesuré par l'impacteur ; b) Stabilité de la concentration massique à 0,1 Hz en fonction du temps

Les diamètres médians en masse et les écarts-types géométriques mesurés par l'impacteur et par le Welas sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1 : diamètres médians en masse et écarts-types géométriques

	AMMD ( $\mu m$ )	Ecart-type géométrique
Mesure impacteur	3,28	1,90
Mesure Welas	2,19	1,80

On remarque l'existence de deux modes dans la mesure Welas, contre un seul pour celle de l'impacteur, ce qui conduit à une sous-estimation du diamètre médian mesuré avec le Welas. On considère que la mesure de référence est donnée par l'impacteur Andersen et l'objectif de génération d'un diamètre aérodynamique médian à 3  $\mu m$  est atteint avec une tolérance de 10 %. Toutefois, la mesure obtenue avec le compteur Welas pose quand même la question de l'existence d'une distribution bimodale en masse. En effet, compte tenu de la proximité des modes mesurés par le Welas, il n'est pas évident que l'impacteur Andersen puisse les distinguer, étant donné la faible résolution de l'instrument. Une étude sur la réponse du Welas a donc été réalisée pour investiguer la pertinence des résultats obtenus avec cet instrument.

### 3.2. Etude de la réponse du Welas

Afin d'investiguer l'origine du deuxième mode observé avec le compteur Welas, il est important de savoir si celui-ci correspond à une réalité et provient de la technologie utilisée par la buse Tekceleo ou de la réponse du compteur Welas. Pour trancher cette question, on propose de réaliser des mesures dans les mêmes conditions mais avec un autre type de générateur déjà bien documenté, notamment pour la production d'une granulométrie unimodale. Le choix du générateur s'est ainsi porté sur le nébuliseur pneumatique Topas ATM228 afin d'assurer une génération stable en concentration en utilisant une solution de DEHS pur et en réglant la pression de l'orifice de pulvérisation à 500 hPa. La mesure a été réalisée dans ETNA sur une durée de 50 minutes. La granulométrie obtenue est représentée sur la figure 3.

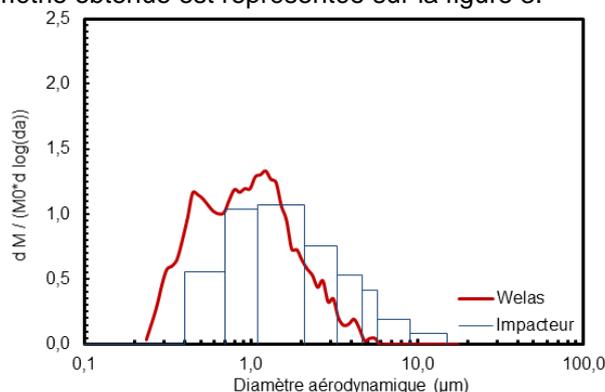


Figure 3 : Comparaison d'une granulométrie générée par le générateur Topas, en fonction du diamètre aérodynamique converti à partir de la mesure Welas et de celui mesuré par l'impacteur

Le diamètre médian en masse de l'aérosol mesuré avec l'impacteur est de 1,35  $\mu\text{m}$  alors que celui mesuré avec le Welas est de 0,90  $\mu\text{m}$ . Deux modes ont été également trouvés avec le compteur Welas.

Le principe de fonctionnement du pulvérisateur pneumatique Topas et les données de granulométrie existantes dans la littérature montrent que ce type de générateur produit un aérosol unimodal qui suit généralement une distribution lognormale.

Cet essai permet donc de douter de la pertinence des mesures produites par le Welas et également de douter de l'existence d'une granulométrie en masse à deux modes issue du générateur Tekceleo.

Un autre type d'essai a été réalisé sur le Welas avec des aérosols de DEHS monodispersés, sélectionnés en diamètres aérodynamiques avec un AAC (*Aerodynamic Aerosol Classifier*).

La figure 4 montre un exemple de granulométrie mesurée par le compteur Welas après la sélection d'un diamètre aérodynamique égal à 0,65  $\mu\text{m}$ .

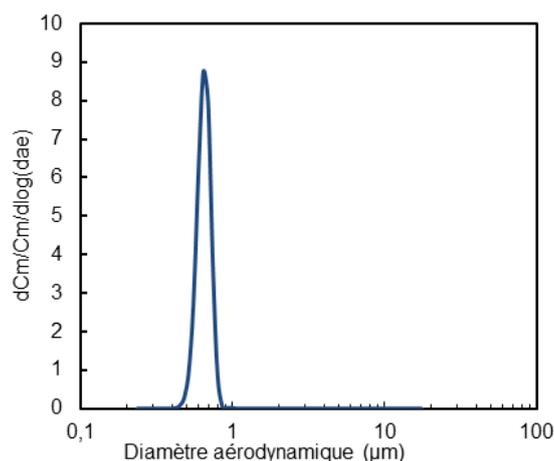


Figure 4 : Granulométrie mesurée par le compteur Welas après sélection à 0,65  $\mu\text{m}$

On observe une granulométrie monodispersée centrée autour d'un diamètre de 0,63  $\mu\text{m}$  avec un écart-type géométrique de 1,09.

D'autres points d'étalonnage ont été réalisés et montrent que le compteur Welas mesure correctement la granulométrie pour des aérosols monodispersés. En revanche, la mesure sur des aérosols polydispersés ne peut pas être considérée pertinente au vu des résultats obtenus. Pour la qualification de la buse Teckeleo, seules les mesures impacteur ont donc été retenues.

#### 4. CONCLUSION

La buse de nébulisation Tekceleo a été qualifiée pour la génération d'aérosols calibrés à 3  $\mu\text{m}$ . La génération est stable et répétable tout au long des essais. Néanmoins, les granulométries obtenues avec des solutions alcooliques de DEHS ne sont pas monodispersées (écart-type géométrique autour de 1,90). Il est possible d'obtenir des diamètres médians différents en faisant varier la concentration du mélange DEHS/éthanol. Un questionnement a été soulevé concernant la pertinence des mesures Welas pour les aérosols polydispersés et montre également le besoin de disposer d'aérosols de référence polydispersés et de réaliser des essais dans ces conditions, en plus des étalonnages élémentaires avec des aérosols monodispersés.

#### RÉFÉRENCES

W. C. Hinds, *Aerosol technology: Properties, Behavior, and measurement of Airborne Particles*, Second. New York: Wiley Interscience, 1999

TOPAS, Atomizer aerosol generator, ATM 228, publié en mai 2020 [consulté en septembre 2021]

TEKCELEO, Notre gamme plug&spray, tekceleo [consulté en août 2021]