

# ETUDE DES PERFORMANCES DE DEUX COMPTEURS INDIVIDUELS A NOYAUX DE CONDENSATION

S. Bau\*<sup>1</sup> et R. Payet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Métrologie des Aérosols, INRS, 54519 Vandoeuvre les Nancy, France

\*Courriel de l'orateur : sebastien.bau@inrs.fr

## TITLE

**Performance study of two personal Condensation Particle Counters**

## RESUME

Bien qu'une variété d'instruments soit disponible sur le marché, les compteurs de particules à noyaux de condensation (CPC) constituent les dispositifs les plus souvent déployés en hygiène du travail pour évaluer l'exposition aux aérosols submicroniques suivant la métrique nombre. Récemment, les premiers CPC individuels ont été conçus par une société américaine, Enmont LLC (Environmental Monitoring Technology). Dans ce travail, les performances de deux nouveaux modèles, les PUFPP C110 et C200, ont été caractérisées en laboratoire. Nos résultats expérimentaux mettent en évidence que les réponses des deux CPC individuels étudiés sont comparables et satisfaisantes, de l'ordre de +20% par rapport à la concentration de référence (TSI 3752). Il est cependant important de noter que leurs réponses sont affectées par la taille des particules ainsi que leur nature hydrophobe. De plus, des courbes d'efficacité de comptage ont été établies, conduisant à un  $d_{50}$  d'environ 20-25 nm, tandis que le temps de réponse à 95% s'est avéré être de 3 à 4 secondes.

## ABSTRACT

Though a variety of instruments are available on the market, Condensation Particle Counters (CPC) constitute the devices that are the most frequently deployed in occupational hygiene to assess exposure to airborne nanoparticles. Recently, the first individual CPC have been designed by an American company, Enmont LLC (Environmental Monitoring Technology), thus allowing personal measurements to be carried out. In this work, the reliability of two new specimens, the PUFPP C110 and C200, have been characterized in the laboratory. Our experimental results highlight that both individual CPC under study have a comparable and satisfying response, which was found to be +20% with regards to the reference concentration (TSI 3752). Nonetheless, it is important to notice that their responses are impacted by particle size and hydrophobicity. In addition, counting efficiency curves have been established, leading to  $d_{50}$  of ~20-25 nm, while the 95% response time was found to be 3-4 seconds.

**MOTS-CLÉS** : CPC individuel, performances / **KEYWORDS**: personal CPC, performances

## 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Ce travail s'inscrit dans le cadre général de l'étude des performances des instruments pouvant être déployés en hygiène du travail pour évaluer l'exposition aux aérosols submicroniques. Bien qu'une variété d'instruments soit disponible sur le marché, les compteurs de particules à noyaux de condensation (CPC) constituent les appareils les plus utilisés (plus de 60%) lors de mesurages effectués en atmosphères professionnelles, selon une récente revue de la littérature (Viitanen et al. 2017). En dépit du manque d'éléments toxicologiques ou épidémiologiques confirmant la pertinence de cette métrique vis-à-vis de potentiels effets sur la santé, la concentration en nombre constitue néanmoins un paramètre pouvant être intégré dans une démarche de prévention. Compte tenu de leur portabilité et de leur autonomie, les CPC constituent ainsi de bons candidats pour la caractérisation des aérosols présents dans l'air des lieux de travail.

Les valeurs limites d'exposition professionnelles réglementaires (INRS 2016) sont fondées sur des prélèvements individuels, idéalement sur une durée de 8 heures, dans la zone respiratoire du salarié, qui est définie par une hémisphère de 30 cm de rayon autour du nez ou de la bouche de l'individu (Vincent 1995). Si de telles exigences ne s'appliquent pas directement à la mesure en temps réel des niveaux d'exposition aux aérosols, la mise en œuvre d'appareils de mesure en temps réel, à des fins d'évaluation des risques, s'est démocratisée ces dernières années (Bau, Witschger, et al. 2015), accompagnée par la miniaturisation des appareils de mesure, visant ainsi une utilisation individuelle.

A ce jour, les seuls CPC disponibles sur le marché offrant la possibilité de réaliser des mesures individuelles sont conçus par la société Enmont LLC (Environmental Monitoring Technology). Développé à l'université de Cincinnati depuis une dizaine d'années (He et al. 2013), le premier modèle (PUFPP pour *portable ultrafine particle counter*) a fait l'objet d'un étude de performances conduite en laboratoire (Asbach et al. 2017), et a également été impliqué dans des campagnes de mesure de terrain (Ryan et al. 2015; Grabinski et al. 2017). Les concepteurs indiquent que le PUFPP n'est pas sensible à l'orientation et fonctionne avec de l'eau comme fluide de saturation/condensation. Il ressort des études publiées une bonne corrélation entre le PUFPP et les appareils de référence utilisés, en l'absence de particules hydrophobes.

En 2019, l'INRS a fait l'acquisition de deux CPC à eau pouvant être portés en individuel, les PUFF C110 et C200, dont les caractéristiques sont détaillées au paragraphe suivant. Cet article présente les performances de ces compteurs, obtenues en laboratoire, ainsi qu'une première application sur le terrain.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Méthodologie

Une approche qui consiste à comparer, pour différents aérosols d'essais, la concentration moyenne (sur une période de l'ordre de 15 minutes) relevée par l'appareil à étudier à celle obtenue par un instrument de mesure de référence (TSI 3752), a été adoptée (Bau et al. 2019). L'ensemble des données permet de caractériser les performances des appareils étudiés selon différentes modalités (diamètre modal, nature des particules). Les spécifications techniques des appareils impliqués sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques techniques (données constructeur) des appareils impliqués

Caractéristique	TSI 3752	PUFP C110	PUFP C200
$d_{50}$ (nm)	4	5	6
Concentration maximale en mode impulsionnel ( $\#/cm^3$ )	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
Fluide de travail	Butanol	Eau	Eau
Dimensions (H x l x L, cm)	30 x 28,6 x 34,3	7 x 11 x 19	7 x 10 x 13
Poids (kg)	9	1	0,75
Autonomie de la batterie (h)	NA	6	3

### 2.2. Aérosols d'essais

Les essais expérimentaux ont été conduits au laboratoire sur 80 aérosols aux propriétés variables, comme le montre le Tableau 2. Les aérosols d'essais ont été produits au laboratoire, au sein de l'installation CAIMAN (Jacoby, Bau, and Witschger 2011), soit en voie sèche (électro-érosion, PALAS GFG1000), soit en voie humide (nébuliseur Laskin). Le Tableau 1 indique que les concentrations en nombre couvrent la gamme de  $\sim 2 \cdot 10^3$  à  $\sim 300 \cdot 10^3 \#/cm^3$ , tandis que le diamètre modal des aérosols, issu de mesures SMPS, est compris entre  $\sim 15$  et  $\sim 200$  nm. Quelques exemples d'aérosols d'essais sont présentés sur la Figure 1.

Tableau 2. Aérosols d'essais

Mode de génération	Substance	Gamme de diamètre modal (nm)	Gamme de concentration ( $10^3 \#/cm^3$ )	Particules hydrophobes ?	$n$
Électro-érosion	Aluminium	14 – 121	19.0 – 251.6	Non	17
	Titane	40 – 197	23.5 – 138.7	Non	6
	Cuivre	16 – 33	34.4 – 163.5	Non	6
	Carbone	44 – 148	2.3 – 150.0	Non	13
Nébulisation	NaCl	36 – 84	30.1 – 79.9	Non	13
	KCl	35 – 75	58.2 – 101.0	Non	6
	CsCl	81 – 105	22.5 – 117.9	Non	4
	<i>n</i> -C <sub>13</sub>	42 – 43	67.3 – 321.7	Oui	3
	<i>n</i> -C <sub>14</sub>	48 – 49	19.7 – 80.8	Oui	3
	<i>n</i> -C <sub>15</sub>	36 – 38	8.1 – 35.2	Oui	3
	<i>n</i> -C <sub>16</sub>	31 – 32	37.1 – 160.0	Oui	3
	DEHS	159 – 172	7.7 – 94.1	Oui	3

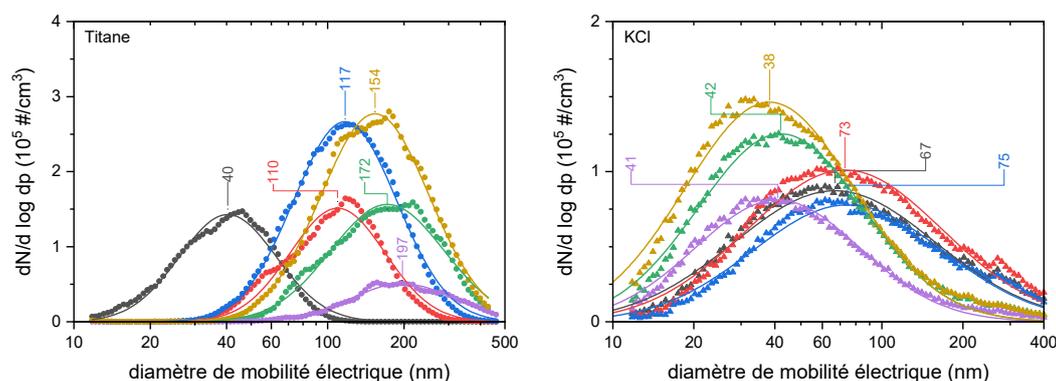


Figure 1. Exemples de distributions granulométriques d'aérosols d'essais (les valeurs indiquées sur les graphes correspondent au mode de chacune des distributions par ajustement lognormal)

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'ensemble des résultats est présenté sur la figure 2 pour les deux modèles de PUFF étudiés. La zone grisée représente l'intervalle de  $\pm 30\%$  par rapport à la première bissectrice, et les barres d'erreurs représentent un écart-type.

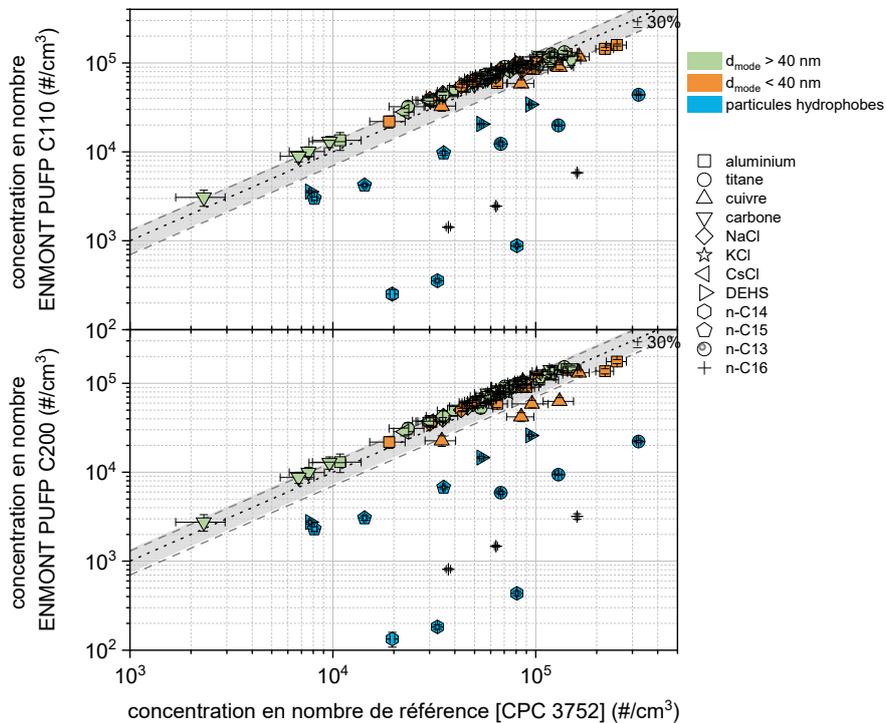


Figure 2. Résultats expérimentaux de comparaison des concentrations en nombre

Les résultats expérimentaux mettent en évidence que les performances des deux CPC individuels étudiés sont comparables et satisfaisantes, de l'ordre de  $+20\%$  par rapport à la concentration de référence. Cependant, la réponse des deux appareils est affectée à la fois par (1) le caractère hydrophobe des particules ( $-80\%$  à  $-90\%$  par rapport à la concentration de référence, lorsque les aérosols à mesurer sont hydrophobes, points bleus) du fait de l'utilisation d'eau comme fluide de travail, et (2) la taille des particules (sous-estimation de la concentration en nombre pouvant atteindre  $40\%$  lorsque le diamètre modal est inférieur à  $40\text{ nm}$ , points oranges). En l'absence de spécifications sur le  $d_{90}$ , diamètre pour lequel l'efficacité de comptage est au moins égale à  $90\%$ , le seuil de  $40\text{ nm}$ , correspondant environ au double du  $d_{50}$  (Figure 3), a été retenu.

Des essais complémentaires, conduits avec des aérosols monodispersés de cuivre et de carbone, produits à l'aide d'un analyseur différentiel de mobilité électrique (DMA TSI 3081 et 3082), ont également permis la détermination des courbes d'efficacité de comptage des deux CPC individuels. Les résultats sont présentés sur la Figure 3, et indiquent des  $d_{50}$  entre  $\sim 20$  et  $\sim 25\text{ nm}$ , ce qui est en désaccord avec les spécifications du constructeur, qui annonce des valeurs inférieures à  $10\text{ nm}$  (Tableau 1).

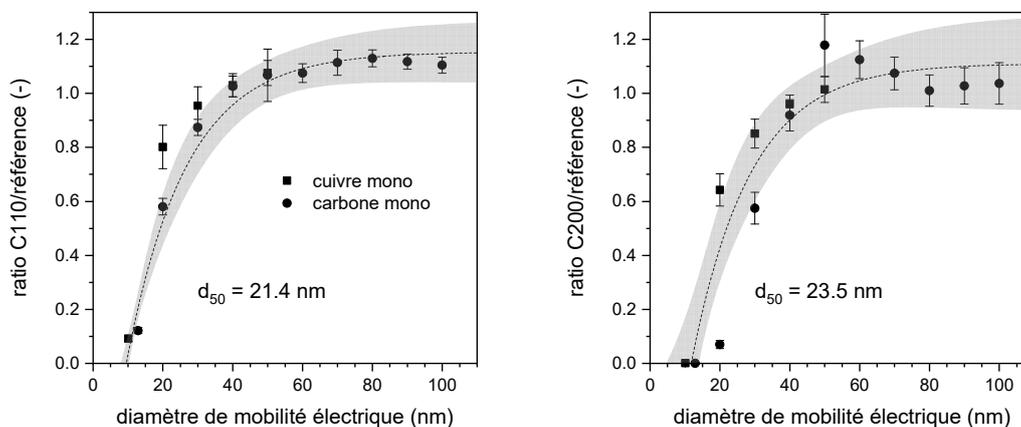


Figure 3. Résultats expérimentaux de l'efficacité de comptage des CPC individuels

Le temps de réponse à 95% a également été mesuré ; les résultats sont similaires pour les deux modèles, de l'ordre de 3 à 4 secondes, qu'il s'agisse d'une variation positive ou négative du niveau de concentration. Par ailleurs, la durée d'utilisation a été évaluée à ~ 6 heures pour le C110 et ~ 4 heures pour le C200, en lien direct avec l'autonomie de la batterie, comme cela est spécifié dans le Tableau 1.

Enfin, les deux CPC individuels ont été intégrés à une visite d'atelier préalable à une campagne de mesurage afin d'évaluer leur facilité de mise en œuvre sur le terrain (Figure 4). Portés par deux individus se déplaçant durant cette visite, chacun des deux PUFP était situé à proximité d'un DiSCmini (Bau, Zimmermann, et al. 2015). Le coefficient de corrélation (coefficient de Spearman) entre les signaux du PUFP C110 et du DiSCmini est de 0,88, ce qui témoigne d'un comportement cohérent. Le PUFP C200 a, quant à lui, subi un dysfonctionnement lié à un manque d'alimentation en eau (~ 13:05, Figure 4).

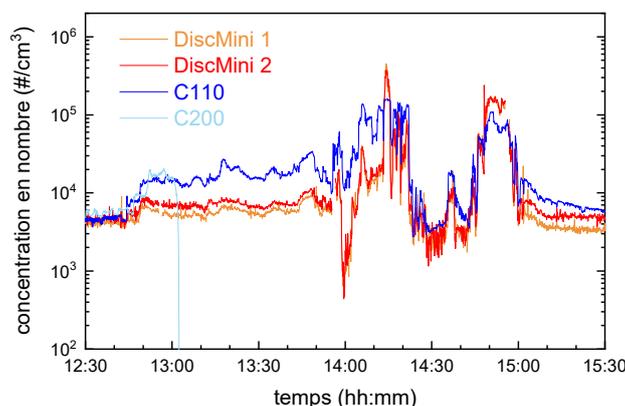


Figure 4. Comparaison de différents appareils de mesure individuelle dans le cadre d'une visite de terrain

#### 4. CONCLUSION

Ce travail expérimental, conduit au laboratoire, a permis de caractériser deux modèles de CPC individuels, fonctionnant sur batterie, apparus récemment sur le marché. On retiendra qu'en l'absence de particules hydrophobes, leurs mesures sont concordantes avec celle provenant d'appareils de référence, avec une surestimation systématique de l'ordre de 20%, et ce jusqu'à des niveaux de concentration de  $10^5$  #/cm<sup>3</sup>.

Si d'autres mises en situation s'avèrent encore utiles afin de compléter ces données préliminaires, il ressort de cette étude que ces dispositifs sont adaptés à une utilisation dans le cadre de campagnes de mesurage des expositions professionnelles aux aérosols.

- Asbach, C., A. Schmitz, F. Schmidt, C. Monz, and A.M. Todea. 2017. 'Intercomparison of a personal CPC and different conventional CPCs', *Aerosol and Air Quality Research*, 17: 1132-41.
- Bau, S., R. Payet, T. Tritscher, and O. Witschger. 2019. 'Intercomparison in the laboratory of various Condensation Particle Counters challenged by nanoaerosols in the range 6 – 460 nm', *Journal of Physics: Conference Series*, 1323: 012004.
- Bau, S., O. Witschger, B. Galland, and P. Martin. 2015. 'Métrologie en temps réel de substances chimiques au poste de travail: intérêts et limites', *Hygiène et Sécurité du Travail*, 239: 6-10.
- Bau, S., B. Zimmermann, R. Payet, and O. Witschger. 2015. 'Laboratory study of the performance of the miniature Diffusion Size Classifier (DiSCmini) for various aerosols in the 15-400 nm range', *Environmental Science: Processes and Impacts*, 17: 261-69.
- Grabinski, Christin M, Mark M Methner, Jerimiah M Jackson, Alexander L Moore, Laura E Flory, Trevor Tilly, Saber M Hussain, and Darrin K Ott. 2017. 'Characterization of exposure to byproducts from firing lead-free frangible ammunition in an enclosed, ventilated firing range', *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14: 461-72.
- He, Xinjian, Sang-Young Son, Kelley James, Michael Yermakov, Tiina Reponen, Roy T McKay, and Sergey A Grinshpun. 2013. 'Analytical performance issues: exploring a novel ultrafine particle counter for utilization in respiratory protection studies', *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10: D52-D54.
- INRS. 2016. "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France - ED 984." In *ED 684*, 28 p.
- Jacoby, J., S. Bau, and O. Witschger. 2011. 'CAIMAN: a versatile facility to produce aerosols of nanoparticles', *Journal of Physics: Conference Series*, 304: 012014.
- Ryan, Patrick H, Sang Young Son, Christopher Wolfe, James Lockey, Cole Brokamp, and Grace LeMasters. 2015. 'A field application of a personal sensor for ultrafine particle exposure in children', *Science of the Total Environment*, 508: 366-73.
- Viitanen, Anna-Kaisa, Sanni Uuskulainen, Antti J. Koivisto, Kaarle Hämeri, and Timo Kauppinen. 2017. 'Workplace Measurements of Ultrafine Particles—A Literature Review', *Annals of Work Exposures and Health*, 61: 749-58.
- Vincent, James H. 1995. *Aerosol science for industrial hygienists* (Elsevier).