

Mesure en temps réel de la concentration en nombre d'un aérosol submicronique au moyen d'un compteur de noyaux de condensation

CONTEXTE

Les Compteurs de Noyaux de Condensation (CNC) offrent la possibilité de mesurer en temps réel la concentration en nombre des particules submicroniques en suspension dans l'air. De nombreux modèles sont disponibles sur le marché, parmi lesquels différents appareils portables dédiés à des mesures de terrain. Sur la base d'un CNC pris pour exemple, cette fiche décrit le principe de fonctionnement des CNC, leur mise en œuvre et présente des possibilités de traitement des données obtenues.

Introduction	3
Principe de fonctionnement et caractéristiques des Compteurs de Noyaux de Condensation	3
Réalisation de la mesure	5
<i>Mise en marche et vérifications préalables à la mesure</i>	6
<i>Acquisition des données</i>	7
<i>Arrêt de l'instrument</i>	7
<i>Mise en œuvre</i>	8
<i>Remarque sur la durée de la mesure</i>	8
<i>Information contextuelle</i>	9
Traitement des données	9
<i>Profil temporel</i>	9
<i>Profil spatial</i>	10

Profil par activité	11
Limites d'utilisation	12
Non spécificité de la mesure des CNC	12
Temps de réponse des instruments.....	12
Vérification / Etalonnage.....	13
Vérification en laboratoire	13
Maintenance périodique et étalonnage	14
Bibliographie.....	14
Historique.....	15

INTRODUCTION

Différentes stratégies de mesurage [1-5] des expositions professionnelles aux aérosols de nanoparticules préconisent la mise en œuvre de **techniques de mesure en temps réel**. Si ces dernières nécessitent encore des développements, elles offrent, entre autres, la possibilité de :

- ◆ Réaliser des études de postes en mettant en évidence les différentes tâches associées aux émissions (existence de pics d'exposition/émission) [6],
- ◆ Caractériser les sources potentielles d'aérosols submicroniques de façon qualitative (screening) ou quantitative dans le temps et dans l'espace (cartographie) [7-9],
- ◆ Valider des dispositifs de protection collective et en détecter les dysfonctionnements (alarmes) [10],
- ◆ Mettre en place une stratégie de prélèvement adaptée [11], reposant sur des visites préalables à des campagnes de mesurage.

Les techniques actuelles de mesure des aérosols en temps réel ne sont pas spécifiques par rapport à la nature chimique des particules. Pour réaliser l'évaluation des risques, il est alors indispensable de compléter la mesure à lecture directe par la détermination de la concentration (massique) des particules qui constituent les aérosols par l'intermédiaire d'un prélèvement permettant d'accéder à une fraction dite conventionnelle. Dans ce cadre, il est également nécessaire d'accéder à la composition chimique des particules qui constituent les aérosols. Compte tenu de l'absence de valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) reposant sur des mesures en temps réel, l'approche classique [12] reste la seule applicable d'un point de vue réglementaire.

La concentration en nombre des particules qui composent les aérosols submicroniques compte parmi les déterminants des effets sur la santé liés à leur inhalation [13]. Ce document présente un focus sur la mise en œuvre des Compteurs de Noyaux de Condensation (CNC), qui constituent la famille d'appareils capables de mesurer la **concentration en nombre** des aérosols submicroniques présents dans l'air des lieux de travail.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES DES COMPTEURS DE NOYAUX DE CONDENSATION

Les CNC constituent les appareils de référence pour la mesure de la **concentration en nombre** des particules submicroniques. Conçus il y a maintenant plus d'un siècle [14, 15], ces appareils sont basés sur la détection optique de particules au moyen d'un faisceau lumineux incident et d'un photodétecteur (Figure 1). Pour s'assurer qu'elles atteignent une taille pouvant être détectée optiquement, les particules traversent successivement une chambre de saturation puis une chambre de condensation. Il en résulte une croissance artificielle des particules par la condensation d'une vapeur initialement adsorbée à leur surface.

Les CNC fournissent en temps réel la concentration en nombre de particules, C_N , à partir du nombre de particules que le dispositif a compté par seconde \dot{n} et du débit de prélèvement Q_p :

$$C_N = \frac{\dot{n}}{Q_p}$$

En fonction des modèles, de la géométrie interne, des débits de fonctionnement et de la nature du fluide de travail (eau, isopropanol, butanol), la gamme des tailles de particule peut être relativement variable. D'un point de vue général, la limite haute est de l'ordre de quelques micromètres. Cette dernière est très peu documentée dans la littérature [16], et l'utilisation d'un sélecteur en entrée (cyclone) est recommandée afin de fixer cette limite.

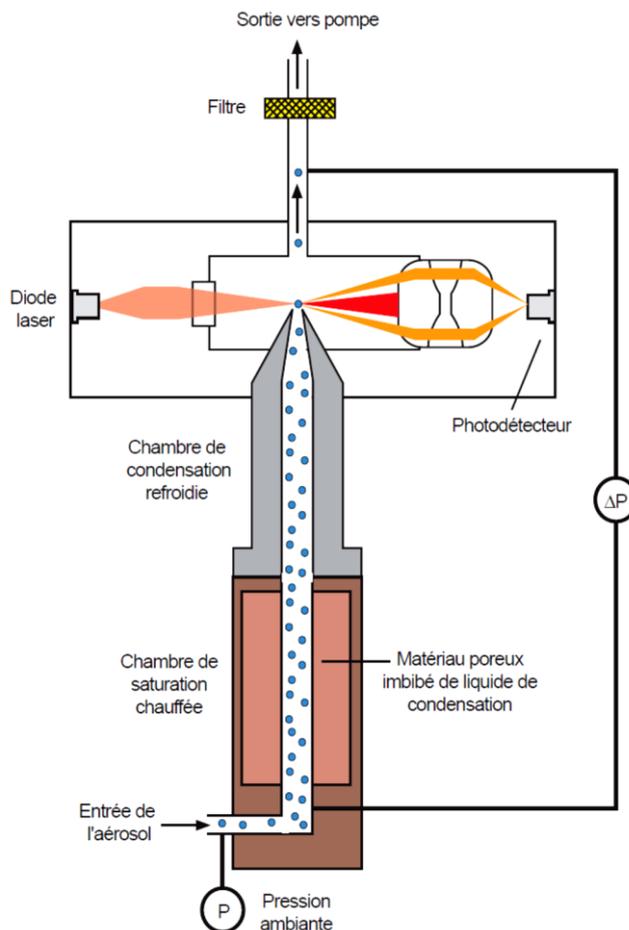


Figure 1 : Schéma de principe d'un compteur de noyaux de condensation [17]

Une bonne connaissance des plages d'utilisation des CNC est primordiale pour l'interprétation des résultats. Pour cela, l'utilisateur doit connaître les caractéristiques intrinsèques de l'appareil :

- ◆ **son efficacité de détection à 50%**, correspondant au diamètre des particules pour lequel un CNC compte une particule sur deux. Ce paramètre est généralement compris entre 2 nm et 20 nm. En l'absence d'éléments relatifs à la distribution granulométrique de l'aérosol, l'efficacité de détection ne peut pas être prise en compte dans la valeur de la concentration reportée par l'appareil ;
- ◆ **son temps de réponse**, qui traduit le temps mis pour atteindre 95% de la concentration finale suite à une variation de celle-ci ;
- ◆ **ses modes de comptage**, qui sont généralement au nombre de deux : un mode impulsif pour les faibles concentrations ($< 10^3$ particules/cm³, notée #/cm³) où chaque particule est détectée individuellement, et un mode photométrique (jusqu'à 10^7 #/cm³ pour certains modèles) où la concentration en nombre est obtenue à partir de l'intensité totale de la lumière diffusée.

Un tableau regroupant les caractéristiques techniques d'un ensemble de CNC (liste non exhaustive) disponibles sur le marché est proposé dans [18]. Depuis la parution de ce document, il existe désormais sur le marché un CNC conçu aux Etats-Unis fonctionnant à eau et pouvant être utilisé pour réaliser des mesures individuelles de la concentration en nombre des aérosols submicroniques à laquelle un travailleur est exposé. Pour l'heure, les performances de cet instrument ne sont pas complètement documentées et demandent à être complétées par un retour d'expériences de déploiement en situations de travail.

REALISATION DE LA MESURE

Il existe de nombreux modèles de CNC sur le marché, dont la grande majorité est destinée à réaliser des mesures à point fixe. Seuls quelques-uns sont portables et ont été conçus pour des applications en hygiène industrielle. Les étapes d'utilisation indiquées ci-dessous sont applicables à tout type de CNC et ne sont donc pas spécifiques au modèle utilisé pour l'exemple.

Sans qu'il fasse l'objet d'une recommandation par l'INRS, le compteur de noyaux de condensation CNC TSI® 3007 est pris pour exemple ici (figures 2 et 3). Il s'agit d'un appareil portable qui possède une efficacité de comptage de 50% pour un diamètre de particules de 10 nm. Il procède au comptage des particules en mode impulsionnel sur l'ensemble de sa gamme de concentration, de 0 à 10^5 #/cm³, grâce à une dilution interne. Son débit de fonctionnement est de 0,7 L/min. Il peut fonctionner sur batterie (6 piles AA) pendant une durée de ~ 8 heures. Il s'agit d'un appareil relativement léger (< 2 kg) et compact (~ 30 x 15 x 15 cm).

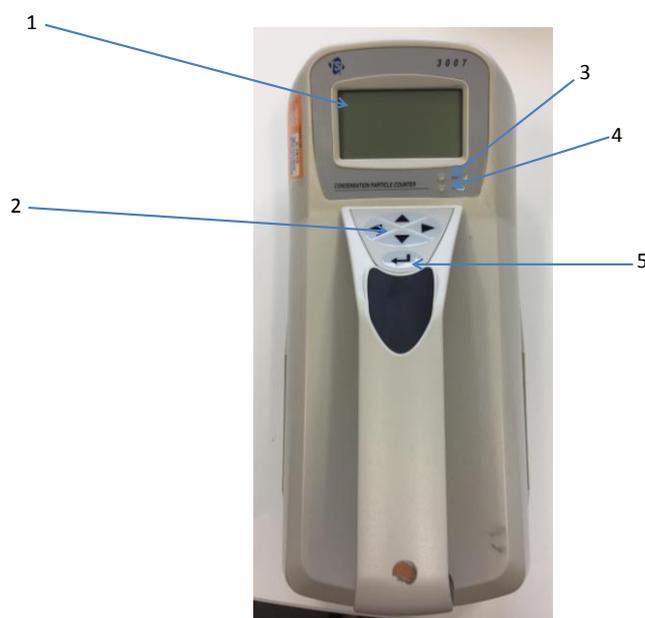


Figure 2 : Photographie du CNC TSI 3007 — 1 : Écran d'affichage ; 2 : Flèches directionnelles ; 3 : Voyant de la mesure de particules (orange) ; 4 : Voyant de la mise sous tension de l'appareil (vert) ; 5 : Bouton d'Entrée.

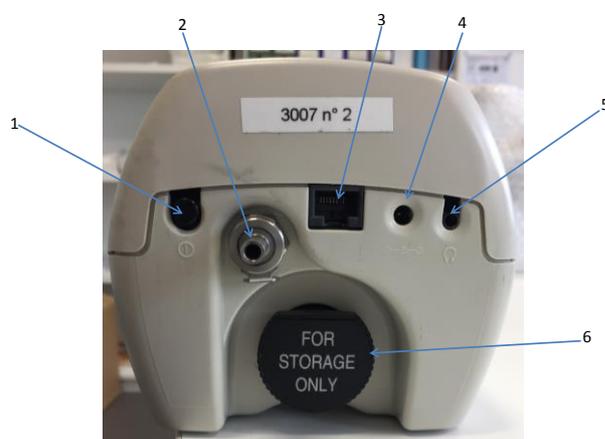


Figure 3 : Photographie de la face arrière du CNC TSI 3007 — 1 : Bouton On/Off ; 2 : Aspiration de l'aérosol ; 3 : Port RJ45 (connexion PC) ; 4 : Adaptateur AC ; 5 : Prise Jack pour écoute audio ; 6 : Cartouche d'alcool à insérer

Comme indiqué dans le manuel d'utilisation de l'appareil, celui-ci doit constamment rester en position horizontale pour éviter un écoulement du fluide de travail au sein de l'appareil. C'est le cas de tous les CNC existant sur le marché, à l'exception du CNC individuel mentionné précédemment. Dans tous les cas, l'utilisateur est invité à se référer aux préconisations d'utilisations mentionnées dans le manuel de l'appareil.

MISE EN MARCHÉ ET VERIFICATIONS PREALABLES A LA MESURE

◆ Installation de la cartouche d'alcool

- ▶ CNC éteint, ouvrir la capsule de stockage contenant de l'isopropanol¹ ;
- ▶ Retirer le capuchon du CNC ;
- ▶ Retirer la cartouche et l'introduire dans le CNC ;
- ▶ Enfoncer entièrement la cartouche et tourner dans le sens horaire jusqu'à la butée (Figure 4).



Figure 4 : Installation de la cartouche d'isopropanol

◆ Vérification du débit

- ▶ Allumer le CNC via son bouton On/Off ;
- ▶ Attendre 10 minutes le temps que l'appareil effectue sa mise en marche (atteinte des consignes de températures des chambres de saturation et de condensation) ;
- ▶ A la fin du « Warmup », vérifier à l'aide d'un débitmètre que le débit du CNC est de $0,7 \pm 0,1$ L/min (Figure 5).

¹ Il est rappelé que l'isopropanol doit être changé toutes les semaines en raison de sa nature hydrophile.



Figure 5 : Vérification du débit du CNC

◆ Vérification du zéro

- ▶ Connecter un filtre très haute efficacité à l'entrée du CNC ;
- ▶ Vérifier que la concentration est inférieure à 5 #/cm³ durant 60 secondes (Figure 6).

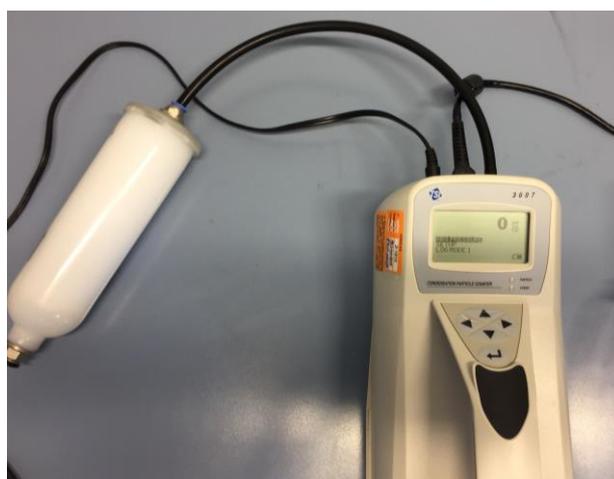


Figure 6 : Vérification du zéro du CNC

L'instrument est maintenant opérationnel.

ACQUISITION DES DONNEES

L'appareil peut être connecté à un PC pour la visualisation en temps réel du signal (logiciel AIM9 ou versions supérieures), ou utilisé indépendamment en mode « acquisition » (sélectionner « LOGMODE » sur l'écran de l'instrument : la mémoire, d'une capacité de 60 000 points, correspond à 16 heures d'acquisition de données avec un intervalle de temps de 1 seconde).

ARRET DE L'INSTRUMENT

Pour arrêter l'appareil, suivre les étapes suivantes :

- ◆ Connecter un filtre très haute efficacité à l'entrée du CNC ;

en nombre des aérosols submicroniques

- ◆ Attendre que la concentration mesurée soit inférieure à 5 \#/cm^3 durant quelques secondes ;
- ◆ Eteindre l'appareil à l'aide du bouton On/Off ;
- ◆ Retirer le bouchon de la capsule de stockage contenant l'isopropanol ;
- ◆ Retirer la cartouche d'isopropanol du CNC et la replacer dans la capsule de stockage ;
- ◆ Insérer le capuchon sur le CNC.

MISE EN ŒUVRE

Comme cela est mentionné en Introduction, un Compteur de Noyaux de Condensation peut être utilisé à différentes fins :

- ◆ Caractérisation des sources d'aérosols

- ▶ Emission des procédés

Dans ce cas, l'appareil est relié à un point de prélèvement situé au plus proche de la source supposée d'un aérosol au moyen d'un tuyau, de préférence antistatique et de faible longueur pour limiter les pertes de particules.

- ▶ Mesure des niveaux de concentrations de particules au voisinage d'un poste de travail

L'appareil est utilisé à point fixe. Il pourra être positionné à hauteur des voies respiratoires, par exemple en utilisant un pied photo et un support adapté.

- ◆ Réalisation d'une étude de poste

L'appareil opère dans ce cas sur batterie et en mode acquisition de données. L'instrument devra être maintenu en position horizontale par la personne effectuant la mesure, au plus près du travailleur, afin de suivre ses déplacements et de façon à refléter l'ensemble des aérosols auxquels celui-ci est soumis durant la période de mesure. La mise en œuvre d'un système d'acquisition d'images peut être utile en vue d'attribuer un niveau de concentration à une opération ou activité particulière.

- ◆ Mise en place d'une stratégie de prélèvement adaptée

De la même manière, l'appareil est opéré sur batterie et en mode acquisition. Dans cette situation, il est nécessaire de pouvoir faire correspondre l'instant de la mesure avec la position au sein d'un environnement de travail, associée à un relevé d'informations contextuelles.

REMARQUE SUR LA DUREE DE LA MESURE

Pour ce qui concerne le CNC 3007 décrit ici et fonctionnant avec de l'isopropanol comme fluide de travail, la durée d'utilisation de la cartouche est de 8 heures à température ambiante (20°C) et de 4 heures pour une température de 50°C . En cas de besoin, la mèche et la grille à l'intérieur de la cartouche d'alcool peuvent être changées sur le terrain (2 mèches et 2 grilles sont incluses avec l'appareil). Pour ce faire, se munir de gants, saisir la cartouche des deux mains, dissocier l'embout de la cartouche en exerçant une légère pression. Retirer la mèche et sa grille à l'aide de l'embout de bois fourni et remplacer les deux éléments. Fixer l'embout de la cartouche à la cartouche en exerçant une légère pression. Replacer enfin la cartouche complète dans le réservoir d'alcool et attendre 1 heure.

Pour le cas des CNC portables plus récents fonctionnant avec de l'eau comme fluide de travail, la durée de la mesure peut être sensiblement augmentée, car ces appareils utilisent l'humidité de l'air prélevé comme fluide de condensation. C'est alors l'autonomie de la batterie qui limite la durée d'utilisation.

INFORMATION CONTEXTUELLE

Comme pour toute mesure en temps réel, une observation pertinente de l'environnement dans lequel s'effectue la mesure (source, champ proche, et éventuellement lointain) doit être réalisée en parallèle, de sorte qu'une concentration puisse être associée à une activité, une co-activité, une étape de fonctionnement d'un procédé, une perturbation, etc. Pour aider cette observation, des captures vidéo peuvent être réalisées et des méthodes de synchronisation, dites de Video Exposure Monitoring [19], avec les données des CNC éventuellement mises en œuvre.

TRAITEMENT DES DONNEES

A l'heure actuelle, le développement d'outils d'interprétation des données et leur validation sur des situations de terrain demeurent nécessaires. Nous proposons ici des exemples de traitement de données pouvant être appliqués à un grand nombre de situations. Les approches proposées ici sont dépourvues de traitement statistique permettant le traitement systématique des données issues de la métrologie en temps réel, qui fait appel à des notions complexes [20, 21].

PROFIL TEMPOREL

Les mesures en temps réel obtenues à l'aide d'un CNC peuvent être représentées sous la forme de profil temporel (Figure 7), sur lequel on fera figurer les informations contextuelles pertinentes permettant de documenter les valeurs de concentration mesurées (ouverture de porte, mise en route du procédé, arrêt de la ventilation, etc.), telles que :

- ◆ la localisation de la mesure dans le cas d'un déplacement de l'appareil,
- ◆ l'activité (principale) de l'opérateur dans le cas d'une mesure à point fixe à proximité du travailleur,
- ◆ les paramètres opératoires du procédé dans le cas d'une mesure d'émission.

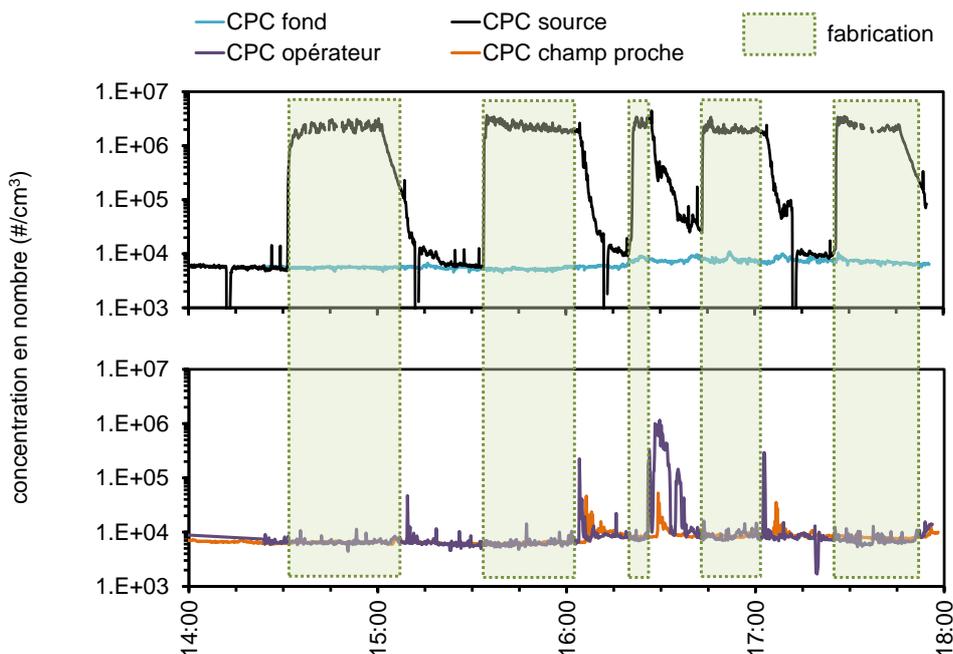


Figure 7 : Exemple de profil temporel

Exemple d'interprétation d'un profil temporel (Figure 7)

Le profil temporel présenté regroupe les mesures (synchronisées) réalisées simultanément par quatre CNC sur un poste de travail : à la source (courbe noire), en champ proche (courbe orange), sur opérateur (courbe violette) et en champ lointain, point de mesure dénommé « fond » (courbe bleue).

Les périodes correspondant aux différentes fabrications sont matérialisées en vert. Au cours de ces intervalles de temps, la concentration mesurée à la source est très élevée, de l'ordre de 2.10^6 \#/cm^3 , et relativement répétable entre les cycles.

La concentration de l'aérosol de fond est stable, aux environs de 8.10^3 \#/cm^3 , soit 250 fois moindre qu'au niveau de la source. Il n'est pas possible de mettre en évidence, sur ces données, un accroissement de la concentration de l'aérosol de fond qui serait lié au procédé étudié.

Des pics de concentration sont relevés après chaque période de fabrication sur la mesure correspondant au champ proche (courbe orange). Ces événements correspondent à l'ouverture de la porte de l'enceinte où a lieu la fabrication.

Enfin, la mesure réalisée sur l'opérateur, la courbe violette, permet de mettre en évidence à nouveau ces pics correspondant à l'ouverture de l'enceinte. De plus, l'intervention de l'opérateur dans la chambre de fabrication, aux alentours de 16h25, permet d'objectiver la forte concentration à la source avec un pic de concentration à $\sim 10^6 \text{ \#/cm}^3$. Au cours de cette opération, l'opérateur est équipé d'un masque de protection respiratoire de type P3.

Ces données permettent de mettre en place une temporisation de l'ordre de 8 minutes entre la fin du cycle de fabrication, ou toute intervention dans la chambre, et l'ouverture de la porte, afin d'éviter l'apparition de pics de concentration en dehors de l'enceinte.

PROFIL SPATIAL

Une approche alternative consiste à mettre en relation les concentrations relevées avec la position de la mesure. Ceci aboutit à l'élaboration de cartes (Figure 8). Ce type de traitement ne peut être obtenu que dans le cas où de multiples points de mesurage sont documentés ; ceci nécessite :

- ◆ soit l'utilisation de multiples appareils en parallèle,
- ◆ soit le déplacement d'un même appareil en différents points d'un lieu de travail. Cette situation repose sur l'hypothèse de stabilité de l'aérosol dans le temps (pendant toute la période de mesure aux différents points).

Par ailleurs, la mise en œuvre d'un logiciel spécifique adapté aux données spatiales est nécessaire.

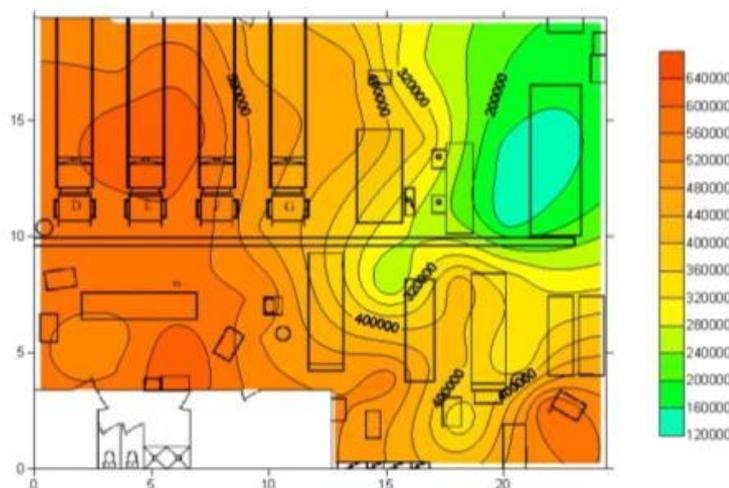


Figure 8 : Exemple de profil spatial

Exemple d'interprétation d'un profil spatial (Figure 8)

Les concentrations en nombre de particules submicroniques ont été cartographiées au sein d'un atelier de fabrication. Globalement, les concentrations en particules submicroniques sont élevées ($> 10^5 \text{ \#/cm}^3$).

Cette carte permet de mettre en évidence l'existence d'une source de particules (zone orange foncé) au niveau de la seconde machine en partant de la gauche. Un gradient de concentration est à noter de la gauche vers la droite, probablement dû à un apport d'air neuf par la ventilation générale. Enfin, en bas à droite, une zone morte peut être mise en exergue.

Au voisinage de la source d'émission, la concentration en particules est multipliée par ~ 5 . La réalisation d'un captage à la source, à l'aide d'une torche aspirante par exemple, pourrait permettre d'abaisser les niveaux de concentration au sein de l'atelier. En complément, l'augmentation du taux de renouvellement, potentiellement couplée à une meilleure filtration de l'air insufflé, pourrait être mise en œuvre.

PROFIL PAR ACTIVITE

Une description détaillée des tâches réalisées par l'opérateur peut également être utilisée de manière à construire un graphe représentant l'étendue des concentrations relevées par l'appareil au cours des différentes activités réalisées (Figure 9). Pour faciliter l'utilisation ultérieure des données intégrées au sein de bases de données, il faut veiller à « découper » le profil temporel en périodes correspondant à des activités/tâches distinctes (par exemple, « ponçage », « nettoyage »). Sur cet exemple, les valeurs indiquées sur le haut du graphe correspondent à la fraction du temps que l'opérateur a passé dans chacune des activités.

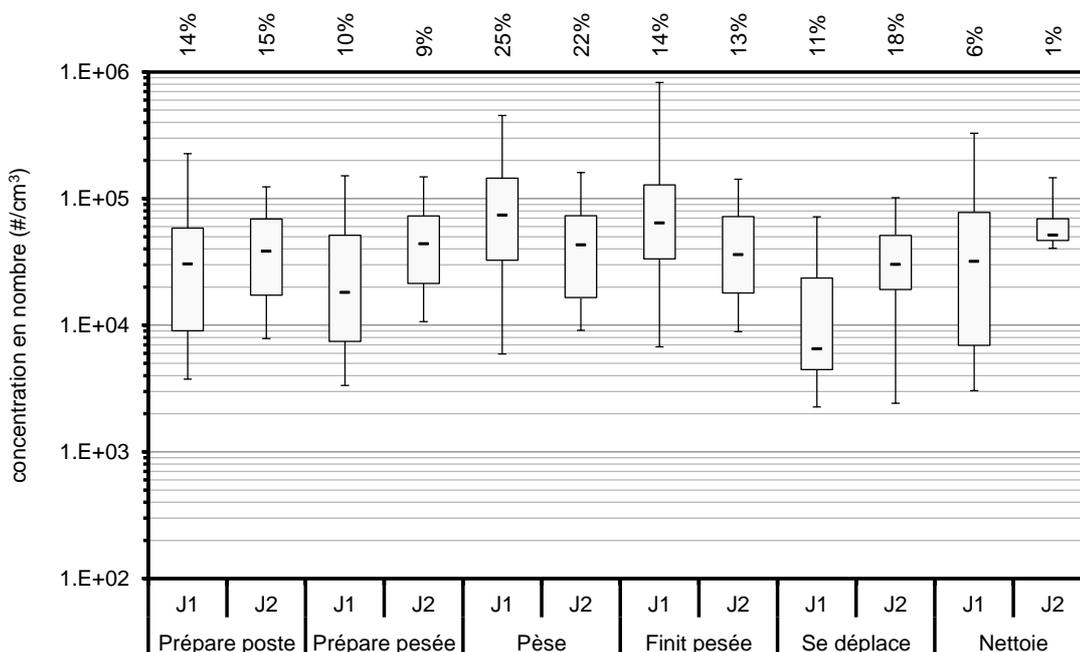


Figure 9 : Exemple des étendues de concentration par activité réalisée au voisinage de l'opérateur

Exemple d'interprétation d'un profil par activité (Figure 9)

Les étendues des concentrations (représentées par l'intervalle de confiance à 95%, correspondant aux extrémités des boîtes à moustaches) relevées par le CNC positionné à proximité d'un opérateur au cours de ses différentes activités sont présentées sous forme de boîtes à moustaches en figure 9. D'un point de vue général, les concentrations mesurées varient sur près de 3 ordres de grandeur, entre 2.10^3 \#/cm^3 et 10^6 \#/cm^3 .

Ce type de représentation permet de mettre en évidence les activités les plus exposantes (ici, « pèse », « finit pesée » et « nettoie »), au cours desquelles les concentrations sont de l'ordre de 6.10^4 \#/cm^3 (environ 30 fois la concentration de l'aérosol de fond), avec des maxima pouvant atteindre 10^6 \#/cm^3 .

La proportion de la durée de chacune des activités est également indiquée au-dessus du graphique. Cette indication montre que les tâches les plus exposantes représentent entre 39% (25+14%, jour 1) et 35% (22+13%, jour 2) de la durée totale de la mesure.

Ces éléments permettent de cibler les actions de prévention à mettre en place.

LIMITES D'UTILISATION

NON SPECIFICITE DE LA MESURE DES CNC

Sur un lieu de travail donné, l'aérosol auquel les travailleurs sont exposés est un mélange complexe de particules très diverses. Lorsqu'on cherche à caractériser les niveaux d'exposition d'un travailleur aux particules émises sur son poste de travail (et donc en lien avec son activité), seule une fraction de cet aérosol (l'aérosol cible), de composition chimique donnée, doit être mesurée. La mesure faite par un CNC n'étant pas spécifique à une nature de particule, il est recommandé de procéder systématiquement à une mesure de la concentration de l'aérosol de fond. Deux approches sont possibles :

- ◆ mesure séquentielle réalisée au préalable, au voisinage du poste de travail à caractériser, et en l'absence de toute activité supposée émettrice de particules (par exemple, lorsque c'est possible, la nuit précédant la campagne de mesurage),
- ◆ mesure simultanée à l'aide d'un second appareil à un point de référence judicieusement choisi, supposé non impacté par l'activité. Dans ce cas, il est important de connaître l'écart pouvant exister entre les mesures réalisées par les deux instruments utilisés (cf. paragraphe « Vérification en laboratoire »).

Il est important de noter que l'utilisation de CNC ne permet pas, à elle seule, de rendre compte de l'exposition d'un travailleur aux polluants particuliers ; à cette fin, l'utilisation de moyens de prélèvements conventionnels couplée à une analyse gravimétrique et/ou chimique est requise. De plus, d'autres techniques de mesure couvrant les particules de taille supérieure à $1 \mu\text{m}$ doivent être mises en œuvre pour décrire au mieux l'ensemble de l'aérosol.

TEMPS DE REPONSE DES INSTRUMENTS

Des précautions doivent être prises lors de l'interprétation de données obtenues sur des aérosols aux concentrations très variables dans le temps, par exemple lors de la mesure de pics d'exposition, lorsque les temps de réponse des CNC utilisés sont élevés.

De manière générale, le temps de réponse à 95%, qui représente le temps pour atteindre 95% de la valeur asymptotique suite à une variation de la concentration, est de l'ordre de quelques secondes pour les CNC portables destinés aux mesures de terrain. Si la détermination expérimentale du temps de réponse d'un CNC n'est pas triviale [22], il ne fait aucun doute que la valeur de concentration fournie par l'appareil suite à un événement court (< 10 secondes) est à considérer avec précaution, car celle-ci peut être sous-estimée.

La question du transfert des particules de la source jusqu'au point de mesure est également à considérer. Un décalage dans le temps peut ainsi être observé entre l'émission et la mesure en champs proche ou lointain.

VERIFICATION / ETALONNAGE

VERIFICATION EN LABORATOIRE

Pour vérifier les CNC, un dispositif de contrôle des compteurs (DCC) [18, 23-25] peut être utilisé. Il permet de comparer les mesures réalisées en parallèle par un CNC de référence et par un CNC à vérifier, en accord avec les recommandations de la norme européenne [26]. La mesure de référence est effectuée au moyen d'un CNC stationnaire, demeurant au laboratoire, étalonné périodiquement.

Le DCC offre la possibilité de vérifier l'exactitude d'un CNC à mesurer la concentration en nombre d'un aérosol maîtrisé sur une large gamme de concentrations couvrant quatre ordres de grandeur (de 10^2 à 10^6 #/cm³). Pour chaque niveau de concentration, le rapport entre la concentration mesurée par l'instrument à vérifier et celle reportée par l'appareil de référence est calculé.

L'utilisation de données issues DCC pour plusieurs spécimens d'appareils peut également apporter des éléments d'explication quant aux écarts systématiques pouvant exister entre eux (Figure 10).

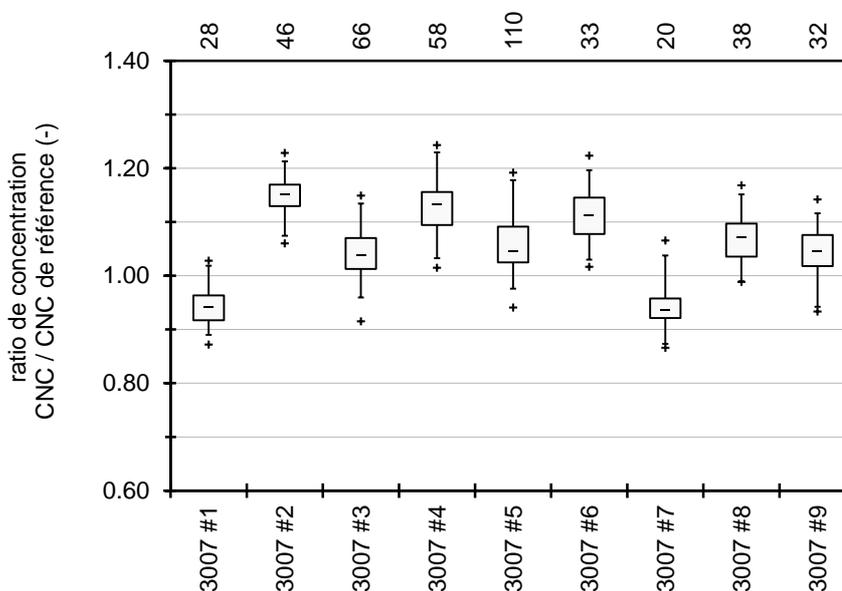


Figure 10 : Comparaison des performances de CNC 3007 TSI au moyen du DCC, tiré de [23]

Exemple d'interprétation des performances comparées de plusieurs appareils

La Figure 10 indique que l'ensemble des spécimens de CNC 3007 étudiés sur le banc DCC présente des ratios médians compris entre 0,9 et 1,15, ce qui est conforme aux tolérances fixées ($\pm 20\%$).

Il est également possible d'affirmer, grâce à la Figure 10, que les mesures issues des CNC 3007 #1 et 3007 #7 sont équivalentes, de même que celles issues des CNC 3007 #8 et 3007 #9.

En revanche, des écarts systématiques peuvent être observés entre les compteurs 3007 #2 et 3007 #7, pour lesquels les ratios médians sont respectivement de 1,15 et 0,94. Par conséquent, il faut s'attendre à ce que la mesure issue du CNC 3007 #7 soit près de 20% inférieure à celle réalisée par le CNC 3007 #2.

Si de telles données ne peuvent pas être utilisées en vue de corriger les concentrations mesurées, ces éléments sont à prendre en considération dans l'interprétation des données lorsque plusieurs appareils sont utilisés simultanément (ex. champ proche et champ lointain).

MAINTENANCE PERIODIQUE ET ETALONNAGE

L'appareil doit être révisé chez le fabricant avec une fréquence conseillée d'un an. Au cours de cette vérification, l'instrument est mis en œuvre sur un banc d'essais spécifique au fournisseur et comparé à des mesures fournies par un CNC de référence calibré. En cas de non-respect des tolérances imposées par le fabricant, un nouvel étalonnage est réalisé. La durée d'immobilisation de l'appareil est de l'ordre de 3 semaines (transport inclus).

En cas de problème technique, consulter la documentation fournie avec l'appareil ou contacter le fournisseur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] WITSCHGER O., LE BIHAN O., REYNIER M., DURAND C., MARCHETTO A., ZIMMERMANN E., *et al.* - Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2012, **226**, 41-55.
- [2] METHNER M., HODSON L., & GERACI C. - Nanoparticle emission assessment technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation exposure to engineered nanomaterials – part A. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2010, **7**, 127-132.
- [3] RAMACHANDRAN G., OSTRAT M., EVANS D. E., METHNER M. M., O'SHAUGHNESSY P., D'ARCY J., *et al.* - A strategy for assessing workplace exposures to nanomaterials. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2011, **8**, 673-685.
- [4] BROUWER D., VAN DUUREN-STUURMAN B., BERGES M., JANKOWSKA E., BARD D., & MARK D. - From workplace air measurement results towards estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects. *J. Nanopart. Res.*, 2009, **11**, 1867-1881.
- [5] OSTRAT M. L., THORNBURG J. W., & MALLOY Q. G. J. - Measurement strategies of airborne nanomaterials. *Environ. Eng. Sci.*, 2013, **30**, 126-132.
- [6] MOHR M., LEHMANN U., & RÜTTER J. - Comparison of Mass-Based and Non-Mass-Based Particle Measurement Systems for Ultra-Low Emissions from Automotive Sources. *Environ. Sci. Technol.*, 2005, **39**, 2229-2238.
- [7] PETERS T. M., HEITBRINK W. A., EVANS D. E., SLAVIN T. J., & MAYNARD A. D. - The mapping of fine and ultrafine particle concentrations in an engine machining and assembly facility. *Annals of Occupational Hygiene*, 2006, **50**, 249-257.
- [8] PETERS T. M., ELZEY S., JOHNSON R., PARK H., GRASSIAN V. H., MAHER T., *et al.* - Airborne monitoring to distinguish engineered nanomaterials from incidental particles for environmental health and safety. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2009, **6**, 73-81.
- [9] IMHOF D., WEINGARTNER E., VOGT U., DREISEIDLER A., ROSENBOHM E., SCHEER V., *et al.* - Vertical distribution of aerosol particles and NO_x close to a motorway. *Atmos. Environ.*, 2005, **39**, 5710-5721.
- [10] WALSER T., HELLWEG S., JURASKE R., LUECHINGER N. A., WANG J., & FIERZ M. - Exposure to engineered nanoparticles: model and measurements for accident situations in laboratories. *Sci. Total Environ.*, 2012, **420**, 119-126.
- [11] BAU S., WITSCHGER O., GALLAND B., & MARTIN P. - Métrologie en temps réel de substances chimiques au poste de travail: intérêts et limites. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2015, **239**, 6-10.
- [12] INRS - Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France - ED 984, 2016, 28 p.
- [13] WANG J., ASBACH C., FISSAN H., HÜLSER T., KUHLEBUSCH T. A. J., THOMPSON D., *et al.* - How can nanobiotechnology oversight science and industry: examples from environmental, health, and safety studies of nanoparticles (nano-EHS). *J. Nanopart. Res.*, 2011, **13**, 1373-1387.
- [14] AITKEN J. - On the Number of Dust Particles in the Atmosphere. *Nature*, 1888, **37**, 428-430.
- [15] MAYNARD A. D. - Learning from the past. *Nature Nanotechnology*, 2015, **10**, 482-483.
- [16] YLI-OJANPERÄ J., SAKURAI H., IIDA K., MÄKELÄ J. M., EHARA K., & KESKINEN J. - Comparison of three particle number condensation calibration standards through calibration of a single CPC in a wide particle size range. *Aerosol Science and Technology*, 2012, **46**, 1163-1173.

- [17] WITSCHGER O. - Nanoparticules : quelles possibilités métrologiques pour caractériser l'exposition des personnes ? *Spectra Analyse*, 2008, **264**, 17-30.
- [18] BAU S. & WITSCHGER O. - Dispositif de Contrôle des Compteurs (DCC) - Développement, qualification et mise en place d'une procédure opérationnelle. *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, 2016, **NS 343**, 56 p.
- [19] MARTIN P. - Cartographier l'exposition individuelle aux substances chimiques. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2017, **246**, 52-56.
- [20] CLERC F., NJIKI-MENGA G. H., & WITSCHGER O. - Exploratory study on a statistical method to analyse time resolved data obtained during nanomaterial exposure measurements. *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, **429**, 012003.
- [21] KLEIN ENTINK R. H., FRANSMAN W., & BROUWER D. H. - How to statistically analyze nano exposure measurement results: Using an ARIMA time series approach. *J. Nanopart. Res.*, 2011, **13**, 6991-7004.
- [22] ENROTH J., KANGASLUOMA J., KORHONEN F., HERING S., PICARD D., LEWIS G., *et al.* - On the time response determination of condensation particle counters. *Aerosol Science and Technology*, 2018, **52**, 778-787.
- [23] BAU S., PAYET R., & WITSCHGER O. - Une nouvelle méthodologie pour vérifier les compteurs de noyaux de condensation. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2017, **247**.
- [24] BAU S., TOUSSAINT A., PAYET R., & WITSCHGER O. - Performance study of various Condensation Particle Counters (CPCs): development of a methodology based on steady-state airborne DEHS particles and application to a series of handheld and stationary CPCs. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, **838**, 012002.
- [25] BAU S., TOUSSAINT A., PAYET R., & WITSCHGER O. - Développement d'une méthodologie pour la vérification des compteurs de particules dans l'air. *Spectra Analyse*, 2017, **315**, 24-31.
- [26] CEN - Workplace exposure - Characterization of ultrafine aerosols / nanoaerosols - Determination of number concentration using condensation particle counters, prEN 16897, 2015.

AUTEURS

S. Bau et O. Witschger

INRS, Métrologie des polluants (metropol@inrs.fr)

HISTORIQUE

Version	Date	Modifications
1	Novembre 2019	Création de la fiche