

Mesure directe de la dispersion de gouttelettes dans un lieu clos avec un photomètre à flamme pour aérosols à haute sensibilité

J. Pongetti^{1*}, K. J. Hoffman¹, C. D. Nickolaus¹

¹Cambustion Ltd., Cambridge, CB1 8DH, UK

1 Introduction

L'attention portée à la pollution et à ses effets sur la santé a traditionnellement été focalisée sur les sources industrielles ou liées à la combustion. Cependant, la qualité de l'air intérieur attire un intérêt croissant en raison des longues durées d'exposition et particulièrement suite à la pandémie de Covid-19. Une ventilation adéquate est essentielle à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (Persily, 2015) et permet d'éliminer les particules générées dans les lieux clos ou confinés par des sources telles que les activités de cuisine, la combustion d'hydrocarbures et la présence humaine.

Les détecteurs de CO₂ sont utilisés couramment en tant qu'option à bas coût pour contrôler la qualité de l'air intérieur, mais leur efficacité se limite aux activités liées à une source de dioxyde de carbone.

Il est donc d'intérêt de développer des instruments permettant des études expérimentales de dispersion qui puissent servir à valider les modèles numériques et la corrélation entre la diffusion de particules et de gaz comme le CO₂. La photométrie à flamme est identifiée comme une technique prometteuse pour cette application.

Nous présentons ici un nouveau photomètre à flamme pour aérosols et l'utilisons pour mesurer directement la dispersion de particules dans une pièce (salle de réunion) au cours du temps. La concentration détectée par le photomètre est comparée (i) à celle enregistrée par un détecteur de CO₂ pour tester la fiabilité des mesures de CO₂ en tant que substitut de particules d'aérosols, et (ii) à la concentration en nombre de particules mesurée par un compteur de particules à noyaux de condensation (CPC).

3 Résultats

Les concentrations mesurées par les trois détecteurs sont globalement bien corrélées et montrent les mêmes tendances générales. Cependant, des différences significatives peuvent être remarquées selon la phase de l'étude (Fig. 2).

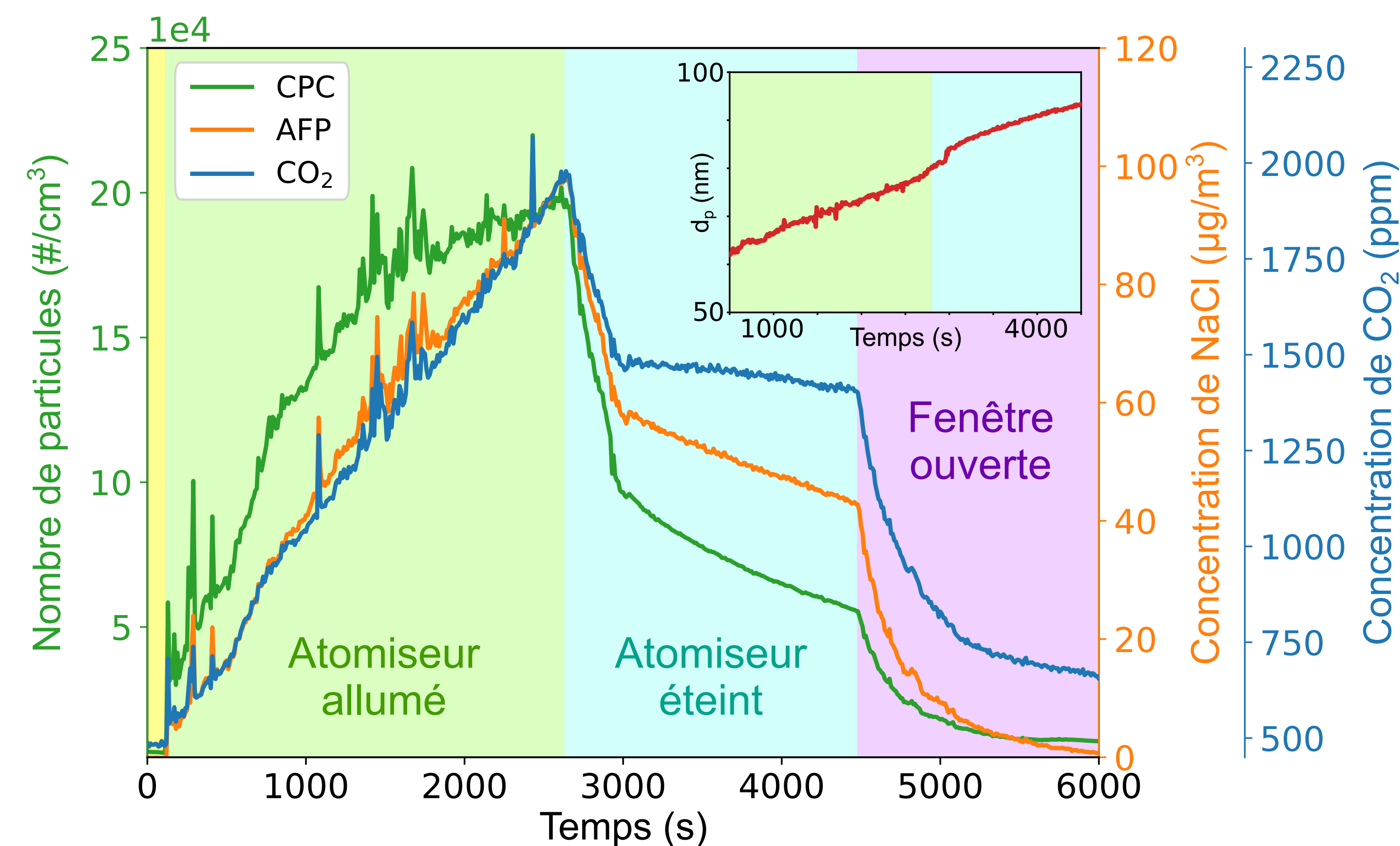


Figure 2. Concentrations de particules, NaCl, et CO₂ mesurées par le CPC, l'AFP et le détecteur de gaz, respectivement; les données ont été moyennées sur 10 s; les couleurs de fond représentent différentes phases de l'expérience. L'encart montre le diamètre moyen des particules de NaCl (d_p) calculé à partir des signaux du CPC et de l'AFP.

Tant que l'atomiseur Collison est allumé, les mesures de CO₂ et de l'AFP sont extrêmement bien corrélées et les concentrations augmentent de façon quasi-linéaire, à l'exception de quelques pics. Au contraire, le taux de croissance du nombre de particules enregistré par le CPC diminue avec le temps. L'augmentation uniforme de sodium et CO₂ confirme que le générateur ne cesse d'opérer correctement et que le nombre de particules stagne suite à l'agglomération des particules et à la formation d'une distribution auto-similaire. Ceci est illustré par l'augmentation du diamètre équivalent moyen des particules de NaCl calculé à partir des signaux de l'AFP et du CPC (voir l'encart en Fig. 2).

Dès que l'atomiseur est éteint, une forte baisse de toutes les concentrations est observée et les fluctuations à court terme sont réduites suite à l'homogénéisation de l'écoulement dans la pièce. La différence de concentration entre le point de prélèvement et la moyenne de la salle montre qu'il est difficile de prédire l'exposition personnelle à partir de mesures ponctuelles.

Ensuite, la concentration de CO₂ se stabilise à cause du manque d'aération, tandis que le nombre de particules et la masse de sodium diminuent graduellement dû à la déposition des particules. Toujours suite à l'agglomération, les valeurs indiquées par le CPC affichent le taux de diminution le plus élevé, comme illustré par la demi-vie des différentes espèces une fois la fenêtre ouverte (cf. Tableau 2).

Tableau 2. Demi-vie du nombre de particules et de la concentration de chlorure de sodium et de CO₂ obtenue via un fit exponentiel des données expérimentales.

	Nombre de particules	Concentration de NaCl	Concentration de CO ₂
Demi-vie à l'ouverture de la fenêtre	190 s	206 s	232 s

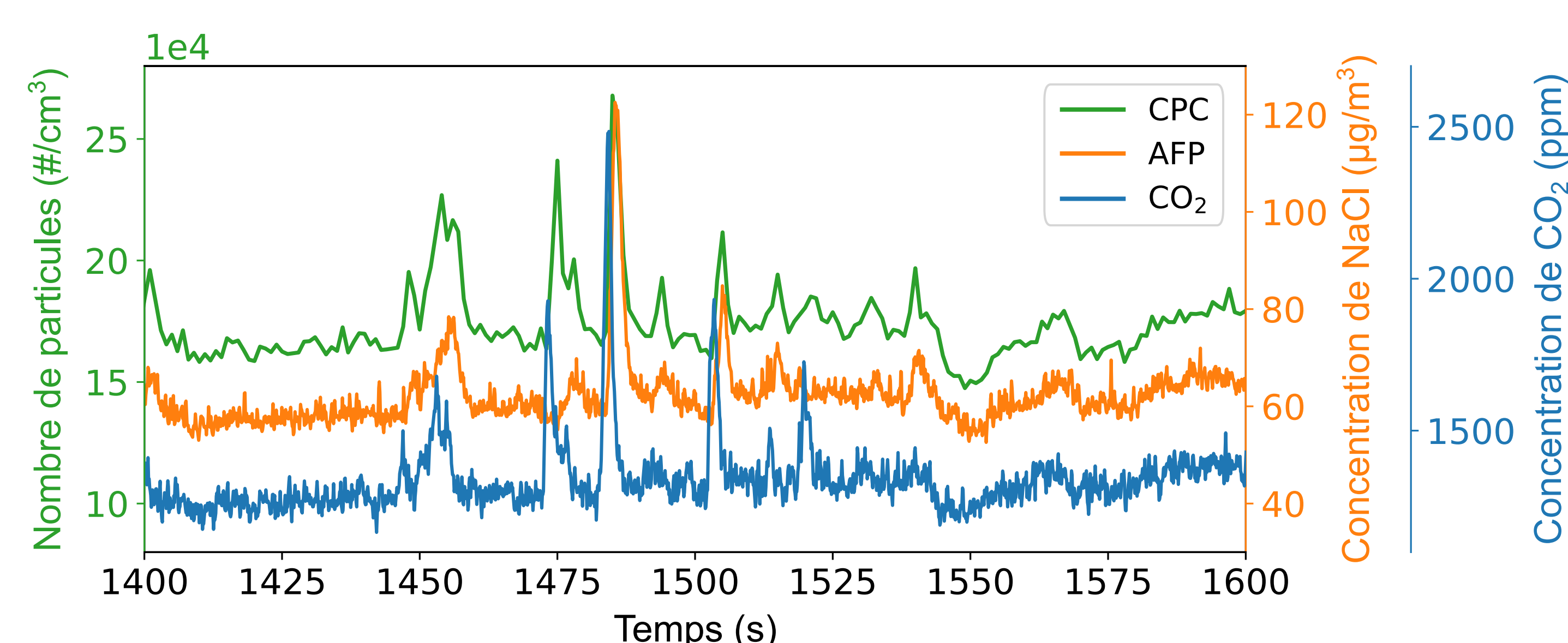


Figure 3. Détail à haute fréquence (10 Hz pour l'AFP et le détecteur de CO₂; 1 Hz pour le CPC) des données en enregistrement continu, montrant des variations de concentration significatives à court terme.

2 Installation expérimentale

Photomètre à flamme pour aérosols

La photométrie à flamme a été établie à l'origine pour détecter des ions métalliques présents en solution à l'état de traces (Barnes *et al.*, 1945). La photométrie à flamme pour aérosols permet de détecter les ions métalliques tant bien sous forme de particules sèches que de gouttelettes, et est adoptée dans le standard ISO EN149:2001+A1:2009 pour le test des masques respiratoires.

Le photomètre à flamme pour aérosols (Aerosol Flame Photometer, AFP) utilisé dans cette étude est un nouvel instrument produit par Cambustion Ltd (Cambridge, UK) et permet d'effectuer des mesures à haute fréquence sur une grande plage dynamique. Le temps de réponse ($T_{10-90\%}$) inférieur à la seconde permet de résoudre les variations temporelles typiques des aérosols ambiants.

Détecteur de CO₂ ambiant à réponse rapide

Un détecteur de CO₂ ambiant à réponse rapide (Cambustion Ltd, UK) utilisant la technologie infrarouge non dispersive (NDIR) permet de mesurer des concentrations de gaz allant de quelques parties par million jusqu'à 10% et est donc approprié pour la concentration ambiante typique de 420 ppm.

Génération et mesure de l'aérosol

Un atomiseur de type Collison contenant une solution de chlorure de sodium (NaCl, 0.9%) et d'eau ultrapure est alimenté avec environ 3 lpm de mélange gazeux (20% CO₂ – 80% N₂). L'atomiseur est placé sur la table d'une salle de réunion mesurant près de 24 m³ et produit des gouttelettes uniformément mélangées au traceur gazeux (CO₂) pendant 40 minutes; les émissions totales de l'atomiseur sont indiquées dans le Tableau 1. La dispersion de l'aérosol est étudiée avec l'AFP et le détecteur de CO₂ décrits ci-dessus, ainsi qu'avec un CPC, tous prélevant à la hauteur du nez face à l'atomiseur (Fig. 1). La pièce est ventilée avant le début de l'expérience en ouvrant les fenêtres, et aucune ventilation n'est présente pendant les mesures.

Tableau 1. Emissions cumulées de l'atomiseur au cours des 40 minutes de génération.

Volume cumulé (gaz)	Volume cumulé (solution)	CO ₂ émis	NaCl émis
0.12 m ³ (0.5% de la pièce)	10 – 15 ml	1000 ppm	~ 5 mg/m ³

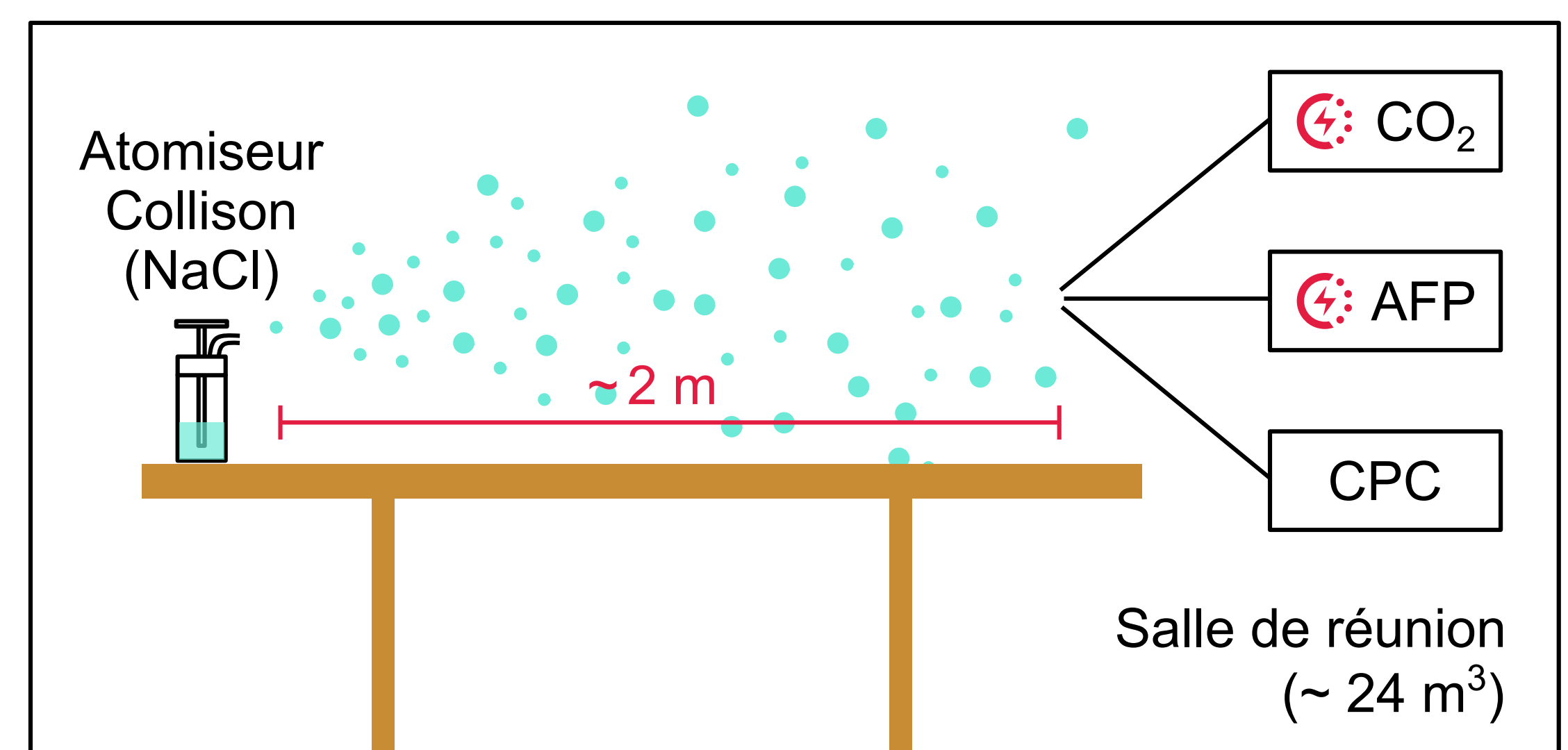


Figure 1. Installation expérimentale dans la salle de réunion.

4 Calibration de l'AFP

Le photomètre à flamme a été calibré pour le chlorure de sodium avec le banc illustré dans la Figure 4.

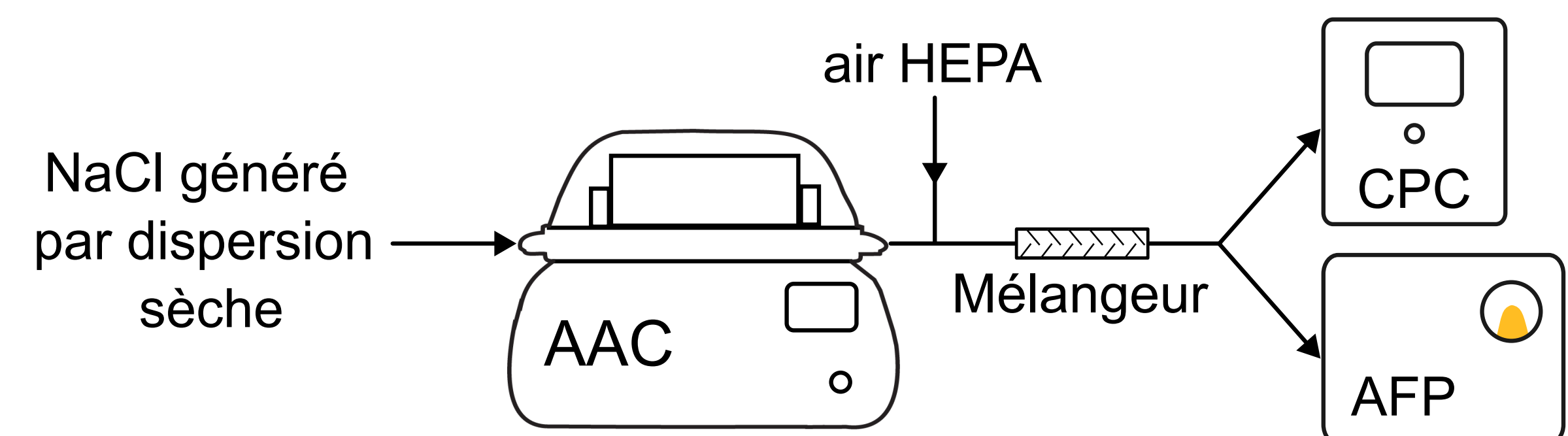


Figure 4. Banc expérimental utilisé pour la calibration de l'AFP.

Des particules mesurant entre 100 et 200 nm en diamètre aérodynamique et ayant une concentration en masse variant sur presque deux ordres de grandeur (0.2 à 100 µg/m³) ont été utilisées (Fig. 5). Un facteur de calibration de 19,6 (µg/m³)/V a été calculé à partir du meilleur fit global et correspond à une limite de détection d'environ 15 ng/m³ de NaCl.

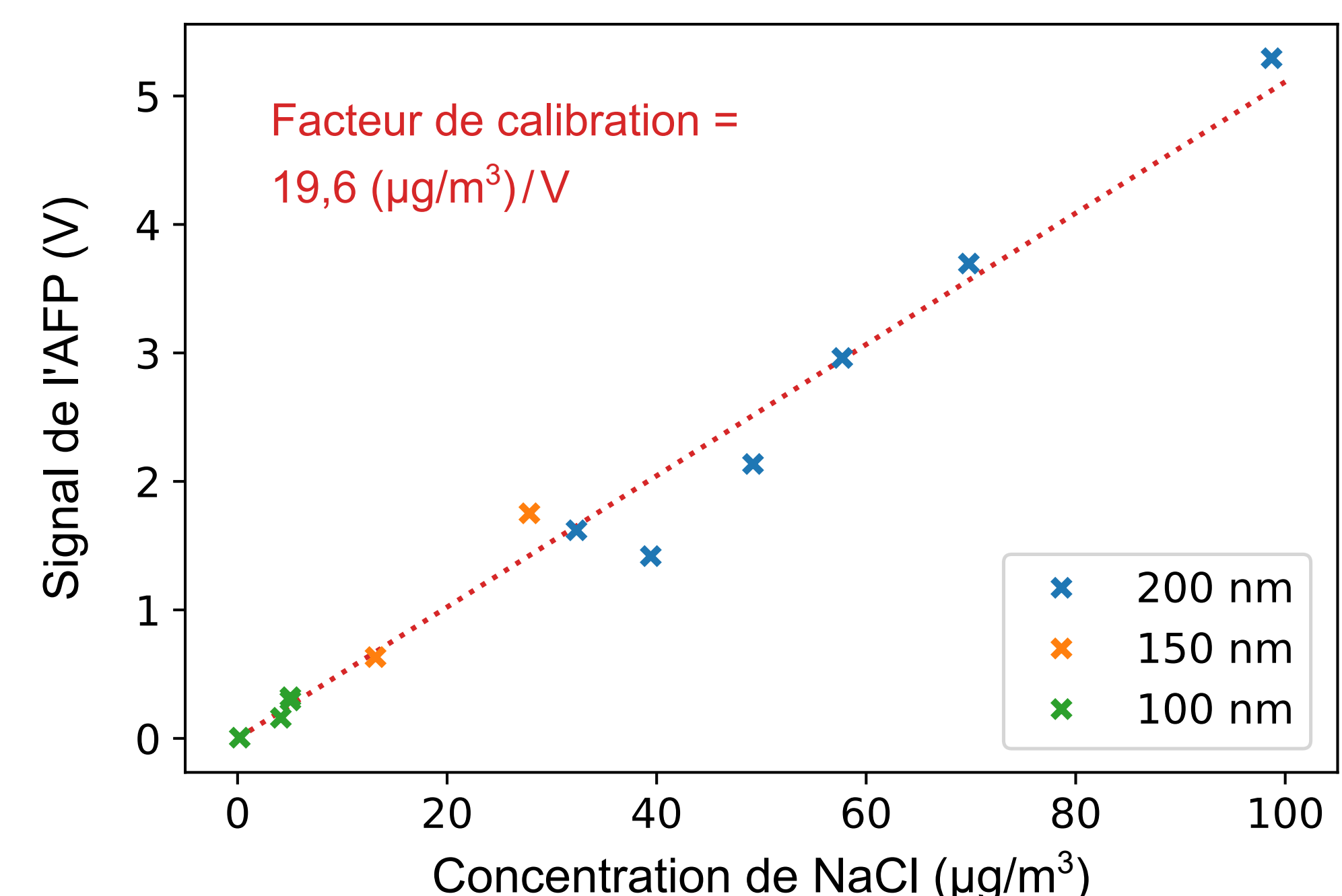


Figure 5. Courbe de calibration obtenue pour les particules de NaCl.

5 Conclusion

Le photomètre à flamme pour aérosols ici présenté peut détecter une grande plage dynamique de concentrations avec une résolution temporelle élevée et permet d'étudier la dispersion de particules dans des environnements réels avec haute sensibilité et spécificité. Puisque la masse de sodium dans chaque gouttelette est conservée, la réponse de l'AFP dépend uniquement du diamètre initial des gouttelettes et non pas de l'état des particules (solide ou dissout) au moment de la détection. Ceci rend cette technique particulièrement adaptée aux études sur la charge virale et la transmission des maladies respiratoires.