CONTROLE CONTINU PARTICULAIRE EN SALLE PROPRE

P. Petinga*[1], S. Sailler[1], Y. Rongier[1], I. Perret[1] et M. Bureau[1]

[1]LAB CYLERGIE, 18 avenue Tony Garnier, 69007 LYON, FRANCE
*Courriel de l'orateur : priscilla.petinga@engie.com

TITLE : CLEAN ROOM PARTICLES CONTROL

RESUME

La norme NFS 90-351 permet les réduits de ventilation dans les blocs opératoires lors de périodes d'inoccupation. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact d'un passage en mode « Veille » à un mode « Opérationnel » sur les concentrations particulaires par l'usage de capteurs et la simulation fluidique numérique. L'expérimentation a consisté à reproduire ce passage dans une salle de taille réelle et à mesurer les concentrations particulaires grâce à l'utilisation de capteurs. En parallèle, des simulations numériques ont été menées. Les simulations aérauliques et de diffusion particulaire ont été réalisées dans la même configuration que celle des expériences afin de comparer les résultats et valider les conclusions des expérimentations. L'étude a démontré que les passages du mode « Veille » en mode « Opérationnel » peuvent être surveillés en continu par un capteurs installé en zone représentative.

ABSTRACT

The NFS 90-351 standard authorizes a stand-by mode of operating theatres ventilation during periods of inoccupation. The objective of this study is to evaluate the impact of switching from "Standby" to "Operation" mode on particulate matter concentrations by using sensors and numerical fluidic simulation. The experimentation consisted in reproducing this switch in a real size room and in measuring the particulate matter concentrations thanks to the use of sensors. In parallel, numerical simulations were carried out. Airflow and particle diffusion simulations were performed in the same configuration as the experiments in order to compare the results and validate the conclusions of the experiments. This study demonstrated that transitions from "Standby" to "Operation" mode can be continuously assessed by sensors installed in a representative area.

MOTS-CLES : Salle propre, Compteur optiques, Particules, Monitoring, Gestion de la ventilation /**KEYWORDS:** Cleanroom, Particles sensors, Monitoring, Ventilation management

1. CONTEXTE

Les qualifications de salle propre sont réalisées en mode « Opérationnel », la température, la différence de pression avec les locaux adjacents et la concentration particulaire sont contrôlées, le débit est nominal et le taux de brassage doit assurer une CP (Cinétique de décontamination Particulaire) suffisante. Dans le mode « Veille » le débit est réduit, seules la température et la différence de pression avec les locaux adjacents sont contrôlées. Ce mode est utilisé principalement la nuit ou les week-ends lorsque la salle ne sera plus utilisée pendant plusieurs heures permettant ainsi des économies d'énergie.

Cependant la mise en œuvre de ce mode de fonctionnement reste peu utilisée car il était couteux de vérifier le maintien de l'efficacité de la ventilation. L'objet de cette étude est d'apporter un éclairage sur les possibilités de contrôle des phénomènes aérauliques et de diffusions particulaires mis en œuvre dans le cas de passage de mode « Veille » à « Opérationnel ». La mesure physique par utilisation de capteurs peu couteux mais performants et la simulation numérique seront deux outils utilisés pour leur complémentarité dans l'étude des impacts sur la qualité particulaire des salles propres lors des passages de mode « Veille » à « Opérationnel ».

2. METROLOGIE ET METHODOLOGIE

2.1. Salle d'essai

La salle expérimentale a été configurée pour représenter une salle propre. Elle comprend une salle de 50 m^3 de volume ; deux paillasses de laboratoire ; 1 faux plafond type salle blanche ; 4 points d'éclairage LED intégrés ; 1 plafond filtrant ; 2 plénums de reprise retournant au plafond filtrant. L'air neuf est apporté par une centrale de traitement de l'air. Il est ensuite mélangé avec l'air repris et diffusé par le plafond filtrant. L'air de la salle est repris par les plenums en colonne. L'air est extrait par une bouche d'extraction indépendante en bas de colonne comme visualisé sur Figure 1.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2023-32893 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

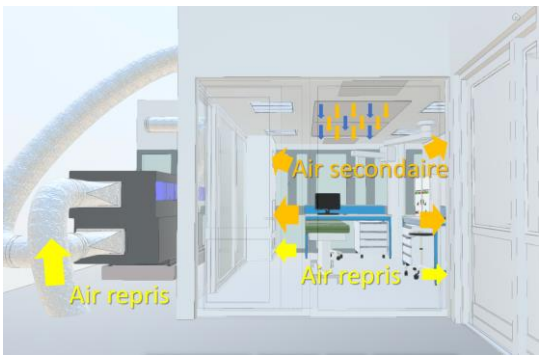

Figure 1: Schématisation des flux aérauliques dans salle expérimentale

2.2. Métrologie

La salle a été instrumentée à l'aide de capteurs et d'un analyseur de référence qui utilisent la technologie de mesure par comptage optique Laser (Tableau 1). 5 capteurs muraux NEXT-PM et 2 capteurs centraux (1 NEXT-PM classique et 1 NEXT-PM CR) de TERA Sensor ont été installés dans la salle (cf. Figure 2). Un capteur NEXT-PM est installé directement dans la gaine de reprise de la CTA de la salle afin d'obtenir une référence de la concentration globale de la salle.

Tableau 1: Caractéristiques métrologiques des capteurs et analyseurs utilisés

Capteur	**NEXT-PM (TERA Sensor)**	**NEXT-PM CR (TERA Sensor)**	**GRIMM**
Dimensions	61,9x52,6x23,7 mm^3	165x115x60 mm3	230x140x70 mm3
Echantillonnage utilisé	1 / minute	1 / minute	1 / 6 secondes
Gamme de mesure	Taille de particules de 0,3 à 10 µm Masse de 0 à 1000µg/m3 en PM1, PM2,5 and PM10	Particules de taille comprise entre 0,3 et 10 µm Comptage sur les tailles 0,3µm / 0,5µm / 1 µm / 2,5 µm et 5 µm.	0,001 à 100 mg/m3 ou 0 à 2 000 000 particules/litre
Résultats	Concentration massique en PM1, PM2,5 et PM10	En nombre de part./L pour les tailles 0,3µm / 0,5µm / 1 µm / 2,5 µm et 5 µm.	Comptage en part./L en 36 canaux entre 0,1 et 30 µm Concentration massique en PM1, PM2,5 et PM10
Débit de prélèvement	2,5 L/min	2,5 L/min	1,2 l/min, ± 5%

Figure 2 : Schéma et photo des points de mesures

3. REALISATION DE L'ESSAI

3.1. Mesures expérimentales

L'essai a consisté à injecter une solution saline concentrée à 9 g/L dans la salle expérimentale en la nébulisant par rotation centrale, puis à fermer la porte afin de laisser la concentration se stabiliser dans la pièce. La centrale d'air neuf alimentant la salle et le plafond soufflant avec reprise en colonne ont été démarrés pour fonctionner sur le régime en ISO 7.

Les courbes de la Figure 3 montrent l'évolution des concentrations de PM1 des capteurs en salle propre expérimentale et en gaine. L'ensemble des concentrations mesurées par les capteurs suivent les mêmes évolutions, à savoir la présence d'un pic lors de l'injection puis une stabilisation. Seul le capteur en gaine commence à détecter une croissance à partir du démarrage de la CTA. Tous les capteurs relèvent une décroissance de la concentration particulaire due à la mise en route de la ventilation. Nous assistons aux phénomènes de dilution et d'épuration créées par la mise en fonction de la ventilation. Le capteur 11 qui est en position centrale. L'analyse des résultats est présentée sur les gammes PM1 dans cette publication.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2023-32893 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

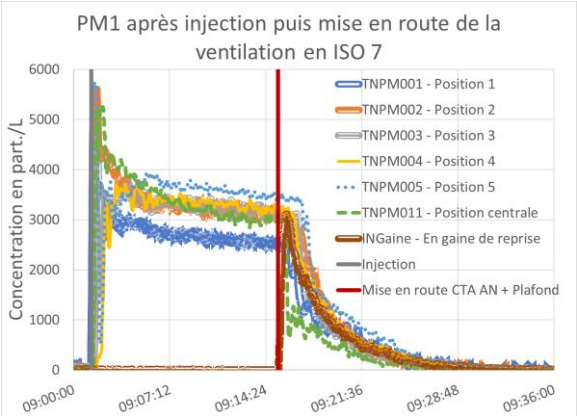

Figure 3 : Résultats des mesures PM1 des capteurs NEXT-PM en mode dynamique pour le risque 3.

3.2. Simulations numériques

Pour la réalisation de la simulation numérique, les données d'entrée utilisées sont les débits mis en œuvre dans la salle (soufflage, reprise, extraction…), les taux initiaux de concentration particulaire sur les tailles 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm et 5 µm. Les résultats présentés correspondent aux simulations dynamiques mises en œuvre pour évaluer le passage du mode veille au mode opérationnel. Un exemple de visualisation des concentrations particulaires simulées lors du passage en mode opérationnel est présenté sur la Figure 4.
A partir des résultats de la simulation des courbes de décroissance ont été tracées pour les 5 positions correspondantes aux emplacements muraux des capteurs. Selon la Figure 4, les positions des capteurs muraux influent sur les cinétiques de décroissance particulaire de la salle.

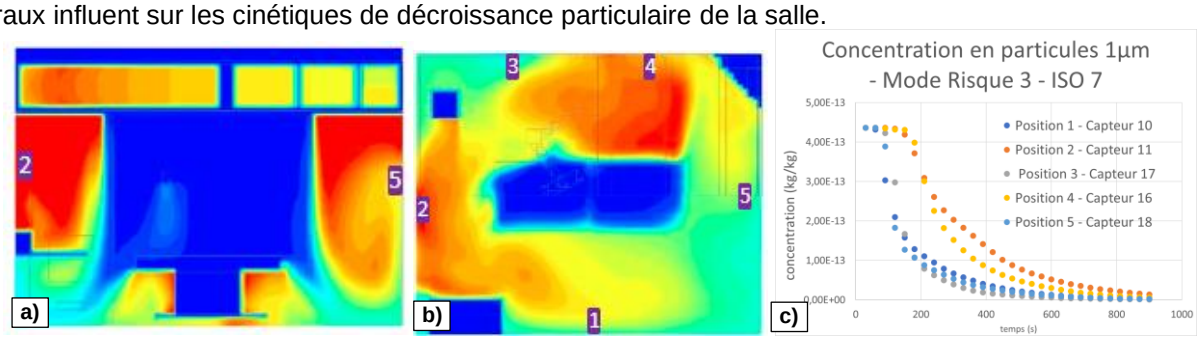

Figure 4 : a) Simulation à 2 min. vue de profil - b) Simulation à 5 min. vue de dessus - c) courbe extrapolée de la simulation

4. DISCUSSIONS

4.1. Le coefficient k (facteur de la décroissance)

Afin de comparer les résultats de la simulation aux résultats expérimentaux, nous avons utilisé l'analyse des courbes de décroissance et le calcul des facteurs de décroissance k dans l'équation $C(t) = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$. La simulation montre une divergence des courbes de décroissances plus importante qu'avec l'expérimentation entre les positions (cf. Figure 5 a). La simulation annonce une décroissance lisse et homogène, dans la réalité expérimentale, la décroissance fluctue et présente des variations pics et paliers, relevant des phénomènes physiques complexes des déplacements particulaires soumis aux 3 forces motrices : inertie, gravité et diffusion. Cependant, l'allure principale de la décroissance est corrélée sur l'ensemble de la salle (cf. Figure 5 b).

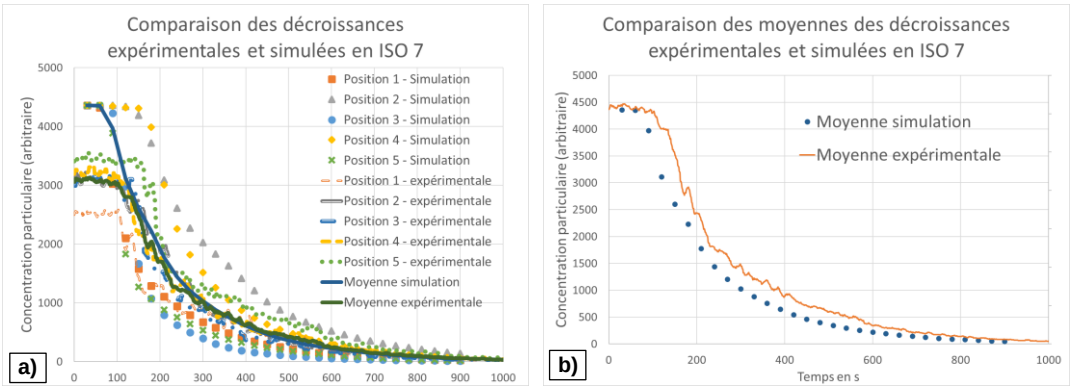

Figure 5 : Comparaison décroissances expérimentales et simulées des particules de 1 µm (a) et comportement moyen (b)

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2023-32893
Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

En calculant les facteurs de décroissance k des différentes courbes selon la formule $C(t) = C(0) * e^{-kt}$, nous avons pu numériquement comparer les résultats obtenus expérimentalement et par simulation (cf. Tableau 2). En ISO 7, les k expérimentaux des positions 1 à 5 varient de 19 à 28 et les k par simulation des positions 1 à 5 varient de 16 à 42. La disparité des décroissances calculées par la simulation est beaucoup plus importante que celle des résultats expérimentaux. Cependant les moyennes des k des positions sont corrélées entre l'expérimentation et la simulation, respectivement 22 et 28 en ISO7.

Tableau 2 : Comparaison des coefficients k calculés sur les résultats expérimentaux et par simulation

	Position	Moyenne position	Centre	Gaine reprise	Qualification aéraulique
ISO7	k expérimental	**22**	36	18	**16**
	k simulation	**28**	-	-	

4.2. La cinétique de décontamination particulaire

Une des caractéristiques indispensables pour considérer qu'une salle propre est opérationnelle, est sa valeur de cinétique particulaire. Cette valeur correspond au temps nécessaire pour que la concentration particulaire décroisse de 90% de sa valeur initiale. Dans le Tableau 3, nous avons relevé les temps de décontamination pour chaque point mesuré et indiqué dans la colonne de droite les temps maxima normatifs à respecter. Ces temps sont respectés sur la position centrale, cependant, nous pouvons constater que la mesure sur les points muraux indique une décontamination plus lente aux parois impliquant des temps plus long. Nous pouvons constater aussi que le temps provenant de la mesure en gaine correspond à la moyenne des temps relevés par les 5 points muraux en salle. La récupération du niveau particulaire de l'ISO7 est inférieure à la valeur de cinétique de décontamination préconisée. La salle est donc opérationnelle très rapidement après un passage du mode « Veille » au mode « Opérationnel ».

Tableau 3 : Relevé des temps de décontamination particulaire en tous points

Position	Moyenne des points muraux	Centre	Gaine reprise	CP normatif
ISO 7	< 8 min.	**< 6 min.**	< 8 min.	**10 min.**

5. CONCLUSIONS

Dans les phases de transitions, mise en route du mode opérationnel par exemple, lors de ce passage du mode veille en mode opérationnel, il faudra attendre un temps de stabilisation pour considérer la mesure comme représentative. Selon nos expérimentations, une temporisation de 5 minutes après la mise en route de l'ISO 7 est suffisante pour obtenir un régime stabilisé et avoir des données représentatives de la contamination particulaire de la salle à condition d'avoir positionné le capteur à l'endroit le plus représentatif déterminé par une étude préalable. Ce délai est inférieur aux recommandations.

Les outils de simulation rapide ont été validés pour la détermination des temps de décontamination de la salle propre, valeur représentative de l'ensemble de la salle. Les simulations permettent une approche globale de la transition mode veille / mode opérationnel et permettent de définir un temps à partir duquel la salle est de nouveau en condition optimales de fonctionnement. Cependant, sur des points de mesure précis dans la salle, des écarts ont été constatés et ne permettent pas de valider ces outils pour choisir le point de mesure représentatif pour le suivi particulaire.

L'étude est très concluante sur l'usage du contrôle en continu et de la mise en œuvre des modes de ventilation réduit car elle a démontré que la récupération du niveau particulaire de la classe ISO 7 est inférieure à la valeur de cinétique de décontamination définie normativement et que celle-ci peut être contrôlée par capteur particulaire. Le bloc opératoire est donc opérationnel très rapidement après un passage du mode « Veille » au mode « Opérationnel ».

Remerciements : ENGIE RESEARCH & Innovation ; TERA SENSOR