

Notes techniques

PASSAGE DE PERSONNES DEVANT UNE SORBONNE DE LABORATOIRE: QUEL IMPACT SUR SON EFFICACITÉ ?

Les sorbonnes de laboratoire sont des dispositifs essentiels de protection collective, dont l'efficacité peut être altérée par des courants d'air en conditions réelles d'utilisation. Cet article présente une étude numérique visant à mieux comprendre l'impact de ces perturbations et à proposer des recommandations pour améliorer le confinement et réduire l'exposition des salariés.

SULLIVAN
LECHÊNE,
EMMANUEL
BELUT
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Contexte

Les sorbonnes sont des dispositifs de protection collective utilisés couramment pour contenir des gaz ou des aérosols polluants émis par un procédé. Le processus de confinement consiste à envelopper le plus possible la zone d'émission du polluant par des parois, tout en laissant une ouverture pour permettre les manipulations par un opérateur. La hauteur de cette ouverture est réglable par l'opérateur, généralement à l'aide d'une paroi mobile appelée « guillotine ». Pour prévenir le risque de sortie de polluant, le dispositif est maintenu en dépression grâce à un ventilateur d'extraction raccordé à la sorbonne par un conduit. Ce fonctionnement assure également un écoulement d'air permanent depuis l'extérieur (le laboratoire) vers l'intérieur du dispositif : il s'agit d'un confinement immatériel ou dynamique.

Ce mode de confinement est très efficace à condition que la stabilité de la vitesse d'air entrante soit assurée. En pratique, cet écoulement d'air peut être fortement déstabilisé s'il existe des perturbations aérauliques à proximité de la sorbonne, telles que celles induites par les sillages aérodynamiques d'objets mobiles. Tout déplacement d'air peut ainsi engendrer une perte d'efficacité temporaire d'un système, qui est par ailleurs efficace en l'absence de perturbations. L'INRS préconise d'apporter un soin particulier à l'implantation des systèmes de ventilation pour réduire autant que possible l'impact de ces courants d'air [1,2]. Suivant l'intensité des perturbations, le confinement est susceptible d'être rompu, engendrant des fuites de gaz ou d'aérosols polluants vers l'extérieur de la

sorbonne et exposant ainsi les opérateurs à des produits potentiellement dangereux pour la santé. L'optimisation de ces dispositifs par la prise en compte des effets transitoires des courants d'air perturbateurs est alors essentielle pour garantir la santé et la sécurité des opérateurs. Toutefois, l'effet précis de ces perturbations fugitives est difficile à prévoir et peu de données existent sur leur impact à l'échelle réelle, ni sur les paramètres favorisant la robustesse d'une sorbonne à de telles perturbations [3].

Des travaux de recherche menés à l'INRS ont permis de mettre au point et de valider une méthode de simulation numérique capable de prédire les effets d'une rupture transitoire de confinement d'une sorbonne induite par le déplacement d'un obstacle mobile devant cette enceinte [4]. L'intérêt de mettre au point une telle méthodologie est de pouvoir réaliser des études paramétriques par simulation numérique plutôt qu'expérimentalement. Cette méthode numérique a ainsi été utilisée pour évaluer l'impact de certains paramètres clés (présence d'un opérateur, distance obstacle mobile/ouverture de l'enceinte, vitesse frontale, largeur de la sorbonne et fréquence de passage de l'obstacle) sur l'efficacité de confinement des sorbonnes de laboratoire lorsque la guillotine est ouverte pour réaliser des manipulations. En effet, même s'il est recommandé de travailler avec la guillotine fermée au maximum, cette situation est fréquente et représente la configuration la plus exposante. Les résultats de l'étude paramétrique permettent de définir des préconisations d'installation et d'utilisation permettant

RÉSUMÉ

Le passage de personnes à proximité d'une sorbonne de laboratoire crée des courants d'air pouvant dégrader sa capacité à confiner des polluants. Pour évaluer l'impact de certains paramètres influents (présence d'un opérateur, distance obstacle mobile/ouverture de l'enceinte,

vitesse frontale, largeur de la sorbonne et fréquence de passage de l'obstacle) dans cette situation dégradée, une étude paramétrique numérique a été menée en considérant plusieurs configurations représentatives de l'utilisation de sorbonnes en conditions réelles.

Les résultats ont confirmé l'existence de perturbations et de formuler des préconisations d'installation et d'utilisation des sorbonnes de laboratoire permettant de limiter les ruptures de confinement et de réduire l'exposition des salariés.

PEOPLE WALKING PAST A LABORATORY FUME HOOD: WHAT IMPACT ON ITS PERFORMANCE?

When people walk near a laboratory fume hood, it creates air currents that can reduce its ability to contain pollutants. To assess the impact of certain influencing parameters (presence of an operator, distance between the moving obstacle and the fume

hood opening, frontal velocity, fume hood width, and frequency of the obstacle's passage) in this degraded situation, a numerical parametric study was conducted, considering several configurations representative of fume hood use under real-work conditions.

The results confirmed the existence of disturbances and led to the formulation of recommendations for the installation and use of laboratory fume hoods to limit containment failures and reduce employee exposure.

de limiter les ruptures de confinement aérodynamiques et l'exposition des salariés dans cette situation.

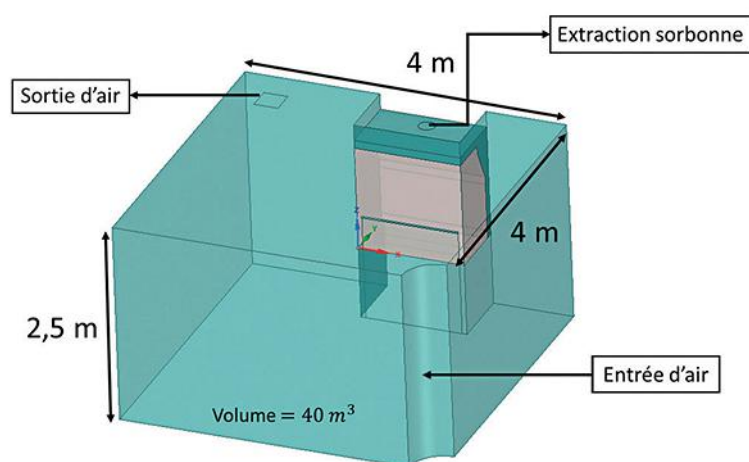
Perturbation aéraulique d'intérêt

La littérature scientifique recense les principaux facteurs pouvant affecter les performances des sorbonnes et ainsi augmenter l'exposition des salariés [3]. Ces facteurs peuvent être liés à la conception de l'enceinte, à son implantation (position de la sorbonne par rapport aux murs, aux portes et à d'autres sorbonnes), à la ventilation du local (position des bouches de ventilation et vitesses d'air engendrées, débit de compensation d'air, ouverture de portes, interactions avec d'autres enceintes ventilées), ou aux pratiques opérationnelles (présence et mouvements d'un opérateur, hauteur et mouvements de guillotine). Une analyse statistique des données aérauliques des enceintes ventilées du parc INRS (198 sorbonnes, hottes ou postes de pesée), collectées lors des réceptions et contrôles périodiques de ces enceintes selon la norme EN 14175-4 [5], est venue formaliser certaines caractéristiques les plus courantes des enceintes de laboratoire (dimensions, vitesses frontales et d'ambiance). Pour compléter les travaux issus de la littérature, des observations réalisées sur site ont permis d'identifier les événements à l'origine des courants d'air. Les perturbations observées étaient : le passage d'une personne devant une sorbonne,

l'arrivée d'un opérateur devant une sorbonne, le départ d'un opérateur d'une sorbonne, le mouvement de la guillotine, l'ouverture/fermeture d'une porte, ou la présence de plusieurs opérateurs devant une sorbonne. En fonction de la nature de l'activité, la fréquence d'occurrence peut être élevée. Les observations effectuées sur site montrent une fréquence d'occurrence très élevée pour l'ensemble des perturbations et un intervalle de temps entre deux perturbations très inférieur au temps nécessaire pour atteindre un régime aéraulique statistiquement stationnaire. Ceci indique que les phénomènes transitoires des perturbations sont dominants, ce qui exclut l'existence en pratique d'un régime de confinement stationnaire des sorbonnes. Par ailleurs, une hiérarchie de la fréquence des perturbations a été mise en évidence, avec le passage de personnes devant la sorbonne comme perturbation la plus fréquente (en moyenne, un passage toutes les deux minutes devant une sorbonne pour le laboratoire étudié). Enfin, des observations sur site industriel ont également permis de recenser des informations complémentaires, en particulier le ressenti des opérateurs sur la présence et l'effet des courants d'air : la plupart des opérateurs ignorent ces courants d'air, et ils ne leur attribuent pas ou peu d'impact sur la qualité de l'air.

Sur la base de ces études préalables, la perturbation aéraulique d'intérêt retenue a été le passage d'une personne devant une sorbonne.





↑ FIGURE 1
Modèle numérique
du local contenant
la sorbonne.

Méthodologie numérique

Cette étude paramétrique se base sur une méthode de simulation numérique des écoulements validée expérimentalement en laboratoire [4].

Le modèle numérique est présenté sur la Figure 1. Cette configuration considère un local ventilé de dimensions 4 m × 4 m × 2,5 m (longueur, largeur, hauteur), soit un volume de 40 m³, représentatif d'un laboratoire à l'échelle réelle. Une sorbonne de largeur 1,2 m est placée le long d'une paroi et extrait un débit de 690 m³.h⁻¹, ce qui permet d'obtenir une vitesse d'air frontale moyenne de 0,4 m.s⁻¹ (vitesse d'air au niveau de la surface ouverte de la sorbonne) égale au seuil normatif français [6]. La hauteur d'ouverture de la guillotine est fixée à 40 cm (hauteur

maximale standard). Une entrée d'air sur la paroi opposée compense le débit d'air extrait avec un débit soufflé fixé à 1 080 m³.h⁻¹ pour toutes les configurations d'étude de manière à conserver un taux de renouvellement constant. Une extraction d'air additionnelle, positionnée au niveau du plafond du local, permet d'équilibrer la balance des débits (somme des débits d'air entrants égale à la somme des débits d'air sortants). Un gaz traceur de l'écoulement est diffusé par la surface du plan de travail à l'intérieur de la sorbonne pour simuler l'émission continue d'un polluant. La vitesse d'éjection du gaz traceur est constante pour toutes les configurations et fixée de manière à ne pas perturber les écoulements au niveau de la surface ouverte de la sorbonne.

Un obstacle mobile, de dimensions représentatives d'un humain, est placé devant la sorbonne. La perturbation aérodynamique consiste à déplacer l'obstacle mobile parallèlement à la sorbonne à une distance minimum de 40 cm de sa surface ouverte (distance normative [7]), avec une vitesse maximale de 1 m.s⁻¹ (vitesse de marche standard d'une personne).

Le déroulement des simulations numériques est le suivant : une première simulation stationnaire permet d'obtenir le régime établi des écoulements à l'intérieur de la pièce (soufflage, extractions d'air et injection de gaz traceur en fonctionnement). Dans cette situation initiale, sans perturbation, le gaz traceur émis à l'intérieur de la sorbonne est entièrement capté (Cf. Figure 2). À partir de cette condition initiale, des simulations du déplacement

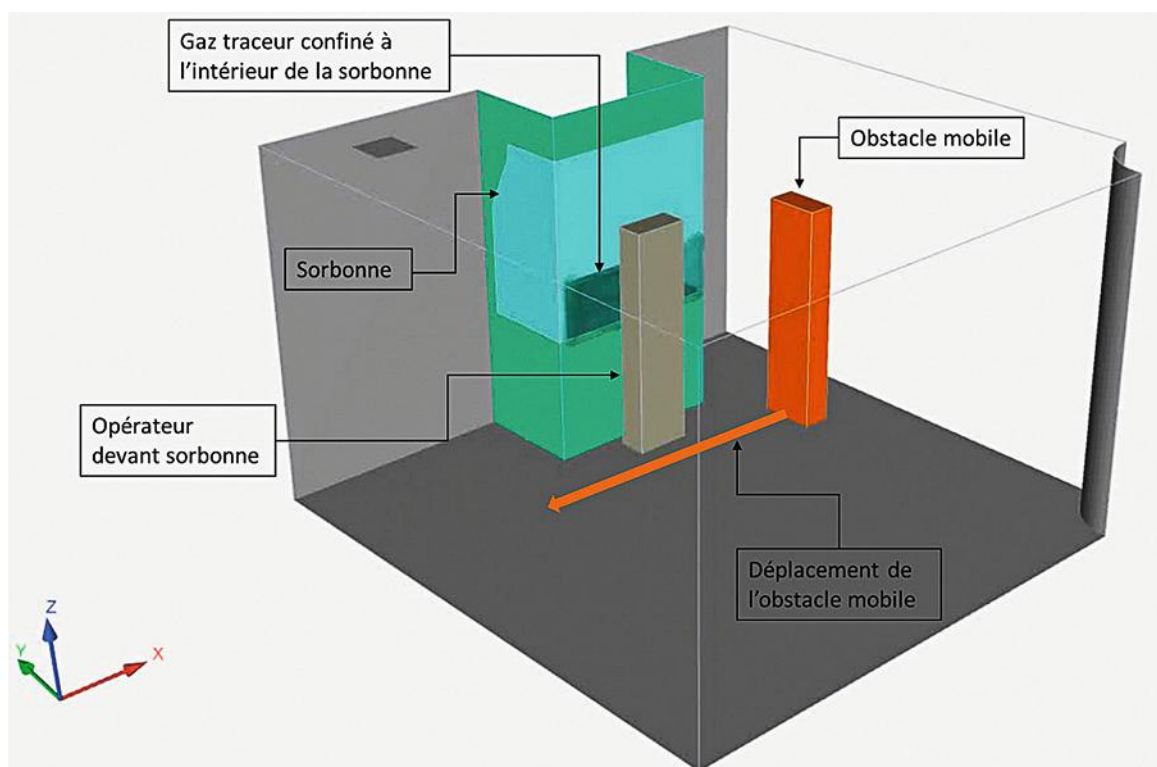


FIGURE 2 →
Situation initiale
de la configuration
de référence avant
déplacement de
l'obstacle mobile.

CONFIGURATION	OPÉRATEUR DEVANT SORBONNE	DISTANCE OBSTACLE MOBILE / OUVERTURE	VITESSE FRONTALE	LARGEUR SORBONNE	FRÉQUENCE DE PASSAGE
0	Non	40 cm	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
1	Non	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
2 (référence)	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
3	Oui	1 m	0,4 m/s	1,2 m	1 passage
4	Oui	40 cm	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
5	Oui	1 m	0,2 m/s	1,2 m	1 passage
6	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,8 m	1 passage
7	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	2 passages espacés de 30 secondes (> retour équilibre)
8	Oui	40 cm	0,4 m/s	1,2 m	2 passages espacés de 5 secondes (< retour équilibre)

de l'obstacle mobile devant la sorbonne ouverte, représentant le passage d'une personne, sont effectuées. Le sillage de l'obstacle perturbe alors l'écoulement initial établi, occasionnant une modification des performances nominales de la sorbonne (fuites de gaz traceur dans la pièce).

Description des configurations étudiées

Neuf configurations ont été étudiées (Cf. *Tableau 1*) et se différencient par les paramètres d'étude suivants : présence ou absence d'un opérateur positionné devant la sorbonne ouverte, distance entre l'obstacle mobile et l'ouverture (40 cm ou 1 m), vitesse d'air frontale (0,4 m.s⁻¹ ou 0,2 m.s⁻¹), largeur de la sorbonne (1,2 m ou 1,8 m) et fréquence de passage de l'obstacle mobile (un passage, deux passages espacés de 30 secondes ou deux passages espacés de 5 secondes). Les paramètres notés en rouge dans le *Tableau 1* mettent en évidence les différences par rapport à la configuration de référence. Certaines des configurations étudiées impliquent une modification des débits d'air extraits de la sorbonne : les configurations 0, 4 et 5 quand la vitesse frontale est réduite à 0,2 m.s⁻¹ (débit extrait égal à 390 m³.h⁻¹) et la configuration 6 quand la largeur de la sorbonne est fixée à 1,8 m. Pour ces cas d'étude, le débit d'air de l'extraction additionnelle est ajusté pour conserver un taux de renouvellement constant dans la pièce.

Résultats principaux

Exemple d'évolution des champs de vitesse et de gaz traceur pour la configuration de référence

La *Figure 3* présente un exemple des champs de vitesse et de facteur de protection (rapport entre la concentration moyenne du gaz traceur généré à l'intérieur de la sorbonne et sa concentration mesurée à l'extérieur de la sorbonne) obtenus pour la configuration de référence suite au passage de l'obstacle mobile devant la sorbonne. Les champs ont été représentés à deux instants différents :

1 seconde et 4 secondes après le départ de l'obstacle mobile, correspondant respectivement à un instant durant la course de l'obstacle et à un instant après arrêt de l'obstacle. Les zones matérialisées en vert correspondent à un facteur de protection inférieur à 1 million (atténuation inférieure à un facteur 1 million par rapport à la concentration à l'intérieur de la sorbonne), tandis que les autres zones dépassent ce seuil.

Le mouvement de l'obstacle mobile engendre par son sillage une forte perturbation du régime d'écoulement initialement établi. Immédiatement après le passage de l'obstacle, des recirculations d'air apparaissent au niveau de la surface ouverte de la sorbonne avec des vitesses d'une amplitude voisine de la vitesse débitante dans l'ouverture. Le caractère quasi-unidirectionnel de la vitesse au niveau de la surface ouverte, imposé par le fonctionnement de la sorbonne en régime non perturbé, est largement déstabilisé et une inversion totale du sens des vitesses peut être observée localement. Cette inversion caractérise la rupture du confinement avec des bouffées de gaz traceur s'échappant hors de la sorbonne (Cf. *Figure 3*). L'arrêt de l'obstacle mobile ne signifie pas un retour immédiat au régime permanent avec un confinement total des polluants. La quantité de traceur hors de l'enceinte est plus conséquente, notamment au niveau de l'opérateur qui se retrouve alors directement exposé (Cf. *Figure 3*).

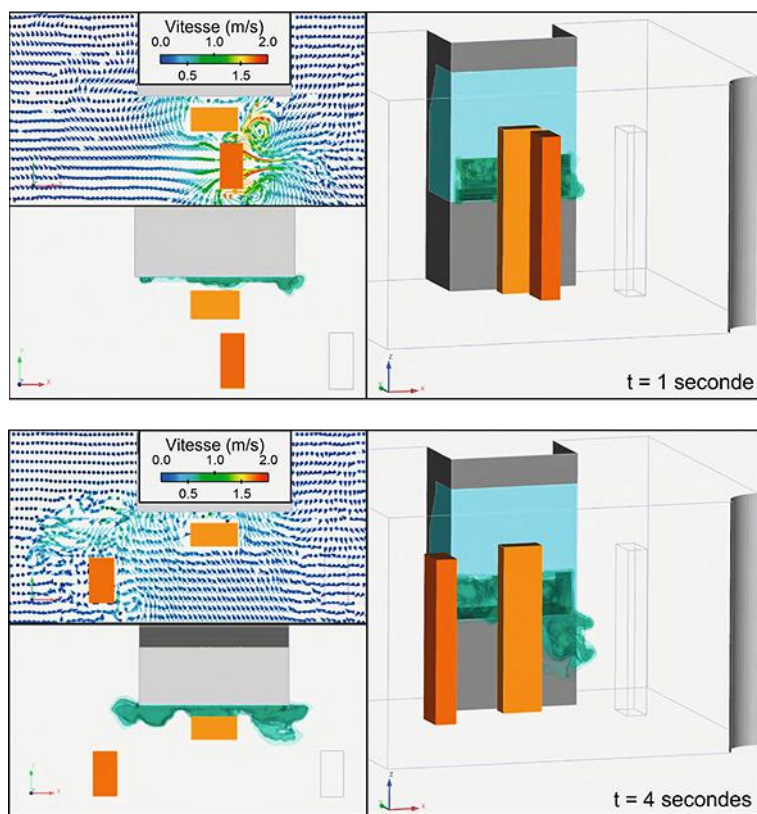
Analyse globale des résultats de l'étude paramétrique

→ Points sur les grandeurs analysées

Les perturbations suite au passage de l'obstacle mobile vont engendrer deux effets sur la rupture de confinement et sur l'exposition des opérateurs. Le premier est un effet instantané (court terme) qui peut se résorber par réaspiration du polluant par la sorbonne. En cas de fuite avérée, l'opérateur travaillant sur la sorbonne est le principal salarié

↑ **TABEAU 1**
Les neuf configurations étudiées selon différents paramètres.





↑ FIGURE 3
Évolution des champs de vitesses d'air et des fuites de traceur hors de la sorbonne suite au passage de l'obstacle mobile.
En haut : 1 seconde après le départ de l'obstacle mobile.
En bas : 4 secondes après le départ de l'obstacle mobile. Les zones matérialisées en vert correspondent à un facteur de protection inférieur à 1 million.

exposé. Cet effet est mis en évidence en analysant, d'une part, le débit de polluant en fonction du temps au travers de la surface ouverte et, d'autre part, la quantité maximale de polluant dans la pièce pendant toute la durée de l'événement.

Le deuxième effet est un effet au temps long lorsque les fuites temporaires (bouffées) de polluant ne sont pas réaspirées immédiatement. Dans cette situation, les autres opérateurs travaillant dans le laboratoire vont être exposés aux polluants, en plus de l'opérateur travaillant sur la sorbonne. Cet effet est mis en évidence en analysant la quantité de polluant résiduelle dans la pièce après la perturbation (quand le confinement a repris son régime non perturbé) et avant élimination de cette pollution résiduelle par la ventilation générale.

L'objectif est de montrer l'effet relatif des différents déterminants de l'exposition sélectionnés : vitesse d'air frontale de la sorbonne, présence d'un opérateur, largeur de la sorbonne, distance de passage de l'obstacle. Les grandeurs sont exprimées relativement au cas de la situation de référence «représentative», qui est la configuration 2 (Cf. Tableau 1). Les caractéristiques de cette configuration sont rappelées : vitesse frontale de 0,4 m.s⁻¹ ; sorbonne de largeur 1,2 m ; guillotine ouverte à une hauteur de 40 cm ; présence d'un opérateur et passage de l'objet mobile à 40 cm de l'ouverture de la sorbonne. Les données sont présentées pour un même débit source de polluant quelles que soient les

configurations (déterminant non considéré dans le cadre de cette étude).

→ Effet instantané de la perturbation

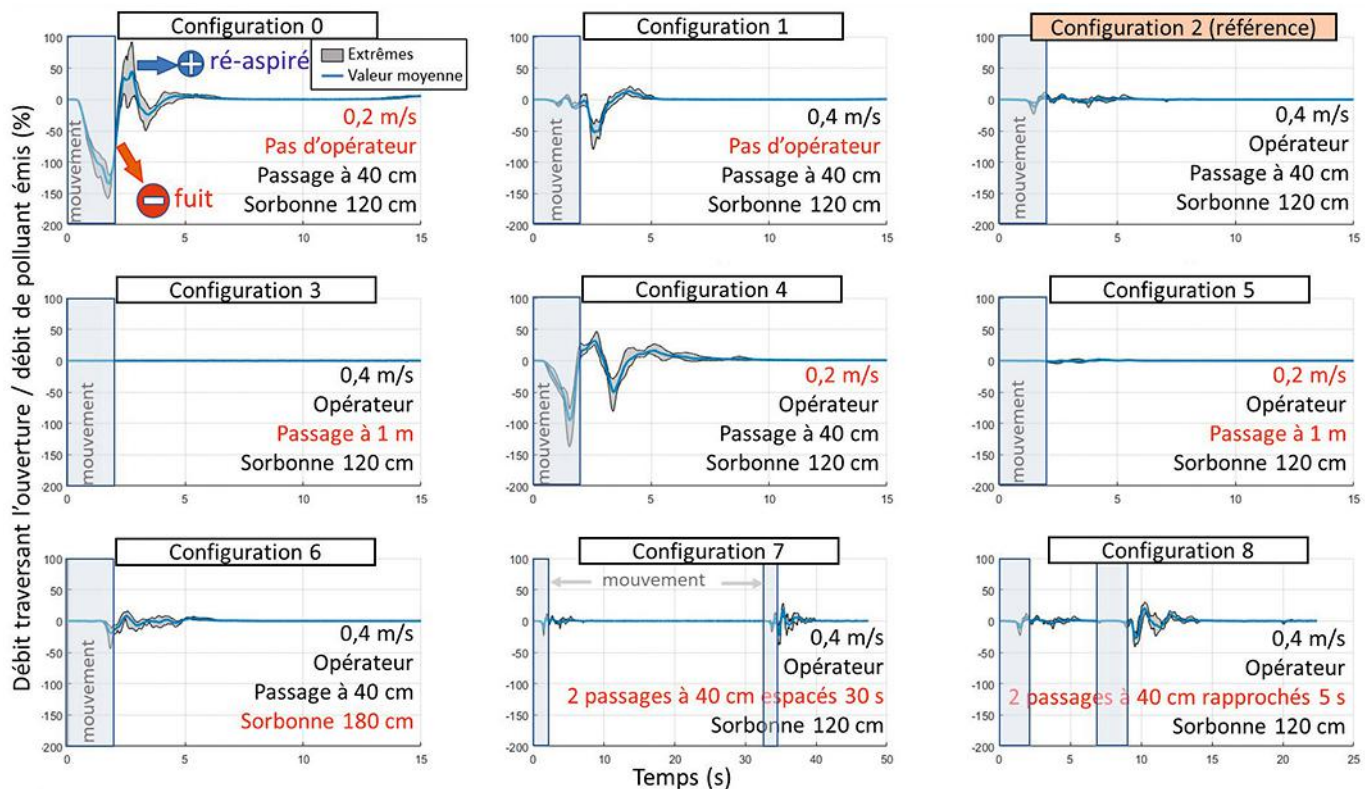
Le débit de polluant en fonction du temps au travers de la surface ouverte est présenté sur la Figure 4 pour toutes les configurations étudiées. Ce débit est exprimé relativement au débit de polluant émis dans la sorbonne (en %). Une valeur positive indique que le gaz traceur est aspiré par la sorbonne tandis qu'une valeur négative indique une fuite du gaz de la sorbonne. Les moyennes sont réalisées sur cinq simulations de la même configuration mais avec des états initiaux différents de la turbulence de l'air dans le local. Les zones grises représentent les maxima et minima obtenus sur ces cinq simulations alors que les courbes bleues indiquent la moyenne de phase.

Le passage de l'obstacle mobile entraîne des fuites de polluant pour la majorité des configurations (valeurs négatives sur les courbes). Cette bouffée sortante est immédiatement suivie d'une ré-aspiration partielle du polluant fuyard par la sorbonne (valeurs positives sur les courbes). Sur certaines configurations, de nouvelles bouffées de gaz sortant sont observées après la phase de réaspiration. Pour l'ensemble des configurations, le retour du confinement des polluants à l'intérieur de la sorbonne est rapide et s'établit après une durée inférieure à 5 secondes après un passage de l'obstacle mobile.

Pour un passage rapproché (40 cm), une vitesse d'aspiration faible au niveau de la surface ouverte (sorbonne basse vitesse à 0,2 m.s⁻¹ au lieu de 0,4 m.s⁻¹) a un effet délétère sur le confinement des polluants, qu'il y ait un opérateur présent devant la sorbonne (configurations 2 et 4) ou non (configurations 0 et 1). Dans ces conditions et suite à des effets d'accumulation du polluant dans la sorbonne, le débit de fuite peut atteindre jusqu'à deux fois le débit de polluant émis dans le cas d'utilisation d'une sorbonne basse vitesse. L'utilisation de sorbottes dites «basse vitesse» est donc à proscrire pour réduire fortement les ruptures du confinement.

L'éloignement de la zone de passage (1 m contre 40 cm) a un effet très positif (configurations 2 et 3), même lorsque la vitesse d'aspiration est faible (configurations 4 et 5). À cette distance, le sillage de l'objet en mouvement n'a pas ou a peu d'impact sur le confinement des polluants, indiquant qu'une distance de passage égale à 1 m est un critère permettant de limiter fortement les ruptures du confinement.

La présence d'un opérateur devant la sorbonne engendre un effet très positif sur l'efficacité de la sorbonne en limitant la déstabilisation des flux d'air (configurations 1 et 2 pour une vitesse de 0,4 m.s⁻¹ au niveau de la surface ouverte). Sans opérateur,



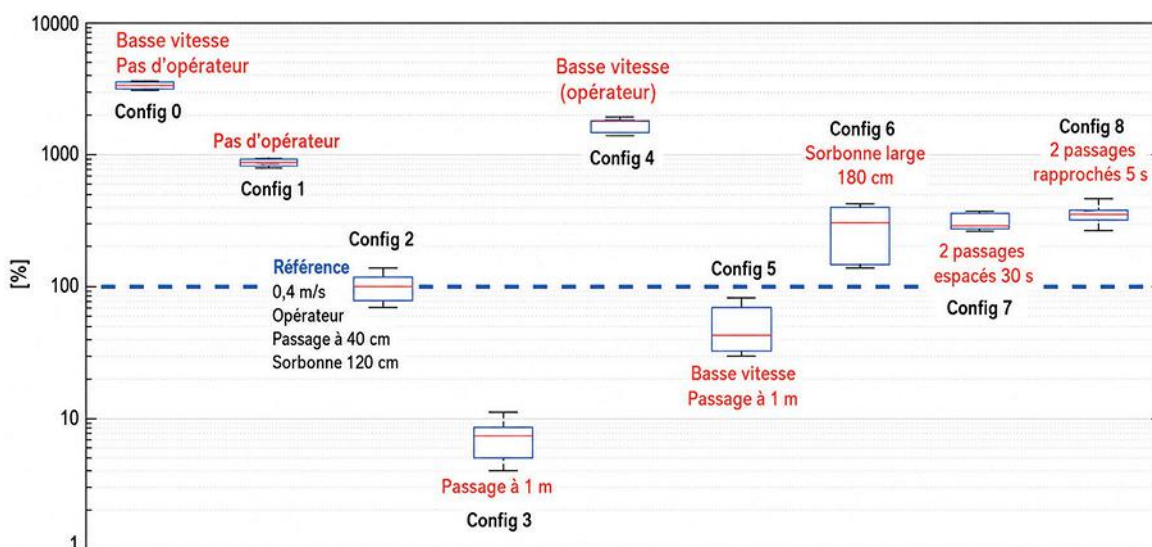
↑ FIGURE 4
Débit de polluant
en fonction du
temps au travers
de la surface
ouverte.

les fuites de polluant hors de la sorbonne sont donc plus importantes, confirmant la préconisation d'utilisation indiquant de fermer au maximum la guillotine des sorbottes non utilisées. L'effet de la présence d'un opérateur est moindre pour les sorbottes de plus grande largeur qui seront plus sensibles aux perturbations (configurations 2 et 6 pour des sorbottes avec des largeurs respectives de 1,2 m et 1,8 m).

En cas de double passage de l'obstacle devant la sorbonne, le deuxième passage occasionne une plus grande déstabilisation du confinement avec un

débit de fuite supérieur. Cet effet est plus prononcé pour des passages rapprochés dans le temps avec un intervalle inférieur au temps de retour à l'équilibre du confinement.

La quantité maximale de polluant dans la pièce durant l'événement est représentée sur la Figure 5 relativement à la configuration de référence (valeurs données en %). La configuration de référence est donc en moyenne à 100%. Les données sont représentées sous forme de boîtes à moustaches représentant la variation des résultats liée aux mouvements turbulents de l'air dans la pièce.



← FIGURE 5
Quantité maximale
de polluant dans
la pièce pendant
l'événement
relativement à
la configuration de
référence
(configuration 2,
ligne pointillée
bleue).
Représentation
sous forme
de boîtes
à moustaches :
la ligne rouge
représente
la moyenne
des valeurs,
le rectangle
comprend 50%
des valeurs,
et les extrémités
correspondent
aux 25% des
valeurs les plus
et les moins
élevées.

Les conclusions précédentes sont confirmées et il est possible de calculer des facteurs d'accroissement ou de diminution du risque dus aux différents déterminants par rapport à une situation donnée. Par exemple, le passage d'une personne à 1 m de la sorbonne diminue le risque d'un facteur supérieur à 10 comparativement à un passage à 0,4 m (configurations 2 et 3). Pour ce qui est de la vitesse frontale, une diminution de 0,4 m.s⁻¹ à 0,2 m.s⁻¹ engendre un accroissement du risque d'un facteur d'environ 20. Une hiérarchie de l'impact des déterminants de l'exposition étudiés peut ainsi être établie du plus au moins impactant : distance de passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage.

↓ FIGURE 6
Quantité résiduelle de polluant dans la pièce après l'événement relativement à la configuration de référence (configuration 2, ligne pointillée bleue). Représentation sous forme de boîtes à moustaches : la ligne rouge représente la moyenne des valeurs, le rectangle comprend 50 % des valeurs, et les extrémités correspondent aux 25 % des valeurs les plus et moins élevées.

→ Effet au temps long de la perturbation

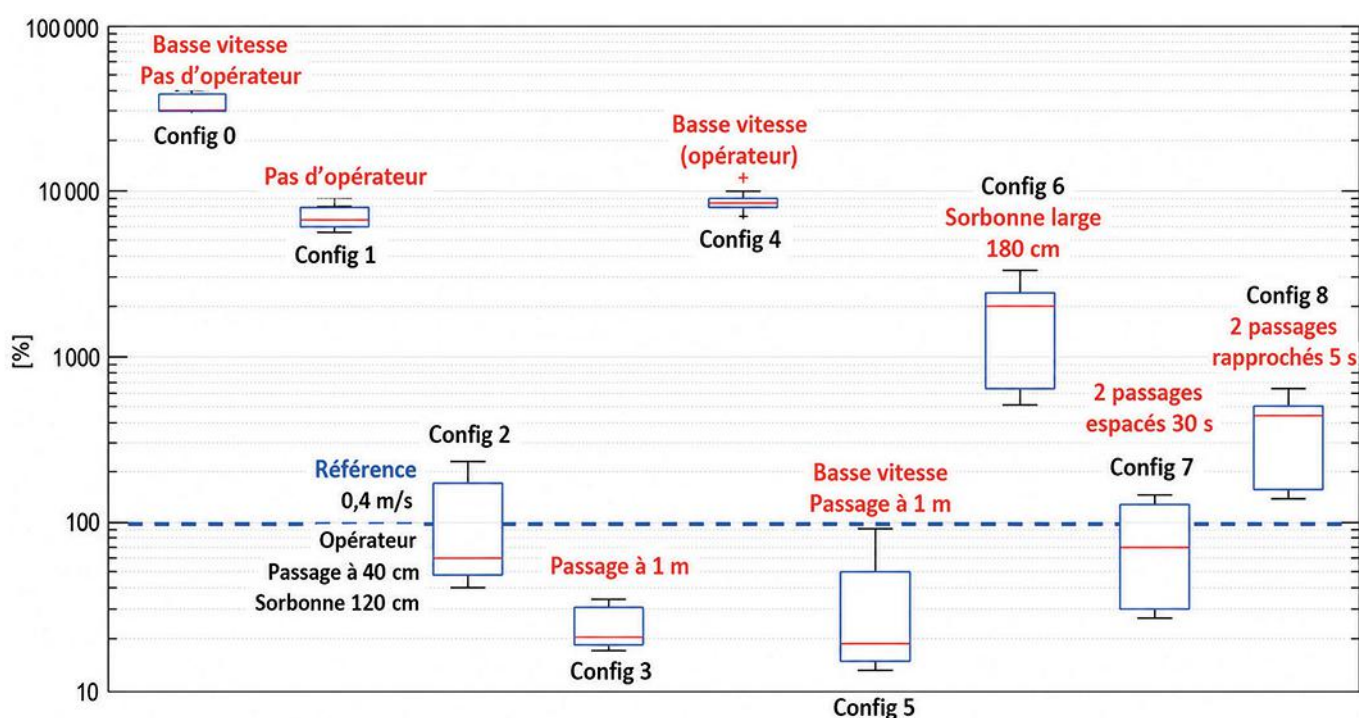
En cas de bouffées de polluant hors de la sorbonne, une partie de cette pollution peut ne pas être réaspirée par la sorbonne et se propager dans le laboratoire. Les personnes travaillant au sein du local peuvent donc être exposées. La quantité résiduelle de polluant dans la pièce après l'événement perturbateur est représentée sur la Figure 6 pour chaque configuration relativement à la configuration de référence. Comme pour le critère d'exposition à court terme, il est possible de calculer des facteurs d'accroissement ou de diminution du risque dus aux différents déterminants par rapport à une situation donnée. De même, la hiérarchie de l'impact des déterminants de l'exposition étudiés est identique à celle du critère d'exposition à court terme : distance de

passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage. Par rapport aux observations sur le critère d'exposition à court terme, on observe que la largeur de la sorbonne est un facteur plus pénalisant sur l'exposition à long terme que pour l'exposition à court terme. Globalement, le polluant est donc moins bien réaspiré lorsque la sorbonne est large. Par ailleurs, deux passages rapprochés engendrent une quantité résiduelle de pollution dans la pièce nettement supérieure (facteur supérieur à 5) à deux passages éloignés.

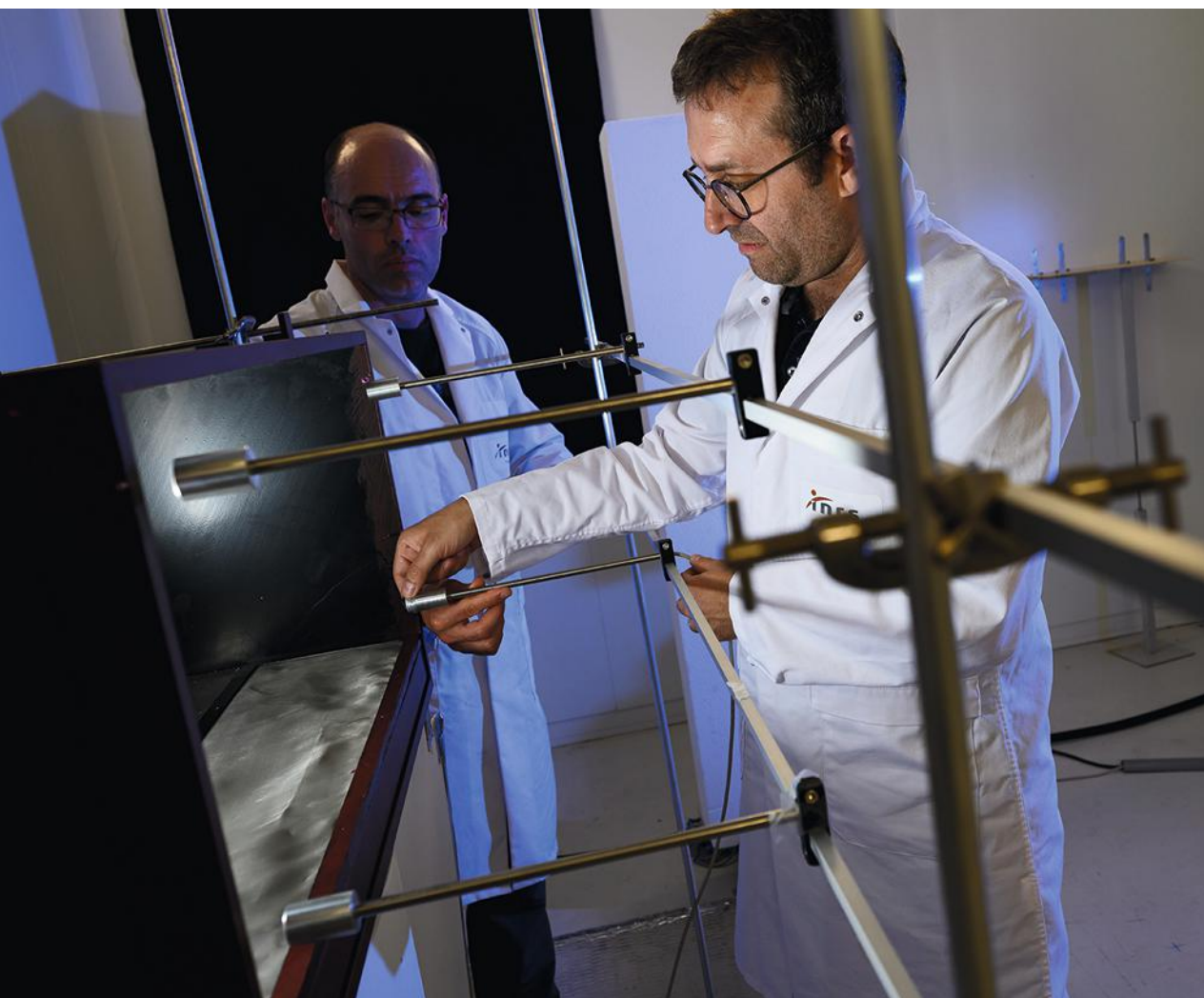
Conclusions

Une étude paramétrique numérique a été conduite afin d'évaluer l'impact de différents déterminants sur la capacité de confinement d'une sorbonne de laboratoire ouverte, lorsqu'une personne (ou un objet d'encombrement similaire) passe devant. Ces déterminants peuvent désormais être classés du plus au moins impactant : distance de passage – vitesse frontale – présence d'un opérateur – largeur de sorbonne – fréquence de passage. Cette classification permet de renseigner sur les actions à mener en priorité pour limiter l'impact de la perturbation sur le confinement des polluants. Dans ce sens, cette étude permet de définir ou de confirmer les recommandations suivantes pour l'utilisation et l'installation des sorbottes de laboratoire :

- placer les zones de passage à au moins 1 m des ouvertures des sorbottes ;
- proscrire l'utilisation des sorbottes basse vitesse ;



Étude de l'impact des perturbations aérodynamiques fugitives sur le confinement des enceintes ventilées.



© Gaël Kerbaol pour l'INRS/2023

- si aucun opérateur ne manipule sous la sorbonne, veiller à toujours baisser la guillotine à sa butée basse. En cas de manipulations sous la sorbonne, baisser la guillotine à la hauteur minimale possible ;
- privilégier les enceintes les moins larges possibles ;
- organiser les flux de personnes et l'agencement des locaux de sorte à limiter les fréquences de passages devant les sorbonnes en cours d'utilisation.

Il est important de rappeler également que les performances aérodynamiques et de confinement des sorbonnes de laboratoire doivent être systématiquement vérifiées lors de leur mise en service, puis contrôlées périodiquement conformément aux exigences réglementaires en vigueur. Ces contrôles visent à garantir l'efficacité de confinement des polluants et la protection des opérateurs. Le maintien de leur bon fonctionnement repose également sur la mise en œuvre d'une maintenance préventive et corrective régulière. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – *Principes généraux de ventilation*. ED 695, 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20695>

[2] INRS – *Sorbonnes de laboratoire : guide pratique de ventilation n° 18*. ED 795, 2009. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20795>

[3] AHN K. ET AL. – A review of published quantitative experimental studies on factors affecting laboratory fume hood performance. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2008, 5 (11), pp. 735-753.

[4] BELUT E., LECHÊNE S. ET AL. – Flow and contaminant transfer at the interface of an aerodynamic containment barrier subjected to the wake of a moving obstacle. *Building and environment*, 2023, 241, 110465.

[5] NORME NF EN 14175-4 – *Sorbonnes. Partie 4 : méthodes d'essai sur site*. Afnor, 2005. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).

[6] NORME NF X 15-206 – *Sorbonnes de laboratoire. Seuils pour les essais de confinement et de vitesse*. Afnor, 2023. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).

[7] NORME NF EN 14175-3 – *Sorbonnes. Partie 3 : Méthodes d'essai de type*. Afnor, 2019. Accessible sur : www.afnor.org (site payant).