

## Notes techniques

# CENTRES DE CONTRÔLE TECHNIQUE POIDS LOURDS : VENTILATION DES FOSSES DE VISITE

**Cette étude s'intéresse à la ventilation des fosses de visite des centres de contrôle des poids lourds. En s'appuyant sur des méthodes de simulation numérique, elle démontre que les niveaux d'exposition sont très sensibles à l'intensité et à l'orientation des flux d'air (vent). À partir de l'étude de trois modèles de véhicules (à échappements latéral, arrière et central), les concentrations de gaz les plus élevées sont atteintes par le véhicule à échappement central. Enfin, l'efficacité d'une ventilation locale complémentaire de la fosse est étudiée.**

ROBERT  
BRACONNIER  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

**L**es opérateurs des centres de contrôle technique pour poids lourds sont potentiellement exposés aux gaz d'échappement émis par les moteurs diesel des véhicules durant certaines phases de travail [1-4]. Ce risque est notable, en particulier lorsque les deux conditions suivantes sont réunies :

- L'opérateur se tient dans la fosse de visite, en dessous du véhicule moteur en marche. C'est le cas lors du contrôle des essieux sur les plaques à jeu ;
- Le captage direct des gaz à l'aide d'un cône d'extraction attaché à l'extrémité du conduit d'échappement est techniquement impossible.

Une analyse par simulation numérique de la ventilation des fosses de visite des centres de contrôle technique poids lourds a été effectuée pour diverses situations de travail. Les résultats, disponibles par ailleurs [5], sont synthétisés dans cet article. Trois exemples de véhicules sont considérés et plusieurs possibilités de mise en œuvre d'une ventilation locale de la fosse sont examinées.

### Matériels et méthodes

#### Géométrie du local

Le local de contrôle technique (cf. figures 1 à 3) possède les dimensions suivantes : longueur 24 m, largeur 7 m et hauteur 6 m. Il communique avec l'extérieur par deux portes. Il est muni d'un système d'axes, dont l'origine est placée dans un angle du local. L'axe Z est vertical ascendant et les axes X et Y sont tracés selon la longueur et la largeur du local. Par convention, les qualificatifs gauche, droit, avant

et arrière sont employés dans la suite par référence à un observateur qui serait tourné en direction des X croissants.

La porte X = 0 est utilisée pour l'accès du véhicule et la porte opposée pour son départ. L'avant du véhicule est donc orienté dans le sens des X croissants. L'atelier contient une cabine de contrôle près de la porte de départ.

La fosse de visite longitudinale possède les dimensions suivantes : largeur 0,9 m, profondeur 1,65 m, longueur entre les pieds des escaliers en fond de fosse 18 m, distance séparant le sommet des deux escaliers aux extrémités 21,4 m. Deux dispositions d'escaliers sont considérées. Certains escaliers sont massifs et comprennent sept contremarches. Par simplification, ils sont modélisés par des plans inclinés (cf. figures 2 et 3). D'autres escaliers sont réalisés en caillebotis et sans contremarche et sont négligés en tant qu'obstacles aux écoulements (cf. figure 1), ce qui correspond à considérer la fosse avec des extrémités verticales.

Dans certaines simulations, la fosse est munie dans sa face longitudinale droite de trois orifices de ventilation de diamètre 125 ou 300 mm. Ces orifices sont placés au tiers de la hauteur de la fosse (cf. figure 2) et sont numérotés de 1 à 3 dans le sens des X croissants.

Dans d'autres simulations, la fosse est équipée d'une gaine de ventilation longitudinale de diamètre 200 mm, accolée à sa paroi verticale droite et placée à 1,5 m au-dessus du fond de la fosse. Cette gaine est munie d'une fente de soufflage longitudinale

## RÉSUMÉ

Cet article traite de la ventilation des fosses de visite des centres de contrôle technique pour poids lourds, en s'appuyant sur des outils de simulation numérique des écoulements. Il s'intéresse au cas d'un atelier dans lequel l'air est renouvelé par les portes d'accès et de départ des véhicules, par une ventilation générale

naturelle induite par le vent extérieur. Trois véhicules sont considérés : un poids lourd articulé (échappement latéral), un autobus (échappement arrière) et un camion porteur (échappement central). On montre que les niveaux d'exposition sont très sensibles à l'intensité et à l'orientation du vent. Les valeurs les plus élevées sont atteintes pour

le véhicule à échappement central. D'autre part, l'efficacité d'une ventilation locale complémentaire de la fosse, par aspiration ou par soufflage, est étudiée. Les meilleurs résultats sont obtenus grâce à un soufflage d'air par un ventilateur axial placé à l'extrémité de la fosse la plus proche de l'entrée d'air de l'atelier.

### *Ventilation of inspection pits at heavy goods vehicle testing stations*

*This article examines ventilation of inspection pits at heavy goods vehicle testing stations by using computational fluid dynamics. The study was conducted in a workshop that was ventilated, through the vehicle entrance and exit doors, by natural general ventilation induced by*

*outside wind. Three vehicles were considered: an articulated lorry (side exhaust), a bus (rear exhaust), and a rigid truck (central exhaust). The exposure levels were very sensitive to the intensity and to the direction of the wind. The highest values were attained with a central exhaust. The*

*effectiveness of an addition local system for ventilating the pit, by suction or by blowing, was also studied. The best results were obtained by blowing air using an axial fan placed at the end of the pit that was closer to the air intake via which air entered the workshop.*

de largeur 20 mm. Dans d'autres simulations, un ventilateur axial est placé sous l'un des escaliers en caillebotis en bout de fosse (cf. figure 1).

#### **Géométrie du poids lourd articulé**

Le poids lourd articulé (cf. figures 2 et 3) a une longueur totale de 16,5 m, une largeur de 2,55 m et une hauteur maximale de 3,94 m. Une plaque rectangulaire verticale prolonge vers le bas la face arrière de la caisse. Le véhicule est centré par rapport à la fosse. Le poids lourd est muni d'un échappement latéral. La sortie du conduit d'échappement est située en bas de la face verticale gauche du tracteur. L'éjection est orientée vers l'arrière, avec un angle horizontal de 135° par rapport à l'axe X et un angle de 10° en dessous de l'horizontale. La sortie du conduit d'échappement a un diamètre de 110 mm.

#### **Géométrie du camion porteur**

Le camion porteur (cf. figure 1) possède une longueur totale de 9,31 m, une largeur de 2,55 m et une hauteur maximale de 3,24 m. La position des plaques à jeu est inchangée et la longueur du véhicule est réduite, aussi la position longitudinale du camion est beaucoup plus proche de l'extrémité de la fosse côté départ que de l'extrémité opposée. Le porteur est muni d'un échappement central. La sortie du conduit d'échappement est située à mi-largeur

de la face inférieure du châssis. L'éjection est orientée verticalement en direction du fond de fosse. La sortie du conduit d'échappement a un diamètre de 80 mm.

#### **Géométrie de l'autobus**

L'autobus a une longueur de 12 m, une largeur de 2,55 m et une hauteur de 3 m. Sa caisse ne diffère d'un parallélépipède rectangle que par l'inclinaison de ses faces avant et arrière, avec des angles d'attaque et de fuite égaux à 7°. La position longitudinale du bus est, comme le porteur, beaucoup plus proche de l'extrémité de la fosse côté départ que de l'extrémité opposée.

La sortie d'échappement de l'autobus est excentrée et placée en bas de la face arrière du véhicule et adjacente à son flanc gauche. L'éjection est orientée avec un angle de 10° en dessous de l'horizontale.

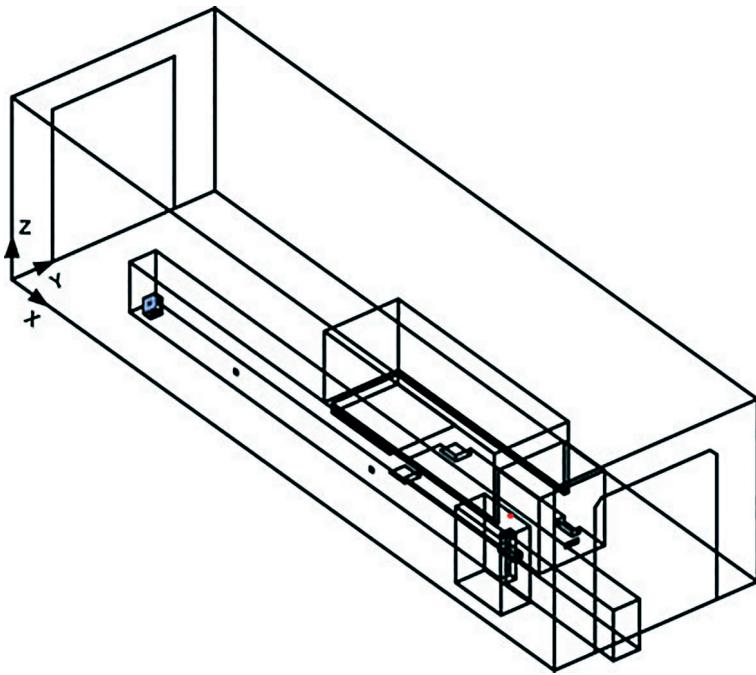
#### **Obstacle représentant l'opérateur**

La présence d'un opérateur debout sur le fond de la fosse peut créer un obstacle aux écoulements. L'opérateur prend la forme, très simplifiée, d'un parallélépipède rectangle appuyé contre la paroi verticale droite de la fosse.

#### **Source de polluant**

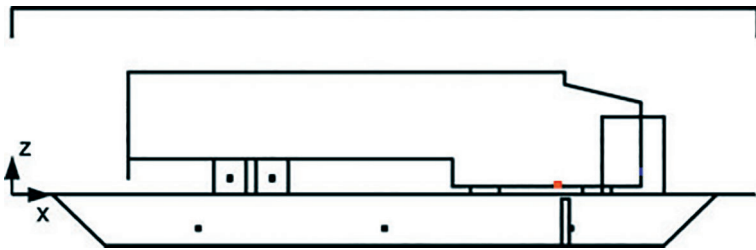
La source de pollution se situe à la sortie du conduit d'échappement. L'émission prend la forme d'un





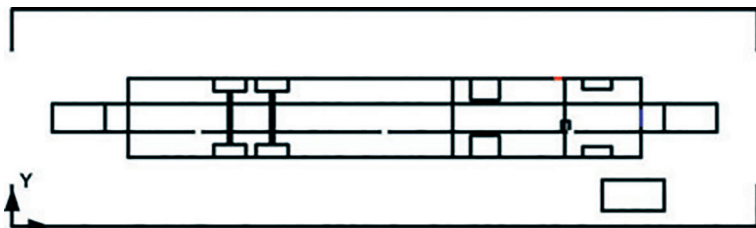
↑ FIGURE 1.

Vue en perspective du local avec le camion porteur, un ventilateur axial placé côté accès.



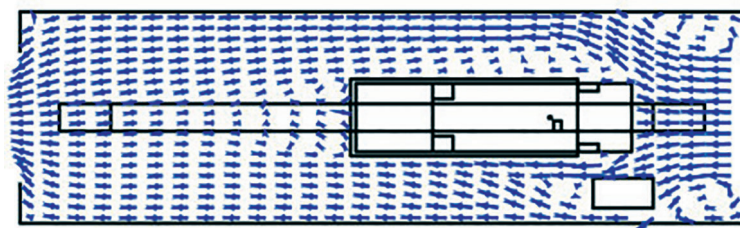
↑ FIGURE 2.

Vue de face du local avec le poids lourd articulé et les orifices en paroi de fosse.



↑ FIGURE 3.

Vue de dessus du local avec le poids lourd articulé.



↑ FIGURE 4.

Projection parallèlement à l'axe Z des vitesses d'air dans un plan proche de la mi-hauteur du camion porteur. Simulation D (entrée d'air par la porte de départ).

dégagement gazeux, apte à modéliser les gaz produits aussi bien que les particules fines, compte tenu de leur faible diamètre. La teneur en polluant dans le gaz dégagé est fixée à une valeur arbitraire, mais invariable, ce qui permet d'utiliser les concentrations calculées en régime permanent d'émission pour des comparaisons en valeurs relatives, mais pas pour une appréciation par rapport à une valeur limite d'exposition.

Le débit de gaz d'échappement  $D$  est donné (selon Vierling [1]) par la formule :

$$D = 0,0363 \cdot n \cdot V \quad (1)$$

avec :  $n$  régime du moteur et  $V$  cylindrée du véhicule. Le débit d'échappement est de  $290 \text{ m}^3/\text{h}$  pour le poids lourd articulé, de  $224 \text{ m}^3/\text{h}$  pour l'autobus et de  $145 \text{ m}^3/\text{h}$  pour le camion porteur. Les vitesses en sortie du conduit d'échappement correspondantes sont de  $8,5$  ;  $6$  et  $8 \text{ m/s}$ .

### Conditions aérauliques

L'assainissement de l'air du local est assuré par une ventilation générale naturelle induite par le vent extérieur. L'air pénètre par une des portes de l'atelier et s'évacue par la porte opposée. Deux valeurs de vitesse d'air dans l'entrée ont été étudiées :  $1 \text{ m/s}$  et  $0,3 \text{ m/s}$ . D'autre part, deux situations sont examinées :

- L'air entre par la porte d'accès. La direction générale de circulation de l'air est orientée dans le même sens que le poids lourd ;
- L'air entre par la porte de départ. Dans ce cas, l'air neuf balaye en premier l'avant du véhicule.

Trois modes d'utilisation des orifices de ventilation en paroi verticale de fosse ont été simulés :

- Aucune ventilation locale de la fosse au travers de ces orifices ;
- Extraction d'air par ces orifices ;
- Insufflation d'air par ces orifices.

Dans les deux dernières situations, deux valeurs du débit global de ventilation sont étudiées :  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  ou  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ce débit est réparti régulièrement sur les trois orifices. Il correspond respectivement à une vitesse d'air dans chaque orifice de  $3,8$  ou  $15,1 \text{ m/s}$  pour un diamètre d'orifices de  $125 \text{ mm}$  et de  $0,7$  ou  $2,6 \text{ m/s}$ , pour un diamètre de  $300 \text{ mm}$ .

En cas de ventilation locale à l'aide de la lèvres longitudinale, un apport d'air neuf extérieur de  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$  est insufflé dans la fosse. La vitesse de soufflage est orientée en direction de la paroi longitudinale de fosse opposée, avec un angle de  $45^\circ$  en dessous de l'horizontale. Le débit insufflé correspond à une vitesse d'air au travers de la lèvres de  $1,7 \text{ m/s}$ .

Dans les simulations utilisant un ventilateur axial, ce dernier est systématiquement placé au voisinage de l'extrémité de la fosse la plus proche de l'entrée d'air. Un débit d'air de brassage de  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$  est alors éjecté longitudinalement dans la fosse, dans le même sens que l'air entrant. Le débit éjecté est pris dans

	VÉHICULE	ÉCHAPPEMENT	PORTE D'ENTRÉE D'AIR	VITESSE (m/s)	VENTILATION LOCALE			FOSSE
					débit (m <sup>3</sup> /h)	ouvertures (mm)	mode	
<b>A</b>	articulé	-	départ	1,0	0	-	-	i
<b>B</b>	articulé	latéral	départ	1,0	0	-	-	i
<b>C</b>	porteur	central	départ	1,0	0	-	-	i
<b>D</b>	porteur	central	départ	0,3	0	-	-	i
<b>E</b>	porteur	central	départ	0,3	500	3 en paroi Ø 125	a	i
<b>F</b>	porteur	central	départ	0,3	500	3 en paroi Ø 125	s	i
<b>G</b>	autobus	arrière	départ	1,0	0	-	-	i
<b>H</b>	autobus	arrière	accès	1,0	0	-	-	i
<b>I</b>	porteur	central	départ	0,3	2000	3 en paroi Ø 125	s	d
<b>J</b>	porteur	central	départ	0,3	2000	3 en paroi Ø 300	s	d
<b>K</b>	porteur	central	départ	0,3	2000	20 x 16500	s	d
<b>L</b>	porteur	central	départ	0,3	2000	1 axiale Ø 300	b	d
<b>M</b>	porteur	central	accès	0,3	2000	1 axiale Ø 300	b	d
<b>N</b>	porteur	central	accès	0,3	0	-	-	d

↑TABLEAU 1.  
Résumé des simulations.

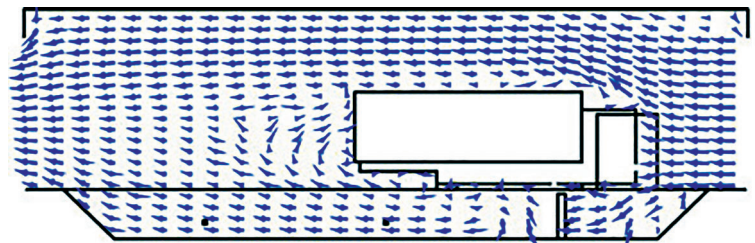
Mode de ventilation locale : **a** = aspiration, **s** = soufflage, **b** = brassage via un ventilateur axial  
Fosse (modélisée) : **d** = extrémités droites, **i** = extrémités inclinées.

la fosse immédiatement en amont du ventilateur et ne constitue donc pas un apport d'air externe pour l'atmosphère de la fosse.

### Simulations numériques

La simulation numérique des écoulements repose sur l'utilisation d'un logiciel permettant de résoudre les équations de conservation de la mécanique des fluides (masse, quantité de mouvement, polluant, etc.). Cette résolution est obtenue après décomposition du domaine de calcul en une multitude de petits éléments jointifs qui forment un maillage spatial. La simulation permet de calculer les champs des vitesses d'air ou des concentrations en polluants à partir des données géométriques, des conditions aérodynamiques dans les entrées et sorties et des caractéristiques des sources. Les simulations numériques ont été réalisées ici à l'aide du logiciel Fluent®. Les conditions de calcul utilisées correspondent à des écoulements tridimensionnels, monophasiques, incompressibles, isothermes et stationnaires. La turbulence a été simulée à l'aide du modèle *k-epsilon* réalisable. Le tableau 1 résume les conditions des simulations effectuées. Les résultats sont présentés dans la suite sous la forme :

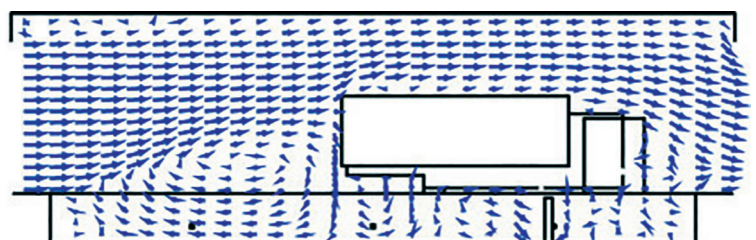
- De tracés de vecteurs figurant les champs de vitesses d'air dans différents plans ;
- De cartes de concentration en polluant. Les échelles de concentration utilisées pour ces figures sont représentées dans l'encadré ;
- De moyennes volumiques à l'intérieur de la fosse du module de vitesse d'air et de la concentration en polluant (cf. tableau 2) ;



↑FIGURE 5.  
Projection parallèlement à l'axe Y des vitesses d'air dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation D (porteur, entrée d'air par la porte de départ).



↑FIGURE 6.  
Concentration en polluant dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation D (porteur, entrée d'air par la porte de départ).



↑FIGURE 7.  
Projection parallèlement à l'axe Y des vitesses d'air dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation N (porteur, entrée d'air par la porte d'accès).

	VOLUME (m/s)	CONCENTRATION (-)
A	0,50	-
B	0,47	0,002
C	0,37	24,6
D	0,14	83,0
E	0,12	84,3
F	0,20	67,0
G	0,36	1,7
H	0,25	4,4
I	0,51	24,3
J	0,27	35,3
K	0,26	52,0
L	1,14	8,7
M	1,17	2,4
N	0,11	72,9

↑ TABLEAU 2.  
Moyennes dans le volume de la fosse du module de vitesse d'air et de la concentration en polluant.

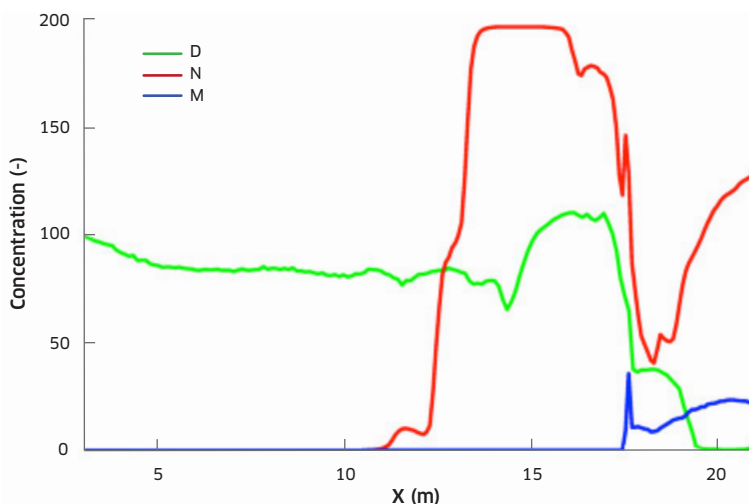
	r1 (-)	r2 (-)
B	0,008	0,008
C	16,1	11,8
D	73,5	70,0
E	59,7	64,6
F	57,9	62,9
G	1,6	< 0,001
H	5,0	4,1
I	23,6	37,1
J	29,9	39,9
K	24,3	34,8
L	5,3	4,5
M	3,4	4,9
N	65,7	117,3

r1 : moyenne sur toute la longueur de la fosse.  
r2 : moyenne limitée à la portion longitudinale correspondant au dessous du véhicule.

↑ TABLEAU 3.  
Moyennes surfaciques de concentration en polluant dans le plan horizontal à hauteur des voies respiratoires dans la fosse.



↑ FIGURE 8.  
Projection parallèle à l'axe Y des vitesses d'air dans le plan vertical longitudinal médian. Simulation N (porteur, entrée d'air par la porte d'accès).



↑ FIGURE 9.  
Profils longitudinaux de concentration en polluant à hauteur des voies respiratoires, en présence du camion porteur. Simulations D et N (sans ventilation locale) et M (avec ventilateur axial).

- De moyennes surfaciques de concentration en polluant dans le plan horizontal à hauteur des voies respiratoires dans la fosse (cf. tableau 3);
- De profils de l'évolution longitudinale de la concentration moyenne en polluant dans la fosse à hauteur des voies respiratoires (moyenne linéique calculée, pour chaque abscisse, à la hauteur spécifiée et le long du segment de droite transversal correspondant).

### Ventilation générale naturelle seule

#### Exemple illustratif

Les figures 4 et 5 présentent à titre d'exemple les vitesses d'air calculées en présence du camion porteur pour une entrée d'air à 0,3 m/s par la porte de départ, donc face au camion (simulation D). Elles sont tracées dans un plan horizontal proche de la mi-hauteur du poids lourd et dans le plan vertical longitudinal médian. Elles permettent d'observer l'impact de l'air issu de l'entrée sur l'avant du camion, la formation de divers vortex horizontaux et verticaux dans l'atelier et la présence d'un sillage en aval du véhicule.

Dans la fosse, l'air neuf pénètre par l'avant en créant un tourbillon sous le nez du véhicule, puis entre en interaction avec le jet vertical issu du conduit d'échappement qui est alors dévié vers l'arrière. Un écoulement unidirectionnel dans la fosse et sous le véhicule se rétablit assez rapidement un peu plus en aval et balaye la fosse jusqu'à son extrémité arrière. En arrière du camion, cet écoulement intègre une composante ascensionnelle induite par le comblement du sillage créé en aval du véhicule par l'écoulement général. Pour cette simulation, le module de vitesse d'air moyen dans la fosse atteint 47% de la vitesse dans l'entrée (cf. tableau 2). La figure 6

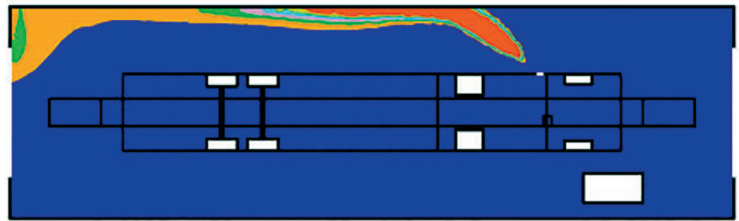
présente les concentrations en polluant dans le plan vertical médian. L'air pollué pénètre dans la fosse via le jet issu du conduit d'échappement, puis occupe la fosse en aval sous la forme de strates horizontales dans lesquelles la concentration croît verticalement du haut de la fosse vers le fond. L'écoulement de l'air, orienté vers l'arrière de la fosse, s'accompagne ensuite d'une ascension des niveaux de concentration élevés en direction du haut de la fosse. L'air neuf en provenance de l'entrée occupe l'avant de la fosse.

### Sens du vent extérieur

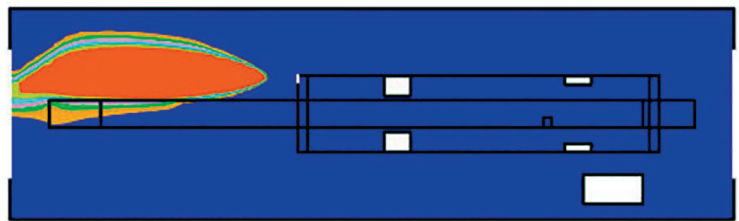
Dans la simulation N, le sens de la ventilation générale de l'atelier est inversé. La distance accrue entre l'extrémité de la fosse côté entrée d'air et le bord d'attaque du véhicule permet alors, sous l'effet de marche descendante pour l'écoulement créé par la présence de la fosse, l'établissement entre l'entrée d'air et le camion de vastes zones tourbillonnaires verticales (cf. figure 7) et horizontales. Ces tourbillons entraînent une nette diminution des entrées longitudinales d'air neuf sous le véhicule, ce qui réduit l'intensité des vitesses d'air dans la zone de travail. Les cartes de concentration en polluant montrent un net accroissement de l'étendue de la zone la plus polluée, à la fois dans le plan vertical médian (cf. figure 8) et à mi-garde au sol du porteur. Les valeurs de la concentration à hauteur des voies respiratoires sont fortement majorées en dessous du véhicule (cf. figure 9). En conséquence, la concentration moyenne dans la zone de travail est en forte hausse de 68 % (cf. tableau 3).

### Vitesse d'air dans l'entrée

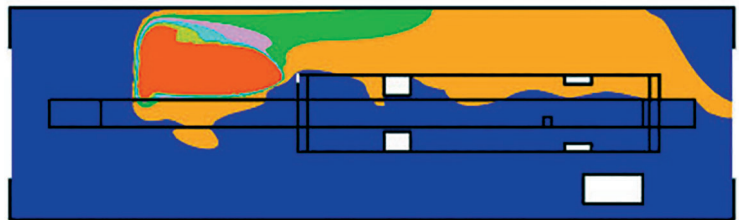
Dans la simulation C, la vitesse d'air dans l'entrée passe de 0,3 m/s à 1 m/s. Le débit de gaz d'échappement du véhicule reste toutefois inchangé. Les modifications à la structure des écoulements se limitent principalement à la zone voisine du jet d'échappement, qui possède une force relative amoindrie. Le module de vitesse d'air moyen dans la fosse de visite est multiplié par un facteur 2,6 (cf. tableau 2), pour un coefficient d'augmentation de la vitesse dans l'entrée égal à 3,3, l'écart pouvant s'expliquer par la valeur inchangée du débit d'échappement. L'augmentation de la vitesse d'entrée entraîne une forte diminution des concentrations dans la fosse. La concentration moyenne sur l'ensemble du volume (cf. tableau 2) est ainsi divisée par 3,4, ce qui correspond approximativement au taux d'augmentation du débit de ventilation. Sous l'effet des modifications locales apportées aux écoulements à proximité du jet d'échappement, les facteurs de réduction pour les concentrations à hauteur des voies respiratoires sont plus élevés (cf. tableau 3) : ils atteignent 4,6 pour la moyenne sur toute la longueur de la fosse et 5,9 pour la moyenne limitée à la portion longitudinale correspondant au véhicule.



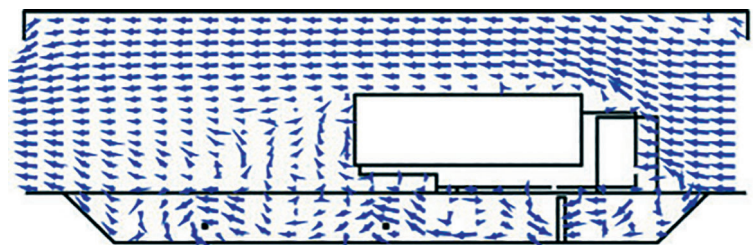
↑ FIGURE 10.  
Concentration en polluant au niveau du sol de l'atelier.  
Simulation B (poids lourd articulé, échappement latéral).



↑ FIGURE 11.  
Concentration en polluant au niveau du sol de l'atelier.  
Simulation G (autobus, entrée d'air par la porte de départ).



↑ FIGURE 12.  
Concentration en polluant au niveau du sol de l'atelier.  
Simulation H (autobus, entrée d'air par la porte d'accès).



↑ FIGURE 13.  
Projection parallèlement à l'axe Y des vitesses d'air dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation F (soufflage d'air par trois orifices en paroi).

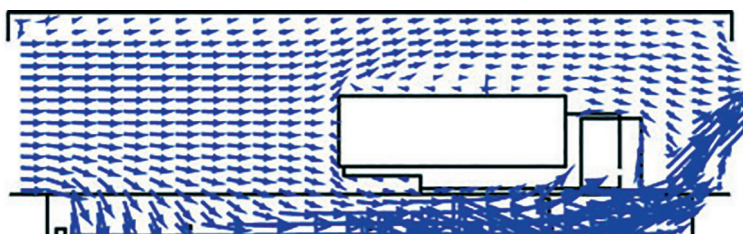


↑ FIGURE 14.  
Concentration en polluant dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation E (extraction d'air par trois orifices en paroi).





↑FIGURE 15.  
Concentration en polluant dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation F (soufflage d'air par trois orifices en paroi).



↑FIGURE 16.  
Projection parallèlement à l'axe Y des vitesses d'air dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation M (avec ventilateur axial).



↑FIGURE 17.  
Concentration en polluant dans le plan vertical longitudinal médian.  
Simulation M (avec ventilateur axial).

### Type du véhicule

Les simulations B, C, G et H, conduites avec la même intensité de vitesse dans l'entrée, permettent une comparaison des écoulements lors du contrôle des trois types de véhicules.

Dans le cas du poids lourd articulé, le jet issu de l'échappement latéral vient frapper obliquement le sol puis le bas de la paroi gauche de l'atelier. Il n'apparaît pas de pénétration directe du jet d'échappement à l'intérieur de la fosse (cf. figure 10). L'air pollué s'écoule ensuite vers la sortie d'air le long du dièdre formé par ces deux plans, sans retour notable en direction de la fosse de visite (cf. tableaux 2 et 3). En présence du bus et d'une entrée d'air par la porte de départ (simulation G), l'écoulement général dans l'atelier est orienté dans le même sens que la direction initiale du jet d'échappement arrière. Le jet d'air pollué vient alors frapper le sol, puis est évacué par la sortie d'air. Au cours de sa progression, il s'élargit verticalement et latéralement jusqu'à l'aplomb de l'arrière de la fosse (cf. figure 11). Une faible fraction du polluant pénètre alors dans la fosse vers son extrémité arrière.

Dans la simulation H, le bus est contrôlé avec une entrée d'air côté accès. Des zones tourbillonnaires verticales et horizontales s'établissent alors, comme dans le cas du camion porteur, entre l'entrée d'air et l'arrière du bus. Le jet d'échappement s'écoule initialement vers la porte d'accès. Il est ensuite repoussé par l'écoulement général et se dirige vers la porte opposée en se diluant et en s'élargissant verticalement et latéralement (cf. figure 12). Une fraction du polluant pénètre alors dans la fosse au voisinage de l'arrière du bus et entre les essieux.

Les concentrations moyennes en polluant dans la fosse (cf. tableaux 2 et 3) lors du contrôle de l'autobus restent très nettement inférieures aux valeurs obtenues en présence du camion porteur. Ces concentrations sont plus faibles lorsque l'air neuf pénètre dans l'atelier par la porte la plus proche du véhicule.

### Ventilation locale complémentaire de la fosse

#### Aspiration et soufflage par des orifices en paroi

L'influence d'une ventilation locale de la fosse au travers d'orifices ménagés dans l'une de ses parois a été examinée lors du contrôle du camion porteur et en présence de la vitesse d'air réduite dans l'entrée (0,3 m/s). Les orifices sont utilisés pour une extraction d'air dans la simulation E et pour une insufflation d'air dans la simulation F.

La mise en œuvre de l'extraction d'air ne change pas l'allure générale des écoulements par rapport à la configuration sans ventilation locale. Cependant, le débit extrait est aspiré au détriment du flux de balayage longitudinal de la fosse. Ainsi, le débit aspiré par l'orifice avant (n° 3) est en grande partie formé d'air propre en provenance de la porte d'entrée, du fait de son placement en amont de l'échappement. Le soufflage d'air (cf. figure 13) détruit le mouvement de balayage longitudinal dans la fosse, génère plusieurs zones tourbillonnaires contenant des vitesses d'air élevées, crée un écoulement sortant à l'extrémité avant de la fosse et perturbe le sillage en arrière du camion. La présence de jets de soufflage dans la fosse provoque une forte augmentation (plus 43 %) du module de vitesse dans la fosse (cf. tableau 2). Les concentrations en polluant dans le plan médian sont présentées aux figures 14 et 15. L'aspect général de la carte calculée en présence d'une aspiration est voisin de celui obtenu sans ventilation locale. *A contrario*, la mise en œuvre d'un soufflage localisé détruit la stratification horizontale des concentrations en arrière de l'échappement, occasionne une sortie d'air pollué hors de la fosse vers l'avant et accroît la hauteur de la zone polluée dans le sillage du camion. La moyenne volumique de la concentration en polluant dans la fosse est abaissée de 19 % par la mise en œuvre d'une insufflation d'air locale (cf. tableau 2), mais n'est pas réduite par une extraction d'air (hausse de 1,6 %). À hauteur des voies respiratoires, les deux

modes de ventilation locale permettent de diminuer les concentrations (cf. tableau 3), mais les réductions obtenues s'avèrent assez modestes. Les diminutions atteintes à l'aide d'un soufflage sont un peu plus élevées que celles obtenues à l'aide d'une aspiration, respectivement 10 et 7,7 % dans la zone de travail.

#### Débit de soufflage par les orifices en paroi de fosse

L'augmentation du débit de soufflage de 500 à 2000 m<sup>3</sup>/h dans la simulation I renforce nettement les zones tourbillonnaires situées en face des orifices, à la fois en intensité des vitesses d'air et en étendue : les tourbillons débordent par exemple largement au-dessus du niveau de la fosse. À fort débit, l'air insufflé dans la fosse parvient à dévier localement au voisinage du sol l'écoulement général dans l'atelier et à diminuer les entrées latérales d'air neuf sous le véhicule entre les essieux.

Le taux de réduction de la concentration moyenne dans tout le volume de la fosse, par rapport à la configuration D sans ventilation locale, qui était de 19 % pour un soufflage de 500 m<sup>3</sup>/h, progresse fortement à 71 % pour un soufflage de 2000 m<sup>3</sup>/h (cf. tableau 2). Les réductions atteintes pour la concentration dans la zone de travail s'améliorent également : de 10 % pour 500 m<sup>3</sup>/h à 47 % pour 2000 m<sup>3</sup>/h (cf. tableau 3).

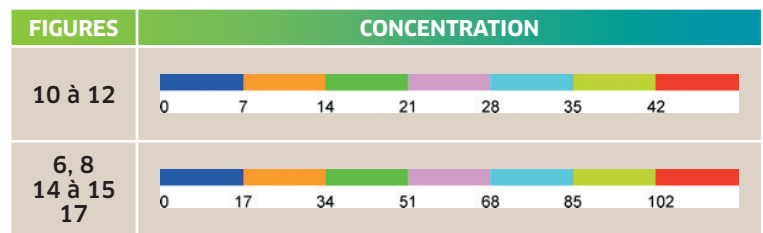
#### Diamètre des orifices en paroi de fosse

L'utilisation d'orifices en paroi agrandis (simulation J), pour un même débit de ventilation localisée, réduit l'intensité des vitesses d'air à l'intérieur des zones tourbillonnaires en face des orifices, mais affecte moins leur étendue. Elle renforce par contre l'écoulement sortant de la fosse à son extrémité avant. À débit de soufflage en fosse constant, le passage à un grand diamètre d'orifices (de la configuration I à la configuration J) atténue les taux de réduction obtenus par rapport à la ventilation naturelle seule : de 71 à 57 % dans tout le volume de la fosse et à hauteur des voies respiratoires, de 68 à 59 % sur toute la longueur de la fosse, et de 47 à 43 % dans la zone de travail sous le véhicule.

#### Lèvre de soufflage longitudinale

Dans la simulation K, le jet issu de la lèvre de soufflage longitudinale, émis avec un angle de 45 degrés en dessous de l'horizontale, vient frapper la paroi verticale opposée de la fosse. Il se divise alors en deux fractions. Une fraction génère un tourbillon qui occupe toute la partie basse de la fosse. L'autre fraction forme un écoulement montant qui suit la paroi verticale. Dans le plan vertical médian, un écoulement de balayage unidirectionnel de la fosse subsiste uniquement vers le bas de la partie arrière.

Le soufflage par la lèvre longitudinale permet d'obtenir un net abaissement des concentrations sur presque toute la longueur de la fosse. Toutefois,



Échelles utilisées pour les cartes de concentration en polluant

ce soufflage restreint l'entrée d'air neuf à l'extrémité de la fosse et provoque ainsi une augmentation de la pollution sous l'avant du véhicule.

Pour le même débit de soufflage en fosse, le remplacement des orifices en paroi de petit diamètre (simulation I) par une lèvre longitudinale (simulation K) modifie peu les taux de réduction de la concentration moyenne à hauteur des voies respiratoires (par rapport à la configuration D avec ventilation naturelle seule). Ces taux s'élèvent respectivement à 47 % et 50 % pour la portion située sous le véhicule (cf. tableau 3). La configuration avec les orifices en paroi permet cependant d'obtenir une diminution de la concentration moyenne dans tout le volume de la fosse nettement supérieure : 71 % contre 37 % (cf. tableau 2).

#### Ventilateur axial côté porte d'accès des véhicules

La figure 16 présente les vitesses d'air calculées dans le plan vertical médian pour la configuration M, en présence d'un ventilateur axial de brassage posé sur le fond de la fosse près de la porte d'accès des véhicules. La mise en œuvre de ce ventilateur fait disparaître la recirculation verticale en partie arrière de l'atelier observée précédemment sur la figure 7. Elle impose un flux unidirectionnel de balayage de toute la fosse.

Les cartes de concentration en polluant montrent une forte réduction de l'étendue de la zone la plus polluée, à la fois dans le plan vertical médian (cf. figure 17) et à mi-garde au sol du porteur. Le transport du gaz d'échappement en direction de la sortie s'effectue en partie haute de la fosse.

L'utilisation d'un ventilateur axial permet d'obtenir une forte diminution des concentrations moyennes. Le taux de réduction pour tout le volume de la fosse atteint ainsi 97 % (cf. tableau 2). À hauteur des voies respiratoires (tableau 3), l'abaissement est de 95 % pour la moyenne sur toute la longueur de la fosse et de 96 % pour la moyenne sur la portion longitudinale correspondant au véhicule.

#### Ventilateur axial côté porte de départ des véhicules

Dans la configuration L, la présence d'un ventilateur axial de brassage près de la porte de départ renforce considérablement les écoulements d'air





observés à l'intérieur de la fosse sans ventilation locale. Les vitesses augmentent à la fois dans le flux unidirectionnel de balayage de la fosse en aval de l'échappement et dans l'écoulement entrant à l'extrémité avant de la fosse.

La mise en œuvre du ventilateur axial permet d'obtenir une forte diminution des concentrations moyennes. Le taux de réduction pour tout le volume de la fosse atteint ainsi 90 % (cf. tableau 2). À hauteur des voies respiratoires (cf. tableau 3), l'abaissement est de 93 % sur la longueur totale de la fosse et de 94 % dans la zone de travail sous le véhicule. L'utilisation d'un ventilateur de brassage axial permet d'obtenir, pour les deux orientations du vent extérieur, des valeurs voisines de la concentration moyenne dans la zone de travail sous le véhicule : 4,5 pour la configuration L et 4,9 pour la configuration M.

### Conclusion

La ventilation des fosses de visite des centres de contrôle technique pour poids lourds a été examinée à l'aide de la simulation numérique des écoulements. L'étude a porté sur un atelier ventilé, au travers des portes d'accès et de départ des véhicules, par une ventilation générale naturelle induite par un vent extérieur. Trois exemples de véhicules ont été considérés : un poids lourd articulé, un autobus et un camion porteur de type fourgon.

Dans la limite des configurations étudiées, les simulations montrent la capacité d'une partie de l'air neuf issu de la porte d'entrée à pénétrer à l'intérieur de la fosse, spécialement au travers de l'espace libre entre les extrémités du véhicule et de la fosse. Les vitesses d'air dans la fosse décroissent nettement en s'éloignant de l'entrée. Leur moyenne dépend du véhicule et des conditions d'essai et se situe généralement entre 25 % et 50 % de la vitesse dans l'entrée (en l'absence de ventilation locale).

Dans le cas d'un échappement latéral, l'air pollué est évacué par la ventilation générale de l'atelier, sans retour notable en direction de la fosse de visite. Pour un véhicule avec un échappement arrière, une faible

partie du gaz d'échappement touche la zone de travail, uniquement lorsque l'écoulement général et la direction initiale de l'émission sont en sens opposés. Les niveaux d'exposition les plus élevés sont atteints dans le cas d'un poids lourd muni d'un échappement central situé à l'aplomb de la fosse. Le polluant pénètre alors directement à l'intérieur de la fosse et s'y répand. Les concentrations en polluant dans la fosse présentent dans ces conditions un maximum local au voisinage de l'échappement. Elles sont très sensibles à l'intensité du vent extérieur.

Les résultats montrent également que les performances d'un assainissement de l'air de la fosse à l'aide de la ventilation naturelle seule dépendent fortement de l'orientation du vent extérieur. Dans le cas de l'autobus et du camion porteur, la situation la plus favorable est celle où l'air neuf pénètre dans l'atelier par la porte la plus proche du véhicule.

Une ventilation locale de la fosse (en complément de la ventilation générale naturelle) au travers d'orifices en paroi verticale permet de diminuer la concentration moyenne à hauteur des voies respiratoires dans la zone de travail sous le véhicule. Dans la limite des configurations explorées, un soufflage localisé d'air neuf apparaît un peu plus performant qu'une aspiration. Le taux de réduction obtenu augmente avec le débit de soufflage en fosse (dans les exemples traités de 10 à 47 % lorsque le débit passe de 500m<sup>3</sup>/h à 2000m<sup>3</sup>/h). Ce taux ne dépend que faiblement du diamètre des orifices. Les diminutions procurées par un soufflage au moyen d'une lèvre longitudinale sont similaires à celles obtenues à l'aide des orifices en paroi.

Dans la limite des configurations étudiées, les meilleurs résultats pour l'assainissement de l'air de la fosse sont obtenus grâce à un soufflage d'air au moyen d'un ventilateur axial, placé au voisinage de l'extrémité de la fosse la plus proche de l'entrée d'air. Le soufflage est alors exercé dans le même sens que l'écoulement général dans l'atelier, sens qui est déterminé par l'orientation du vent extérieur. Il permet d'atteindre de forts taux de réduction des concentrations (environ 95 % pour les cas traités) par création d'un flux d'air longitudinal qui balaye toute la longueur de la fosse et qui dilue, puis évacue les gaz d'échappement. ●

## BIBLIOGRAPHIE

[1] **VIERLING F.** – Modern performance and emission test procedures. Bad Wörishofen, Krafthand Verlag Walter Schulz, 2010.

[2] **GROVES J., CAIN J.R.** – A survey of exposure to diesel engine exhaust emissions in the workspace. *Ann Occup Hyg.*, 2000, 44, pp. 435-447.

[3] **LEWNE M., PLATO N., GUSTAVSSON P.** – Exposure to particles, elemental carbon and nitrogen dioxide in workers exposed to motor exhaust. *Ann Occup Hyg.*, 2007, 51, pp. 693-701.

[4] Prévention des expositions liées aux émissions des moteurs thermiques. INRS, 2016, ED 6246. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

[5] **BRACONNIER R.** – Analyse par simulation numérique de la ventilation des fosses de visite des centres de contrôle technique poids lourds. INRS, 2018, NS 357. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

### Remerciements

L'auteur remercie la Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (Cramif) pour l'aide apportée au recueil des données pour la définition des cas et au choix des configurations à simuler.



JOURNÉE  
TECHNIQUE

# Métrologie en temps réel

## pour la prévention du risque chimique :

### Quels apports ? Quelles limites ?

12  
février  
2019

La mesure en temps réel de polluants dans l'atmosphère des locaux de travail s'est démocratisée ces dernières années ; elle permet de répondre à de nombreux enjeux de prévention des risques chimiques. Qu'ils soient individuels, portables ou fixes, on distingue deux familles d'appareils de mesure en fonction du type de polluant ciblé : gaz/vapeur et aérosol.

Utilisateurs actuels ou futurs utilisateurs d'appareils de mesure en temps réel, cette journée technique vous permettra de renforcer vos connaissances sur les principes de fonctionnement des appareils de mesure, leurs applications, les avantages et les limites de chacun d'eux pour opérer le bon choix. Ce sera également l'occasion d'échanger sur les pratiques en matière de déploiement en entreprises et de traitement des données de mesure.

Maison de la RATP – Espace du Centenaire  
189 rue de Bercy - 75012 PARIS  
de 9h30 à 16h30

Inscription : [www.inrs-metro-tempsreel2019.fr](http://www.inrs-metro-tempsreel2019.fr)  
Contact : [metro-tempsreel2019@inrs.fr](mailto:metro-tempsreel2019@inrs.fr)