

# Cuves de traitement de surface

## Performance de captage de fentes d'aspiration

R. Régnier, J.M. Dessagne, F. Bonthoux, G. Aubertin, Service Thermique-Ventilation, Centre de recherche de l'INRS, Nancy

### Surface treatment tanks Exhaust performance of slots

The INRS carried out an experimental study to determine the exhaust performances of lateral exhaust slots on surface treatment tanks. Full-scale models of different width/length ratios were tested in a wind tunnel simulating controlled air draught intensity and direction in an exhaust flowrate range covering the values generally recommended.

The study showed the relevance of the exhaust efficiency parameter for direct performance assessment, and the usefulness of the tracer technique for measuring it. Application of the recommendations of the Practical Ventilation Guide leads in the case of a unilateral slot to efficiencies ranging from almost 100% to 60%, depending on the global risk level under consideration.

These results apply with an antagonistic air draught of  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$ . To maintain the performances, the exhaust rate must be modulated in proportion with air draught intensity. The direction of air draught is also very important.

The lesser sensitivity of the bilateral slot solution to air draughts was clearly demonstrated, and this is the only suitable solution for the largest tanks when the efficiency target is over 95%.

Surface treatment / Pollutant capture / Exhaust slot / Air draught

L'INRS a entrepris une étude expérimentale visant à déterminer les performances de captage de fentes d'aspiration latérales des cuves de traitement de surface. Des maquettes à l'échelle 1 de différents ratios largeur/longueur ont été testées au sein d'une enceinte aérodynamique simulant un courant d'air d'intensité et de direction maîtrisées dans un domaine de débit d'extraction couvrant le domaine habituellement recommandé.

L'étude a montré la pertinence du paramètre efficacité de captage pour une évaluation directe des performances et l'intérêt de la technique de traçage pour son mesurage. L'application des recommandations du Guide Pratique de Ventilation conduit dans le cas d'une fente unilatérale à des efficacités s'échelonnant de près de 100 % à 60 % suivant le niveau global de risque considéré. Ces résultats s'entendent pour un courant d'air antagoniste de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Le maintien des performances nécessite une modulation du débit d'extraction proportionnellement à l'intensité du courant d'air. La direction de ce courant d'air joue également un rôle prépondérant.

La moindre sensibilité de la solution bilatérale aux courants d'air a été nettement mise en évidence et seule cette solution convient pour les cuves les plus larges lorsque l'objectif d'efficacité est supérieur à 95 %.

Traitement de surface / Captage des polluants / Fente d'aspiration / Courant d'air

L'évaluation et, plus encore, la réduction des risques dus aux émissions de polluants provenant des bains de traitement de surface font, depuis les origines de ce secteur d'activité, l'objet des préoccupations des hygiénistes industriels. Ces derniers ont besoin, pour mener à bien leur mission, de données pratiques permettant, d'une part de mieux appréhender les situations à risque, d'autre part de disposer des solutions appropriées.

Le guide pratique de ventilation n° 2 (GPV2) [1] a été élaboré suivant cet objectif et permet d'apporter des réponses concrètes à la grande majorité des situations rencontrées. Les solutions

préconisées illustrent bien cette approche pragmatique puisqu'elles sont le fruit de l'expérience acquise dans ce domaine, notamment aux Etats-Unis [2] et en France [3, 4] au travers de nombreuses campagnes de mesure en entreprise.

Le critère à considérer en premier lieu à la conception est le niveau de risque chimique lié au type de procédé. Le risque est évalué à partir de la nature du(des) polluant(s) émis par le bain dont le degré de toxicité est généralement bien connu et à partir du(des) débit(s) d'émission de ce(s) polluant(s) dont l'évaluation est le plus souvent qualitative. Les solutions réalisant

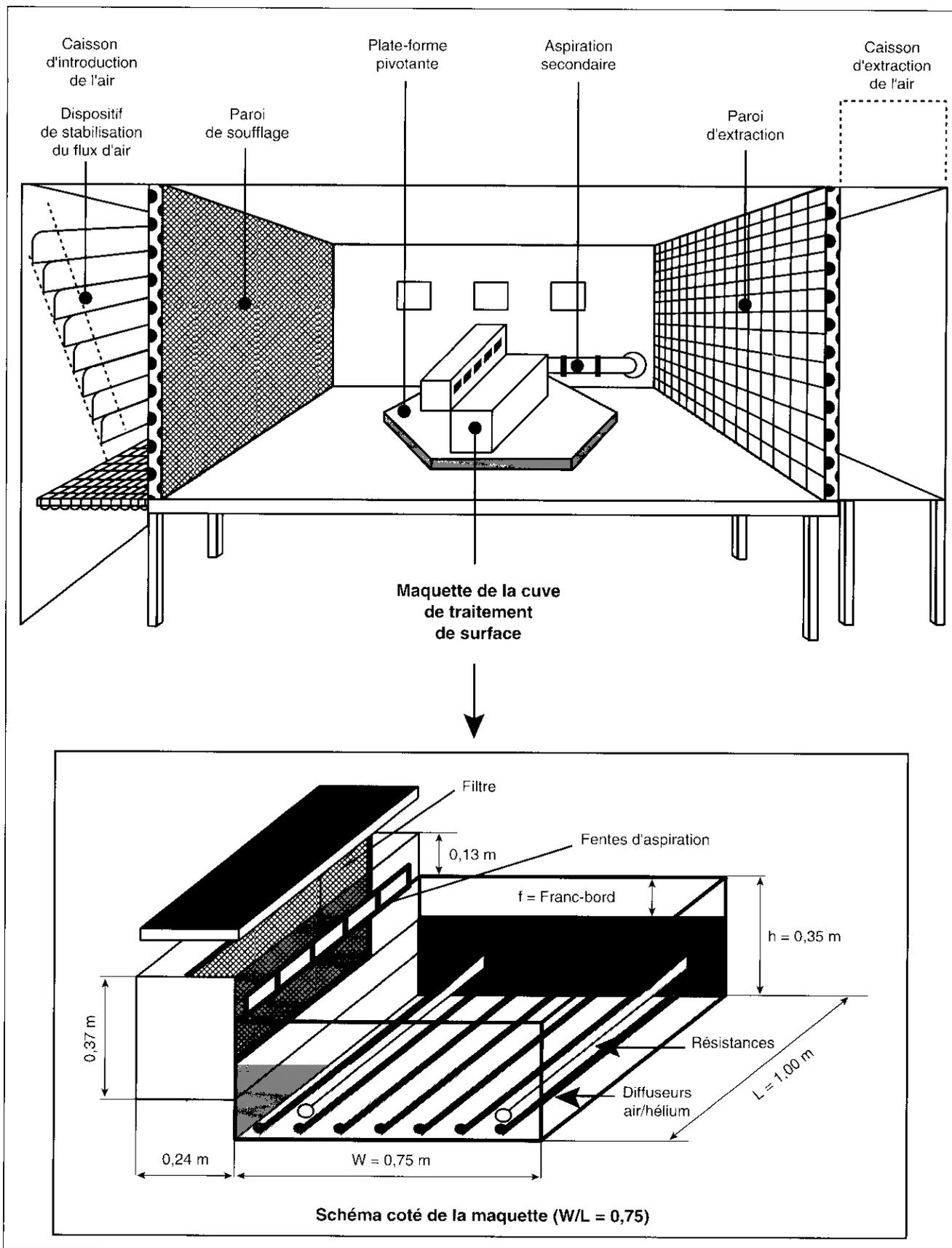


Fig. 1. Vue schématique du banc d'essai et détail de la cuve et du caisson d'aspiration (cas  $W/L = 0,75$ ) – Schematic of the test bench and detail of the tank and exhaust system ( $W/L = 0.75$ )

## NOMENCLATURE

W	(m)	largeur de la cuve
L	(m)	longueur de la cuve
S	(m <sup>2</sup> )	surface de la cuve
h	(m)	hauteur de la cuve
f	(m)	franc-bord (distance entre le niveau du bain et le bord de la cuve)
q <sub>He</sub>	(l.min <sup>-1</sup> )	débit de génération d'hélium
h	(%)	efficacité de captage
C <sub>1</sub>	(ppm)	concentration résiduelle de traceur mesurée en l'absence de toute émission
C <sub>2</sub>	(ppm)	concentration de référence correspondant à l'émission de la totalité du traceur dans le conduit d'aspiration
C <sub>3</sub>	(ppm)	concentration correspondant à l'émission de traceur simulant le dégagement de polluant
v <sub>pert</sub>	(m.s <sup>-1</sup> )	vitesse de courant d'air
v <sub>ext</sub>	(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> /m <sup>2</sup> )	débit surfacique d'air extrait (débit d'air extrait rapporté à la surface de bain)
α	(degrés)	orientation du courant d'air horizontal par rapport à l'axe de la cuve
θ	(degrés)	direction du courant d'air oblique par rapport à l'horizontale

l'encoffrement le plus complet possible associé à une évacuation des polluants sont à privilégier. Toutefois, en raison de contraintes d'exploitation ou de coûts d'investissement, la solution de l'aspiration par fentes latérales est également employée. Les débits d'air extrait à mettre en œuvre sont déterminés en fonction du niveau de risque et de paramètres complémentaires tels que la géométrie des cuves et les caractéristiques des dispositifs de captage.

En revanche, l'incidence de facteurs pouvant perturber le captage, notamment les courants d'air, n'est que très partiellement prise en compte. De plus, les résultats de mesures de concentration en ambiance incitent à penser que les débits d'aspiration recommandés sont souvent surdimensionnés.

Pour répondre à ces interrogations, l'INRS a donc entrepris une étude expérimentale visant à améliorer nos connaissances en matière d'identification des facteurs prépondérants régissant les performances de captage de fentes latérales sur les cuves de traitement de surface et en matière d'évaluation de l'incidence de ces facteurs. Quelques études sont relatées dans la littérature [5, 6], elles sont essentiellement axées sur l'élaboration d'un modèle théorique de captage puis sur sa validation expérimentale appliquée à des cas simples à l'aide de maquettes à échelle réduite.

Cet article présente une partie des résultats de l'étude expérimentale portant sur le captage des polluants émis à partir de cuves de traitement de surface équipées de fentes d'aspiration uni- ou bilatérales. Outre l'intensité et la direction du courant d'air permanent au sein duquel sont disposées les cuves, des paramètres d'influence, tels que présence d'obstacle, géométrie des cuves, niveau et température du bain, ont été pris en compte. L'action spécifique de ces derniers sera détaillée dans un article à paraître ultérieurement.

Le critère d'évaluation adopté pour caractériser les performances du dispositif de captage est l'efficacité de captage définie comme le rapport du débit-masse de polluant directement collecté par la (ou les) fente(s) d'aspiration au débit-masse total émis par la cuve.

Ces résultats proviennent d'un grand nombre d'essais réalisés sur des maquettes simplifiées en vraie grandeur de cuves où le dégagement des polluants est simulé par un traceur.

## 1. MOYENS EXPERIMENTAUX

### 1.1. Banc d'essai

Les essais se déroulent dans une cabine de grandes dimensions (longueur 6 m x largeur 4 m x hauteur 3 m) dans laquelle sont implantés les maquettes et les dispositifs de captage associés (fig. 1).

Un premier circuit de ventilation permet d'insuffler de l'air pris à l'extérieur du bâtiment et régulé en température au travers de toute la surface d'une paroi verticale de la cabine (4 m x 3 m) et

d'extraire cet air au travers de la paroi opposée avant rejet à l'extérieur, créant ainsi au sein de l'enceinte un courant d'air longitudinal d'intensité réglable de 0 à 1 m.s<sup>-1</sup>. Des dispositifs de répartition permettent d'assurer l'uniformité des vitesses d'air à l'entrée de la cabine à ± 6 % près.

Les dispositifs de captage étudiés sont raccordés à un second circuit de ventilation dont le débit d'aspiration, réglable jusqu'à 8 000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, est mesuré à l'aide de diaphragmes à prises de pression dans les angles [7].

De plus, la cuve de traitement de surface repose sur une plate-forme pivotante permettant de faire varier l'orientation du courant d'air par rapport à la (aux) fente(s) d'aspiration.

### 1.2. Maquettes des cuves

Les maquettes de cuves de traitement de surface sont constituées de bacs parallélépipédiques dont deux dimensions sont fixées (longueur L = 1 m ; hauteur h = 0,35 m) et dont la largeur peut admettre les quatre valeurs W = 0,2 ; 0,35 ; 0,75 ; 1,2 m.

Trois des parois verticales et le fond sont réalisés en polycarbonate (Lexan), matériau résistant à la chaleur (pour les essais en température) et transparent (pour la visualisation par fumigène des mouvements d'air au-dessus du bain et pour le contrôle visuel de la répartition du gaz traceur au sein du bain et donc en surface).

La quatrième paroi verticale est en acier inoxydable, afin de recevoir les connexions électriques, hydrauliques et de gaz traceur et de supporter les dispositifs de chauffage du bain et d'émission de traceur.

Le captage des polluants (ici un traceur) est assuré par une ou deux fentes d'aspiration latérales formées de cinq orifices de 18 cm x 5 cm pratiqués dans les caissons d'aspiration (fig. 1). Le bord inférieur de ces fentes discontinues se trouve au niveau du bord supérieur de la cuve. Afin d'améliorer l'uniformité des vitesses d'air sur toute la largeur de la fente, un filtre et deux grilles perforées sont insérés dans le caisson.

Les cuves sont remplies d'eau jusqu'au niveau recherché. Le brassage du liquide, en vue d'améliorer l'homogénéité des températures, est obtenu grâce à un circuit de recyclage entre le fond et la partie supérieure du bain.

Des obstacles à l'écoulement d'air tels que les pièces à traiter ont été simulés à différents stades de leur descente (ou remontée) au-dessus du niveau du bain. Deux cas (fig. 2) ont été considérés :

– un obstacle « volumique », constitué d'un panier en tôle perforée contenant des morceaux de polystyrène de formes diverses ;

– un obstacle « plan », constitué de plaques rectangulaires en tôle, suspendues à un cadre métallique ; le taux de remplissage de cet obstacle est de 86 %.

### 1.3. Simulation de l'émission du polluant réel

La simulation de l'émission de polluant réel est réalisée par génération au sein du liquide de gaz traceur à l'aide de 2 à 12 rampes (suivant la largeur des cuves) de tubes poreux, du type utilisé dans les aquariums, disposées près du fond du bac. Les bulles ainsi générées sont dispersées dans la couche d'eau et viennent éclater à la surface. Ces dispositions permettent de reproduire au mieux les conditions réelles d'une émission surfacique accompagnée ou non d'effets convectifs liés à la température des bains.

Le mélange air/gaz traceur est émis avec un débit variant de 10 à 50 NI.min<sup>-1</sup> (soit 0,17 à 0,83 NI.s<sup>-1</sup>) suivant les débits de captage mis en jeu. Dans l'hypothèse d'une répartition uniforme de l'émission sur toute la surface du bain, les vitesses d'émission du mélange sont faibles, inférieures à 1 cm.s<sup>-1</sup>. En effet :

$$v_{\text{émission}} \text{ (mm.s}^{-1}\text{)} = \frac{q_{\text{air/He}}}{S}$$

avec  $q_{\text{air/He}}$  exprimé en l.s<sup>-1</sup> et S en m<sup>2</sup> (tableau I).

L'efficacité de captage est déterminée à l'aide de la technique de traçage (cf. encadré).

TABLEAU I

S	V <sub>émission</sub> (mm.s <sup>-1</sup> )	q <sub>air/He</sub> (l.s <sup>-1</sup> )	
		0,17	0,83
	0,2	<b>0,83</b>	<b>4,17</b>
	1,2	<b>0,14</b>	<b>0,69</b>

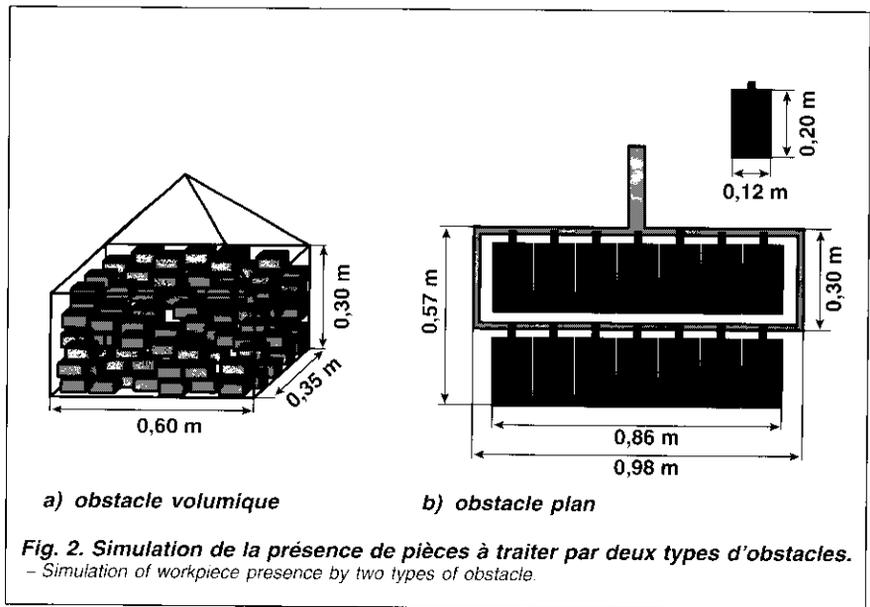


Fig. 2. Simulation de la présence de pièces à traiter par deux types d'obstacles. – Simulation of workpiece presence by two types of obstacle.

## 2. CONFIGURATIONS D'ESSAI

Les configurations d'essai ont été sélectionnées en premier lieu afin de reproduire les situations les plus couramment rencontrées dans les ateliers. On s'est également placé aux limites du domaine usuel d'emploi, et même parfois en dehors, dans le but de mettre plus nettement en évidence l'incidence de certains facteurs. C'est notamment le cas de la température du bain ou du franc-bord, f. Les valeurs retenues pour les différents facteurs étudiés ont été établies en concertation

avec les préventeurs des CRAM et après consultation du GPV2.

Le captage des polluants est assuré par des fentes uni- ou bilatérales, non adossées à une paroi. Les débits surfaciques d'extraction (débits rapportés à la surface du bain) sont ceux préconisés dans le GPV2 pour les différents niveaux globaux de risque (cf. § 3.2 et annexe 1) et pour différentes géométries de cuves caractérisées par leurs rapports d'aspect W/L (fig. 3). Les valeurs retenues dans cette étude sont représentatives de quatre classes de géométries parmi les cinq définies dans le GPV2.

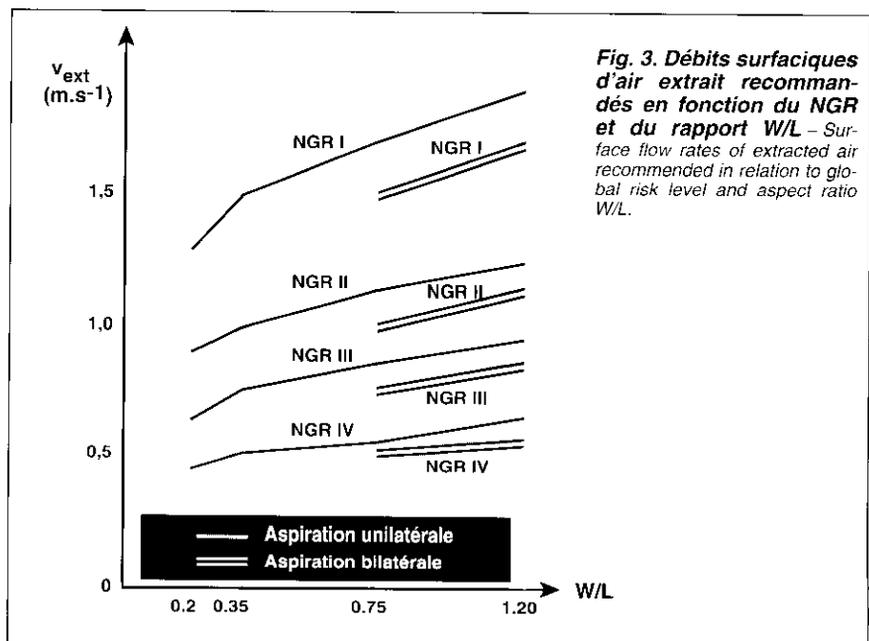


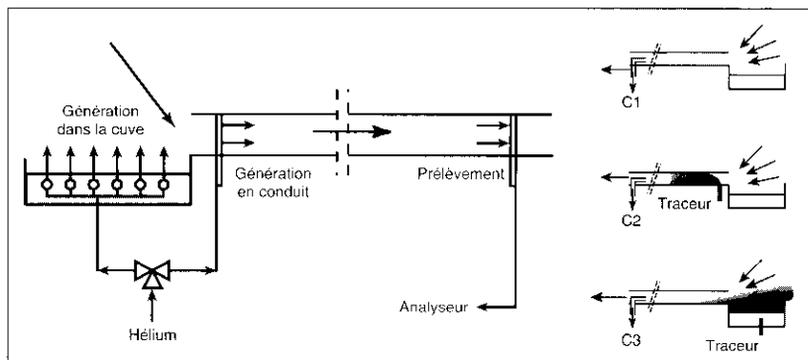
Fig. 3. Débits surfaciques d'air extrait recommandés en fonction du NGR et du rapport W/L – Surface flow rates of extracted air recommended in relation to global risk level and aspect ratio W/L.

## La méthode du traçage à l'hélium

L'utilisation d'un traceur approprié en substitution au polluant réel présente des avantages quant à la maîtrise et donc à la reproductibilité de l'émission et quant à la facilité de mesurage des

concentrations nécessaires au calcul de l'efficacité. Pour cette étude, le traceur retenu est un mélange air/hélium 80/20 de densité proche de celle de l'air et donc mieux approprié que le gaz pur pour le mesurage de l'efficacité de captage.

L'appareillage utilisé pour l'émission du traceur, le prélèvement et l'analyse des concentrations d'hélium dans l'air est schématisé ci-contre. L'analyseur est un spectromètre de masse calé sur les bas poids moléculaires (modèle UL100 de Leybold) et étalonné à l'aide de mélanges gazeux étalons. Il délivre un signal continu proportionnel à la concentration d'hélium.



Les débits d'air aspiré et de traceur restant constants, l'efficacité de captage exprimée en pourcentage se calcule alors suivant l'expression :

$$\eta = \frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} \times 100$$

$C_1$  est la concentration résiduelle mesurée en l'absence de toute émission.

$C_2$  est la concentration de référence correspondant à l'émission de la totalité du traceur dans le conduit d'aspiration.

$C_3$  est la concentration correspondant à une émission de traceur simulant le dégagement de polluant.

L'écoulement général de l'air dans la cabine est proche du type piston. Le gaz traceur échappant au captage est continuellement évacué vers l'aval de la maquette, rendant impossible toute accumulation par recyclage. Il n'est donc pas utile de mesurer à nouveau la concentration résiduelle à l'issue d'un essai. D'autre part, la détermination de paramètres caractéristiques des fluctuations de l'efficacité, tels qu'efficacité fractile ou écart-type, est dénuée d'intérêt ici, car les signaux de concentrations sont peu perturbés.

La durée totale d'un mesurage est de l'ordre de 10 min. Les durées de mesurage des concentrations sont de 60 s pour  $C_1$  et 120 s pour  $C_2$  comme pour  $C_3$ .

## Le logiciel PRE-E-VENT

L'ensemble des diverses séquences d'émission, de prélèvement et d'analyse du traceur est piloté automatiquement par micro-ordinateur grâce au logiciel d'exploitation PRE-E-VENT

Ce logiciel, développé par l'INRS, assure l'acquisition et le traitement des données (débits d'air en conduit, efficacités de captage), qui caractérisent les performances de la ventilation générale.

PRE-E-VENT peut opérer avec tout type d'analyseur de gaz délivrant en continu un signal de tension. Il simplifie l'étalement de l'analyseur et permet la prise en compte de fonctions de linéarisation. Les mesures visualisées en continu sont enregistrées sous forme de fichiers. Le logiciel mémorise de nombreuses informations qui facilitent l'exploitation des mesures. Des commentaires peuvent être inclus dans les fichiers de mesures.

PRE-E-VENT effectue les calculs de débits, d'efficacité de captage et de paramètres caractérisant la ventilation générale ainsi que les calculs d'incertitude. Les différentes zones de l'enregistrement utilisées pour ces calculs peuvent être identifiées de façon

automatique. Pour chaque traitement. Il est possible d'imprimer un rapport incluant les résultats avec leurs incertitudes de mesure ainsi que la trace de l'enregistrement où les différentes zones sont identifiées.

Les possibilités du logiciel sont accrues quand il est utilisé avec le boîtier de sélection, qui le pilote directement. Les débitmètres et les électrovannes contenues dans ce boîtier sont alors directement pilotés par le logiciel. Il est possible d'indiquer les voies de prélèvement

et d'émission et d'afficher un débit de traceur à générer. La mesure peut être automatisée par l'exécution de séquences pré-enregistrées.

Le logiciel est doté d'une aide contextuelle qui contient l'information nécessaire à la mise en œuvre du logiciel et de la technique de traçage. Il est fourni à l'utilisateur une disquette ainsi qu'un manuel d'utilisation. L'installation et la configuration sont assurées par un logiciel convivial. La figure ci-contre montre l'évolution du signal au cours d'un essai.

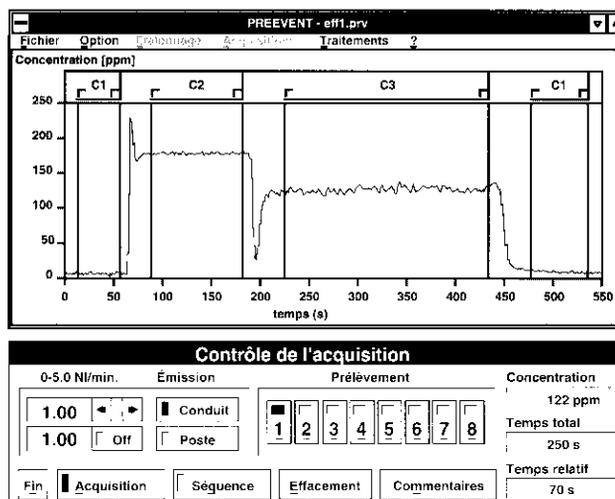


TABLEAU II

Configurations testées – Configurations tested

<b>Courant d'air</b>	Direction $\alpha$	degrés	0;30; 60; 90; 120; 150; 180
	Intensité $v_{pert}$	$m.s^{-1}$	0,25; 0,50; 1,00
	Inclinaison $\theta$	degrés	30; 45
<b>Géométrie cuve</b>	Largeur/longueur W/L	sans dim	0,20; 0,35; 0,75; 1,20
<b>Aspiration</b>	Type		Unilatérale/bilatérale
	Débit surfacique $v_{ext}$	$m^3.s^{-1}/m^2$	Préconisé par GPV2 pour les 4 niveaux de risque (fig. 8)
<b>Bain</b>	Franc-bord $f$	cm	13; 20; 27
	Température $t$	°C	20; 60; 85
<b>Obstacle</b>	Type	—	Absence, sinon plan ou volumique
	Hauteur	—	Niveau du bord de cuve et à 0; 15 et 50 cm par rapport au bain

Les trois vitesses de courant d'air testées permettent de simuler des types d'écoulement d'air s'échelonnant de l'air considéré comme très calme pour un atelier jusqu'au courant d'air soutenu (qu'il serait souhaitable de minimiser en intervenant sur l'enveloppe du bâtiment ou sur la ventilation générale).

L'effet perturbateur d'obstacles situés près de l'aspiration avait été clairement mis en évidence lors d'une étude précédente [11]. Des obstacles simulant les pièces à traiter ont donc été placés à trois niveaux différents au-dessus de la surface du bain.

Enfin, il convient de rappeler que toutes les configurations ont été testées en régime permanent et que le courant d'air est à température ambiante. Le tableau II regroupe l'ensemble des facteurs considérés et des valeurs retenues. Face au grand nombre de combinaisons possibles, un plan d'expérience a été bâti. Il comporte une phase initiale d'étude de sensibilité pour la seule cuve W/L = 0,75. Les facteurs s'étant révélés peu influents n'ont pas été étudiés pour les autres cuves. L'utilisation de nombres adimensionnels pertinents regroupant plusieurs facteurs a également permis de

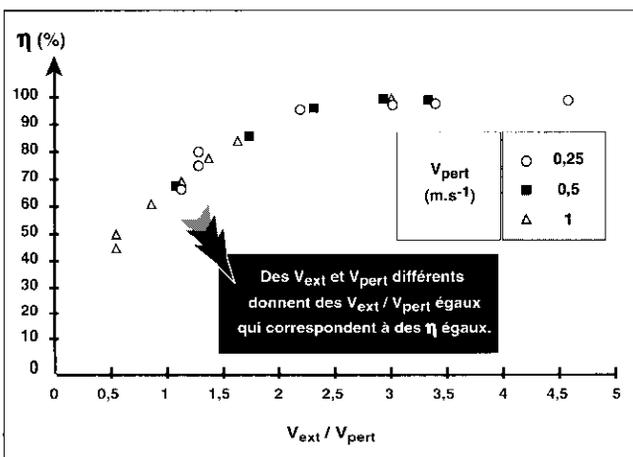
réduire le volume des essais. Deux nombres ont été utilisés :

- W/L rapport de la largeur à la longueur de la cuve,
- $v_{ext}/v_{pert}$  rapport du débit surfacique d'extraction (en  $m^3.s^{-1}/m^2$ , soit les

dimensions d'une vitesse) à la vitesse de courant d'air.

La validité de ces ratios est prévisible par une analyse dimensionnelle [11], qui a également pu être vérifiée expérimentalement (cf. encadré) pour le second.

**Le nombre adimensionnel  $v_{ext}/v_{pert}$**



L'analyse dimensionnelle a montré que l'efficacité de captage est fonction du nombre adimensionnel débit surfacique d'extraction/vitesse du courant d'air  $v_{ext}/v_{pert}$ . Ceci a été confirmé expérimentalement pour les cuves W/L = 0,75 et W/L = 1,2 et une aspiration unilatérale. On peut en effet observer sur les figures ci-contre des résultats identiques en efficacité de captage pour des valeurs égales de ce nombre obtenues à partir de valeurs différentes de  $v_{ext}$  et  $v_{pert}$ .

W/L = 0,75 ; f = 13 cm  
W/L = 1,20 ; f = 20 cm  
Le nombre de configurations étudiées pour la cuve W/L = 0,75 peut être réduit de 12 à 8 sans perte d'information (cf. tableau Rapports  $v_{ext}/v_{pert}$  pour la cuve de W/L = 0,75). De plus, l'interprétation graphique des résultats en est facilitée. Il en va de même pour les autres cuves.

L'efficacité de captage est d'autant plus élevée que ce rapport est grand en raison :

- d'un débit d'extraction élevé,
- d'une vitesse de courant d'air faible,
- de la combinaison des deux.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Traitement global des résultats

Un premier type de traitement des nombreuses données expérimentales a été pratiqué dans le but d'apprécier l'influence d'un paramètre donné sur les performances de captage. Cette étude de sensibilité a conduit à l'identification de paramètres prépondérants ce qui a entraîné l'abandon d'autres paramètres considérés, a priori, comme fortement perturbateurs.

Afin d'aboutir à une présentation claire et synthétique des résultats permettant de dégager des enseignements facilement exploitables par les préventeurs sur le terrain, *une approche plus globale a consisté à déterminer, en fonction de  $v_{ext}/v_{pert}$ , les courbes-enveloppes des efficacités de captage dans les conditions les plus sévères*, c'est-à-dire en pratique les efficacités réalisables, quelles que soient les valeurs de tous les autres paramètres dans les conditions d'essai retenues pour cette étude.

Une telle courbe est représentée sur la figure 4. Elle correspond au cas de la cuve de  $W/L = 0,75$  équipée d'une fente unilatérale. La figure 5 regroupe l'ensemble de ces courbes-enveloppes correspondant aux différents rapports  $W/L$  étudiés : quatre dans le cas de l'aspiration unilatérale, deux dans le cas de l'aspiration bilatérale.

Pour la perturbation maximale  $v_{pert} = 1 \text{ m.s}^{-1}$ , le débit surfacique d'air extrait  $v_{ext}$ , exprimé en  $\text{m.s}^{-1}$ , prend la même valeur numérique que le rapport  $v_{ext}/v_{pert}$ . Pour les deux autres vitesses de perturbation testées, il est possible de tracer de nouvelles échelles des abscisses déduites de la précédente par simple homothétie. Les domaines de débits d'air extrait recommandés par le GPV2 (0,45 - 1,90  $\text{m.s}^{-1}$ ) sont indiqués sur la figure 5.

On peut quantifier, à partir de ces courbes, l'incidence de certains paramètres sur l'amélioration des performances de captage, et notamment celle consécutive à :

- l'augmentation du débit d'air extrait,
- la réduction de la largeur de la cuve,
- l'adjonction d'une deuxième fente,
- la maîtrise des perturbations d'air autour des cuves.

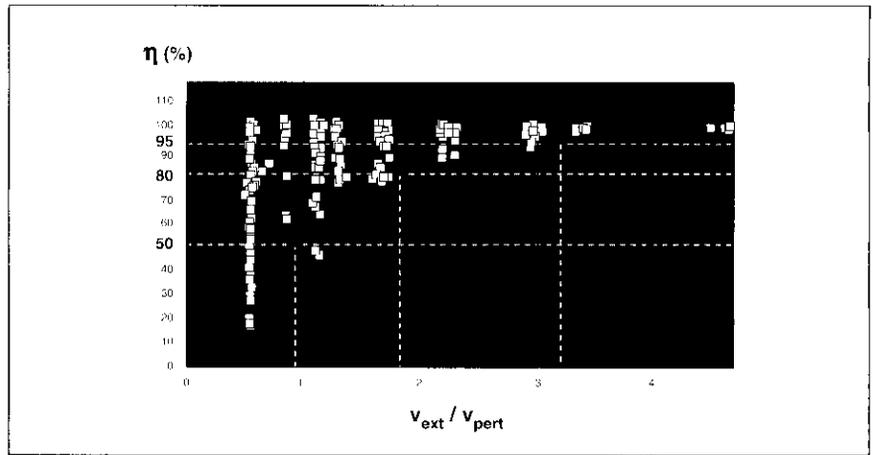


Fig. 4. Courbe-enveloppe de l'efficacité de captage en fonction du rapport  $v_{ext}/v_{pert}$ . Cas  $W/L = 0,75$ , aspiration unilatérale, autres paramètres variables - Capture efficiency envelope curve as a function of the ratio  $v_{ext}/v_{pert}$  for  $W/L = 0,75$ , with unilateral exhaust and other parameters variable.

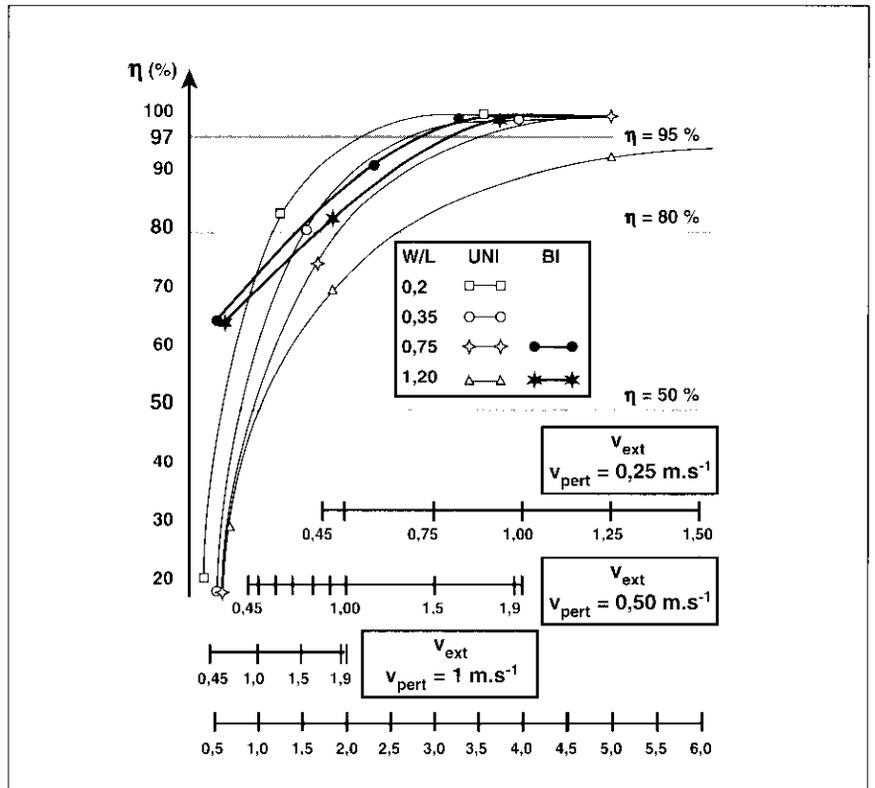


Fig. 5. Courbes-enveloppes pour l'ensemble des cas étudiés - Envelope curves for all the cases studied.

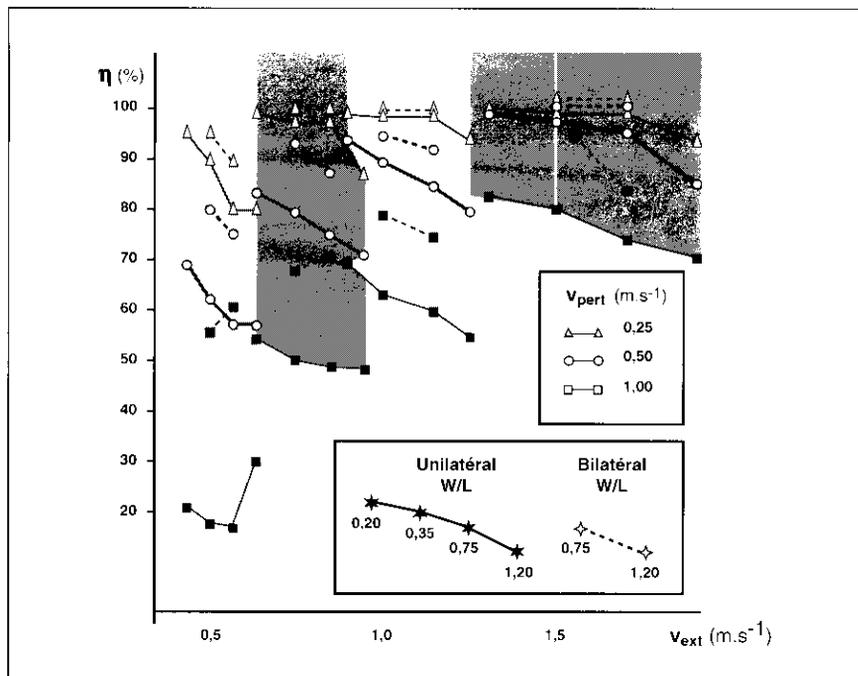
#### Remarque

Les débits d'air extrait sont systématiquement rapportés à la surface du bain (débits dits surfaciques). Ils sont exprimés en  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}/\text{m}^2$ , c'est-à-dire en  $\text{m.s}^{-1}$ , et ont les dimensions d'une vitesse.

captage de fentes latérales d'aspiration. Pour diverses conditions de courant d'air et les géométries de cuves usuellement rencontrées, *les prescriptions en matière de ventilation ne seront plus basées sur des critères purement aérauliques, tels que les vitesses d'air aux extrémités de la cuve, mais directement sur le critère pertinent caractérisant le captage. Au débit d'air extrait mis en jeu peut être associé le niveau d'efficacité de captage obtenu dans les conditions les plus sévères.*

#### 3.2. Incidence du débit d'air extrait

Cette étude a permis d'aboutir à la quantification des performances de



**Fig. 6. Efficacité de captage en fonction des débits surfaciques recommandés et pour trois vitesses de courant d'air**  
 - Capture efficiency as a function of recommended flow rates per unit area and for three air draught velocities

L'évolution de l'efficacité de captage en fonction du débit surfacique d'air extrait, telle qu'on peut l'observer sur la figure 5, montre que l'amélioration des performances avec le débit est d'autant plus sensible que la cuve est plus étroite et que les performances initiales sont plus faibles (en raison d'un débit d'air extrait faible ou de fortes perturbations). L'expérimentation en laboratoire démontre que, dans le domaine de débits étudié, il est toujours possible d'atteindre 100 % d'efficacité, hormis pour la cuve la plus large équipée d'une aspiration unilatérale. Toutefois, ceci nécessite de très forts débits d'air extrait et donc d'air de compensation. La diffusion et le traitement, essentiellement le chauffage, de ce dernier entraînent de tels coûts d'investissement et d'exploitation qu'il n'est pas toujours justifié de rechercher l'excellence en matière de captage.

Ces préoccupations pratiques avaient conduit les préventeurs à moduler les débits recommandés (issus de la norme ANSI Z9.1/1991 [12] et du GPV2 [1]) en fonction du niveau global de risque (NGR). Ce critère intègre le degré de toxicité et l'ordre de grandeur

de débit d'émission des polluants (cf. annexe 1). La présente étude permet donc d'établir une relation entre ce concept de niveau de risque et les efficacités de captage réalisables déduites des diverses courbes-enveloppes de la figure 5.

Les efficacités de captage correspondant aux débits recommandés sont regroupées sur la figure 6 pour les quatre géométries de cuve, l'aspiration unilatérale ou bilatérale et trois niveaux de perturbation. On note que la modulation des débits en fonction de la géométrie de la cuve conduit, pour chaque NGR, à des performances plutôt homogènes, en excluant toutefois les cas de la cuve la plus large où la solution de l'aspiration unilatérale est mal adaptée pour les NGR I et II. On retiendra pour les quatre classes de risque les niveaux moyens d'efficacité du tableau III, en considérant que les conditions de courants d'air habituellement rencontrés dans les ateliers correspondent à la valeur intermédiaire étudiée, soit  $v_{pert} = 0,5$  m.s<sup>-1</sup>. Grâce à cette nouvelle connaissance des niveaux d'efficacité de captage atteints, on pourrait envisager une légère modification de la modulation des débits

TABLEAU III

**Niveaux moyens d'efficacité de captage (%) obtenus avec les débits d'aspiration recommandés et un courant d'air de 0,5 m.s<sup>-1</sup>** - Mean exhaust efficiency levels obtained with recommended exhaust rates and an air draught of 0.5 m.s<sup>-1</sup>

NGR	Unilatérale W/L = 0,2- 0,35-0,75-1,20	Bilatérale W/L = 0,75- 1,20
I	97 (excepté 1,20)	100
II	90 (excepté 1,20)	92
III	80	-
IV	60	-

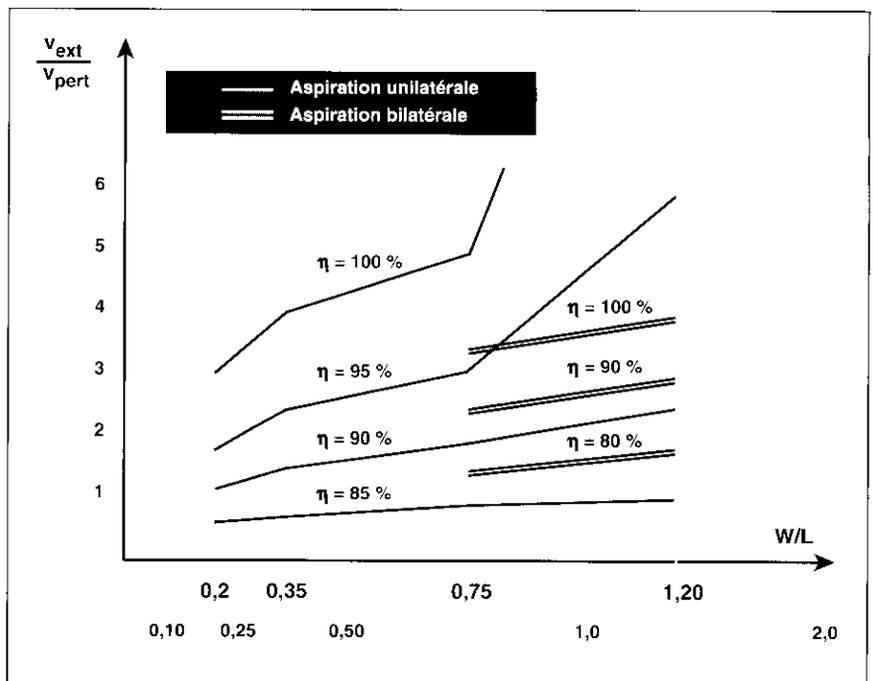


Fig. 7. Incidence de la géométrie des cuves – Incidence of tank geometry

d'air extrait conduisant à une plus grande cohérence pour chaque niveau de risque.

indiqués dans le tableau IV lorsque l'on compare les deux cuves les plus étroites à l'une ou l'autre des cuves les plus larges, ou lorsque l'on compare ces deux dernières entre elles.

### 3.3. Incidence du rapport largeur/longueur de cuve (W/L)

A partir des courbes-enveloppes définies au § 3.1, on peut déterminer les débits d'air extrait au-delà desquels, même dans les conditions les plus sévères, l'efficacité de captage est supérieure à 50, 80 ou 95 %, voire approche 100 % (fig. 5).

Augmenter par exemple la largeur de  $W_1 = 0.2$  m à  $W_2 = 0.75$  m nécessite, pour maintenir une efficacité de 80 %, de multiplier le débit surfacique par 1,5 et donc le débit total par environ 6 (la surface est 3,75 fois plus étendue). Pour  $W_1 = 0.35$ , il conviendrait de multiplier respectivement par 1,5 et environ 3.

TABLEAU IV

**Rapport des débits d'air extrait nécessaires pour dépasser des performances données avec des dimensions de cuves passant de  $W_1/L$  à  $W_2/L$**  – Ratio of extracted air flows needed to improve given performances with tank dimensions changing from  $W_1/L$  to  $W_2/L$

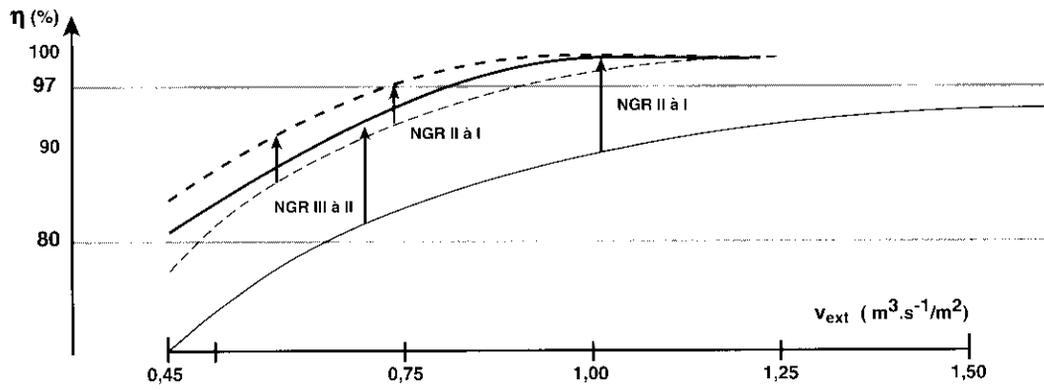
Efficacité de captage (%)	$W_1/L \rightarrow W_2/L$		
	0,2-0,35 $\rightarrow$ 0,75	0,2-0,35 $\rightarrow$ 1,20	0,75 $\rightarrow$ 1,20
50	1,35	1,50	1,15
80	1,50	2,00	1,30
95	1,50	3,00	2,00

L'examen de la figure 7 montre, comme on pouvait s'y attendre, que le débit surfacique d'air extrait  $v_{ext}$  nécessaire pour dépasser un objectif d'efficacité donné augmente avec le rapport  $W/L$ , ce d'autant plus rapidement que l'objectif est plus élevé. Le débit total extrait exprimé en  $m^3 \cdot s^{-1}$  (ou en  $m^3 \cdot h^{-1}$ ) augmente donc plus rapidement que la surface de la cuve (ou que sa largeur à longueur constante).

Dans le cas de l'aspiration unilatérale, il convient de multiplier les débits surfaciques par les coefficients approchés

Les valeurs de débit déterminées près de l'asymptote ( $\eta \approx 100$  %) sont plus imprécises. La figure 7 met en évidence l'impossibilité d'atteindre 100 % dans le cas de la cuve la plus large équipée d'une seule fente d'aspiration.

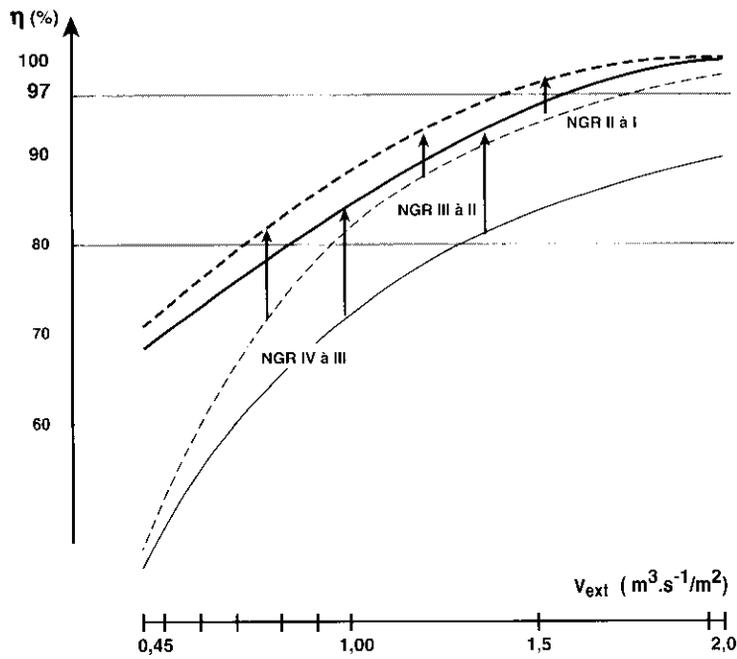
Dans le cas de l'aspiration bilatérale, le coefficient correspondant au remplacement d'une cuve de  $W/L = 0,75$  par une de 1,20 s'établit entre 1,15 et 1,20 pour maintenir des niveaux d'efficacité de 80 et 95 %. Il est sans objet pour 50 % puisque ce niveau est toujours dépassé dans les plages de débit testées (fig. 5).



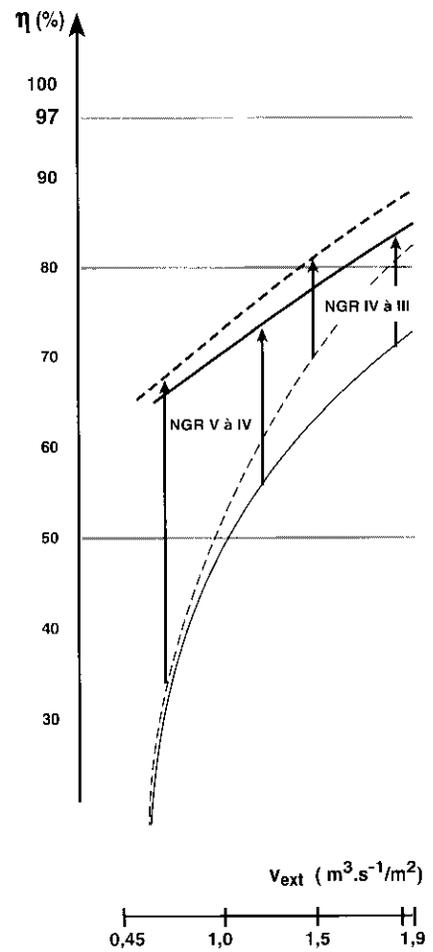
a)  $v_{pert} = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$

WL	0,75	1,20
UNI	---	---
BI	---	---

**Fig. 8. Efficacité de captage en fonction des débits surfaciques. Intérêt de l'aspiration bilatérale pour trois vitesses de courant d'air.** – Capture efficiency as a function of flow rates per unit area. a) Advantages of bilateral exhaust for three air draught velocities. b) Capture efficiency as a function of flow rates per unit area. c) Advantages of bilateral exhaust for three air draught velocities



b)  $v_{pert} = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$



b)  $v_{pert} = 1 \text{ m.s}^{-1}$

### 3.4. Intérêt de l'aspiration bilatérale

En raison du supplément de coût et de contraintes, notamment d'encombrement, la solution de l'aspiration bilatérale n'est justifiée que pour les cuves les plus larges. Les résultats d'essais de cette étude ne permettent de comparaison que pour les deux cuves de W/L égaux à 0,75 et 1,20 et, rappelons-le, dans les plages de débits recommandées. Ils sont consignés dans les trois séries de courbes de la figure 8 correspondant aux trois valeurs de courants d'air testés. Les courbes sont extraites de la figure 5.

L'amélioration des performances de captage apportée par l'adjonction d'une deuxième fente latérale permet, dans la quasi totalité du domaine d'emploi, de répondre pour un même débit global d'air aspiré aux exigences d'un niveau global de risque plus élevé (se traduisant par une décroissance du rang d'une unité). Des exemples sont présentés figure 8. Cet intérêt s'estompe dans les conditions les plus favorables : cuve de W/L = 0,75 et valeurs élevées de  $v_{ext}/v_{pert}$  (débit d'air extrait élevé, perturbation faible ou moyenne, courbes a et b). A contrario, on observe sur la courbe c qu'aux fortes perturbations l'amélioration des performances est plus sensible ; on confirme donc que l'aspiration bilatérale permet une maîtrise plus sûre de la pollution dans ce type d'environnement.

S'il s'agit d'atteindre un objectif de performance, la solution bilatérale conduit, comparée à la solution unilatérale, à une réduction du paramètre  $v_{ext}/v_{pert}$  en appliquant les coefficients indiqués au tableau Va. Il est donc possible, dans un environnement donné ( $v_{pert}$  constant), d'abaisser de 20 à 30 % le débit d'air extrait pour la cuve de W/L = 0,75 et de 35 à 50 % pour la cuve de 1,20. A titre de comparaison, figurent au tableau Vb les coefficients réducteurs résultant de l'application des recommandations du GPV2 (cf. extraits en annexe 1). Quelle que soit la cuve, le gain oscille alors entre 8 et 15 %.

On peut également déduire que, à débit d'air extrait  $v_{ext}$  constant, l'emploi d'une deuxième fente permet de maintenir le niveau de performance de captage au cas où les vitesses de courant d'air  $v_{pert}$  augmenteraient dans les mêmes proportions que les coefficients multiplicateurs cette fois) du tableau Va. A débit d'air extrait  $v_{ext}$  constant, l'efficacité de captage serait de 95 % pour une cuve de 1,20 équipée d'une aspiration unilatérale et serait maintenue pour la même cuve équipée d'une deuxième fente mais placée dans un écoulement deux fois plus perturbé. A nouveau, on perçoit tout l'intérêt de la solution bilatérale pour les cuves larges et les environnements où la maîtrise des courants d'air ne peut être garantie.

### 3.5. Incidence des courants d'air

#### 3.5.1. Intensité

La validation expérimentale du rapport  $v_{ext}/v_{pert}$  comme paramètre explicatif constitue en soi un résultat essentiel. En effet, exprimé autrement, cela signifie que, *lorsque l'intensité du courant d'air croît d'un certain coefficient, il convient, toutes conditions égales par ailleurs, de multiplier par ce même coefficient le débit surfacique si l'on souhaite maintenir l'efficacité de captage au même niveau.*

Les recommandations du GPV2 concernant le dimensionnement d'installations de ventilation reposent sur l'hypothèse (formulée § 3.2) d'une vitesse de courant d'air de 0,5 m.s<sup>-1</sup>. Dans un local où, par conception ou en raison des activités qui s'y déploient, se produiraient en des endroits critiques de plus fortes perturbations même temporaires, les conséquences pratiques, notamment économiques, seraient loin d'être négligeables. En effet, les débits d'air extrait, donc introduit, devraient être augmentés en proportion de l'accroissement de l'intensité du courant d'air. Dans le cas opposé, moins fréquent, où toutes les dispositions auraient été prévues pour minimiser les courants d'air dans l'atelier, les débits d'air extrait pourraient être réduits (toutefois, l'hypothèse demandée à être soigneusement vérifiée en cours d'exploitation).

TABLEAU V

**Gain apporté par l'emploi d'une deuxième fente d'aspiration exprimé par le coefficient réducteur du paramètre  $v_{ext}/v_{pert}$**  – Gain achieved with a second exhaust slot, expressed as the reduction coefficient applied to parameter  $v_{ext}/v_{pert}$ . a) Experimental results b) Results recommended by Practical Ventilation Guide No 2

#### a) Résultats expérimentaux

Objectif $\eta$ (%)	W/L	
	0,75	1,20
~ 100	1,47	Non applicable
95	1,25	2,00
80	1,35	1,55

#### b) Valeurs recommandées par le GPV2

Niveau global de risque	W/L	
	0,75	1,20
I	1,13	1,12
II	1,15	1,09
III	1,13	1,12
IV	1,10	1,18

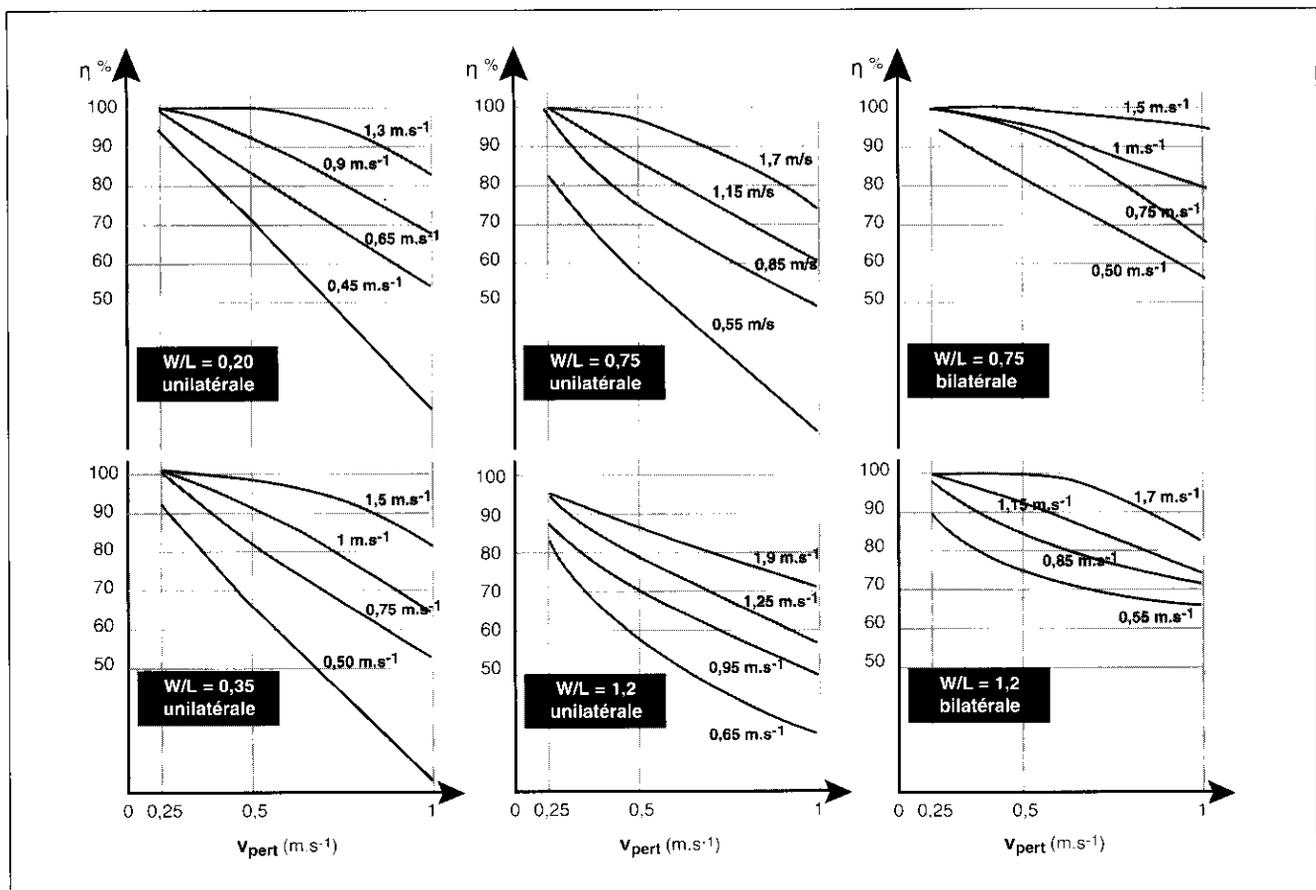


Fig. 9. Efficacité de captage en fonction des débits surfaciques pour les trois niveaux de perturbations et pour les différents types de cuves testées (a à f) - Capture efficiency as a function of flow rates per unit area for the three levels of disturbance and for the different types of tank tested (a to f)

Les six séries de courbes a à f de la figure 9 permettent d'apprécier la dégradation des performances de captage liée à l'accroissement de l'intensité des courants d'air pour un débit surfacique donné. On peut observer une dégradation d'autant plus sensible que les valeurs de débits surfaciques sont faibles. Cette dégradation est beaucoup moins sensible pour l'aspiration bilatérale comparée à l'aspiration unilatérale. Il faudra donc être conscient que les solutions pour lesquelles les débits d'air extrait sont faibles et/ou l'aspiration unilatérale, même si ces dispositions sont parfaitement justifiées au regard des risques encourus, présentent une plus grande vulnérabilité à des environnements perturbés.

Quelques résultats ont été regroupés à titre d'exemple au tableau VI pour la cuve de  $W/L = 0,75$  et quatre valeurs de débits surfaciques réparties dans le domaine testé, et au tableau VII pour un débit surfacique de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m}^2$  et les différents types de cuves testées.

Si l'on considère les exigences de performance telles qu'elles ont été définies au § 3.2 pour les différents niveaux globaux de risque (NGR I à IV, cf. annexe 1 et GPV2), l'examen des courbes de la figure 9 et des tableaux VI et VII montre, qu'à débit d'air extrait fixé, un doublement de l'intensité du courant d'air a pour effet de déclasser d'une, voire deux, unité(s) l'installation ainsi caractérisée. Par exemple, au tableau VII, une aspiration unilatérale sur une cuve de  $W/L = 0,75$  correspond, à partir de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m}^2$ , au NGR IV pour un courant d'air de  $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et n'est pas classée pour  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . A contrario, la réduction de moitié, qui reste à prouver dans chaque cas, permet de surclasser une installation.

#### Remarque

Cette étude ne traite pas du délicat problème de caractérisation des courants d'air dans les ateliers de traitement de surface, ni de la

façon de les éviter. En ventilation naturelle, on retiendra qu'avec un débit surfacique moyen de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m}^2$  et une limite supérieure de vitesse d'air insufflé de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  la surface des entrées de ventilation est équivalente à la surface des bords ventilés.

#### 3.5.2. Orientation

L'orientation des courants d'air est caractérisée par l'angle  $\alpha$  des vecteurs vitesse d'air extrait  $V_{\text{ext}}$  et vitesse de perturbation  $V_{\text{pert}}$ . Sept orientations réparties de  $0$  à  $180^\circ$  ont été adoptées pour les essais. Pour faciliter l'analyse des résultats, ceux-ci ont été regroupés suivant trois secteurs angulaires comme indiqué sur la figure 10.

Dans le cas de l'aspiration unilatérale, on constate que l'efficacité de captage varie en sens inverse de l'angle  $\alpha$ . Elle est maximale, dans la plupart des cas, lorsque les effets de l'aspiration et du courant d'air se conjuguent ( $\alpha = 0^\circ$ ) et

TABLEAU VI

Dégradation de l'efficacité de captage avec l'intensité du courant d'air pour la cuve de  $W/L = 0,75$  et différents débits d'air extrait - Decrease in capture efficiency with increasing air draught intensity for a tank of  $W/L = 0.75$  and different exhaust rates

$\eta$ (%)		Aspiration unilatérale $v_{ext}$ ( $m^3.s^{-1}/m^2$ )				Aspiration bilatérale $v_{ext}$ ( $m^3.s^{-1}/m^2$ )			
		0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
$v_{pert}$ ( $m.s^{-1}$ )	0,25	80*	98	100	100	89*	100	100	100
	0,50	55	80	95	98	73	89	97	100
	1,00	20	55	70	80	65	73	80	89

(\*) Valeurs extrapolées.

TABLEAU VII

Dégradation de l'efficacité de captage avec l'intensité du courant d'air pour un débit d'air surfacique de  $1 m^3.s^{-1}/m^2$  et différentes cuves - Decrease in capture efficiency with increasing air draught intensity for a specific flow rate of  $1 m^3.s^{-1}/m^2$  in different tanks

$\eta$ (%)		Aspiration unilatérale W/L				Aspiration bilatérale W/L	
		0,2	0,35	0,75	1,20	0,75	1,20
$v_{pert}$ ( $m.s^{-1}$ )	0,25	100	100	98	89	100	100
	0,50	96	90	80	73	89	85
	1,00	73	62	55	48	73	72

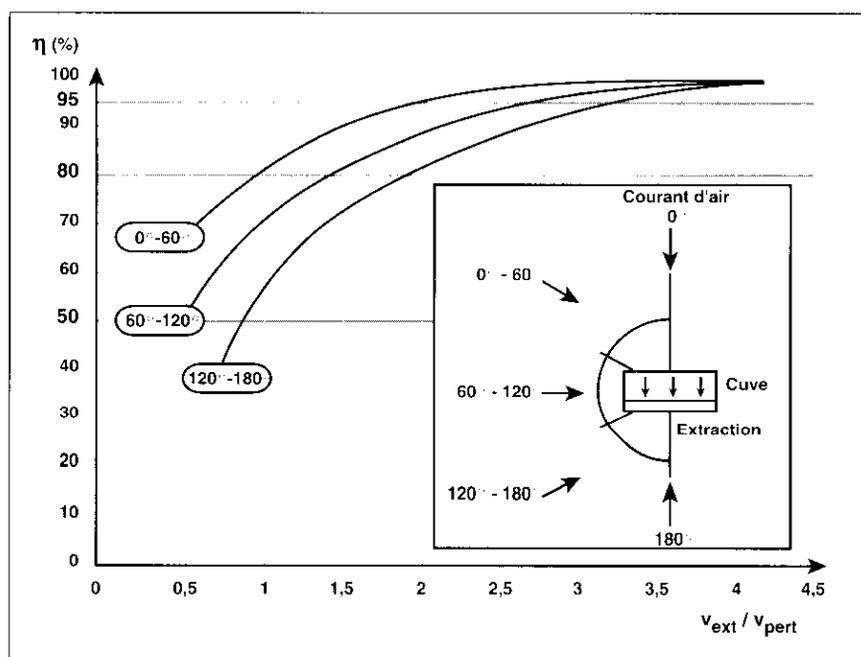


Fig. 10. Incidence de l'orientation des courants d'air. Cuve de  $W/L = 0,75$  - Aspiration unilatérale - Incidence of air draught direction. Tank  $W/L = 0.75$  - unilateral exhaust

TABLEAU VIII

Incidence de l'orientation du courant d'air. Rapport  $R_a$  des valeurs de  $v_{ext}/v_{pert}$  pour les deux situations extrêmes pour les différents W/L testés et  $\eta = 95\%$  - Incidence of air draught direction.

Ratio  $R_a$  of the values of  $v_{ext}/v_{pert}$  for the two extreme situations for the different W/L tested and  $\eta = 95\%$

W/L	0,20	0,35	0,75	1,20
$R_a$	1,3	1,5	1,8	3,0

minimale lorsqu'ils sont antagonistes ( $\alpha = 180^\circ$ ). Cette tendance est illustrée sur la figure 10 représentant le cas  $W/L = 0,75$ . La courbe inférieure est très proche de la courbe correspondante de la figure 9. Il convient à cette occasion de rappeler que les résultats présentés jusqu'ici sont issus des courbes-enveloppes et concernaient presque exclusivement le cas du courant d'air horizontal d'orientation opposée à celle de l'extraction ( $\alpha = 180^\circ$ ).

Le maintien d'un niveau donné de performance de captage est obtenu pour des valeurs d'autant plus faibles du paramètre  $v_{ext}/v_{pert}$  que l'orientation du courant d'air se rapproche du secteur 0 à  $60^\circ$ . A titre d'exemple, pour cette même cuve et une efficacité de captage de 95 %, les valeurs de  $v_{ext}/v_{pert}$  s'échelonnent de 3,2 à 1,8. Avec un courant d'air d'intensité constante et dont l'orientation est la plus favorable, il devrait donc être possible d'admettre des débits surfaciques  $v_{ext}$  près de deux fois (1,8) plus faibles. On retrouve un coefficient du même ordre pour des niveaux de performance inférieurs. Ce gain (relatif) augmente avec le rapport W/L, comme on peut le constater sur le tableau VIII, pour  $\eta = 95\%$  (à noter que les valeurs de référence de  $v_{ext}/v_{pert}$  augmentent dans le même sens).

La maîtrise des courants d'air dans un atelier passe donc par la prise en considération de leur orientation puisque ce paramètre a une incidence du même ordre de grandeur que l'intensité. A intensité constante, le débit surfacique peut être réduit de moitié ou plus pour les cuves les plus larges. Il est toutefois plus facile de prescrire que de réaliser la maîtrise de l'orientation des courants d'air.

En raisonnant non plus en performances constantes mais à débit surfacique constant (ou plus généralement à  $v_{ext}/v_{pert}$  constant), on observe une plus grande sensibilité au paramètre orientation aux faibles valeurs de  $v_{ext}/v_{pert}$ . Les performances s'amélioreraient donc plus nettement pour les faibles débits surfaciques ou les grandes vitesses de courant d'air (ou la combinaison des deux); elles se dégraderaient à l'inverse plus rapidement si l'orientation était mal maîtrisée. Quelques exemples sont regroupés au tableau IX pour la cuve de  $W/L = 0,75$  avec aspiration unilatérale.

Ces exemples et l'examen de la figure 10 mettent également en évidence le gain d'un rang dans le classement des dispositifs de captage en terme de niveau global de risque (NGR) sous l'effet de l'orientation des fentes par rapport aux courants d'air. Pour  $v_{ext}/v_{pert} = 1,5$ , la rotation du secteur 120 à 180° au secteur 0 à 60° fait par exemple remonter l'installation du NGR IV (60 - 80%) au III (80 - 90%), puis au II (90 - 97%). Au-delà de  $v_{ext}/v_{pert} = 3$ , l'incidence de l'orientation sur l'efficacité de captage est inférieure à cinq points.

Cet effet est moins sensible pour l'aspiration bilatérale, essentiellement du fait que les actions de l'extraction et des courants d'air ne sont jamais totalement antagonistes. De plus, les niveaux de performances sont supérieurs.

### 3.5.3. Courant d'air oblique

A un courant d'air horizontal d'intensité  $0,20 \text{ m.s}^{-1}$  se superpose un jet d'air oblique descendant issu d'une fente disposée parallèlement à la fente d'aspiration de la cuve. Les caractéristiques essentielles de ce dispositif complémentaire sont précisées sur la figure 11. Le jet, d'inclinaison et d'intensité réglables, est centré sur l'axe longitudinal de la surface du bain (pour un franc-bord  $f = 13 \text{ cm}$ ). Le courant d'air horizontal pris comme référence admet la même intensité que le jet d'air oblique.

Ont été testés, outre les paramètres caractéristiques de ce jet et la direction du courant d'air par rapport à l'aspiration, les paramètres franc-bord et obstacle plan. Les configurations d'essai retenues sont précisées au tableau X.

Le courant d'air résultant de la combinaison des deux vecteurs-vitesses  $v_{pert}$  et  $v_{obl}$  a les caractéristiques effectives en intensité et inclinaison par rapport à l'horizontale données au tableau XI.

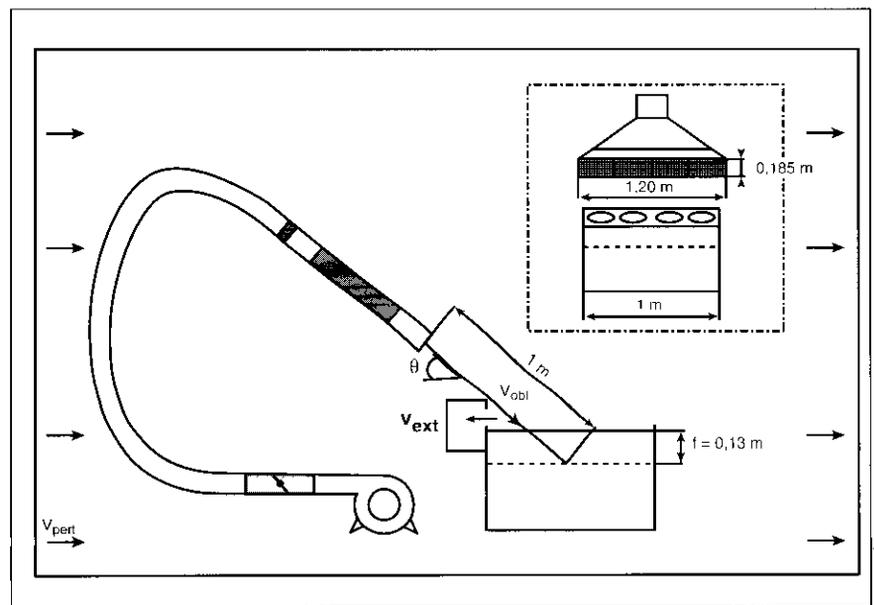
Sur les figures 12a - d où sont regroupés les résultats de mesurage, on peut observer l'évolution de l'efficacité de captage pour des courants d'air d'inclinaison croissante. Comme dans le cas du courant d'air horizontal (§ 3.5.2), les effets de ce courant d'air et de l'aspiration sont censés se conjuguer pour l'orientation  $\alpha = 0^\circ$  et être antagonistes pour  $\alpha = 180^\circ$ .

TABLEAU IX

**Efficacité de captage pour trois orientations de courant d'air**  
**Cuve de  $W/L = 0,75$  - Aspiration bilatérale** - Exhaust efficiency for three air draught directions Tank  $W/L = 0.75$  - Unilateral exhaust

$\eta$ (%)		0-60°	60-120°	120-180°
$v_{ext}/v_{pert}$	1,0	83	72	55
	1,5	91	83	73
	2,5	98	94	88

Pour  $\alpha = 0^\circ$ , l'efficacité de captage se dégrade d'autant plus, à intensité de courant d'air oblique identique, que l'inclinaison  $\theta$  est plus forte (fig. 12a et 12b). La perte d'efficacité pour l'inclinaison maximale peut atteindre 25 points (resp. 35 points) pour  $v_{obl} = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$  (resp.  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ ), le niveau de référence étant proche de 100%. Contrairement à ce qui vient d'être énoncé à l'alinéa précédent, le courant d'air perturberait donc l'écoulement à l'aspiration en déstabilisant la couche d'air protectrice établie au-dessus du bain. Le polluant qui y séjournait avant d'être aspiré dans le cas du courant d'air horizontal en est maintenant chassé.



**Fig. 12. Incidence d'un courant d'air oblique. Cuve de  $W/L = 0,75$  - Aspiration unilatérale -  $v_{ext} = 0,55 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}/\text{m}^2$**  - Incidence of slanting air draught. Tank  $W/L = 0.75$  - Unilateral exhaust -  $v_{ext} = 0.55 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}/\text{m}^2$

**Fig. 11. Dispositif de génération d'un jet oblique (cas représenté  $\alpha = 180^\circ$ )** - Slanting jet generator ( $\alpha = 180^\circ$ )

TABLEAU X

Configurations testées – Configurations tested

<b>Courant d'air horizontal</b>	Direction	$\alpha$	(degrés)	0 – 180
	Intensité	$V_{pert}$	$m.s^{-1}$	0,25 ; 0,50 ; 1,00
<b>Courant d'air oblique</b>	Inclinaison	$\theta$	(degrés)	0 – 30 – 45
	Intensité	$v_{obl}$	$m.s^{-1}$	0,50 – 1,00
<b>Géométrie cuve</b>	Largeur/longueur	W/L	sans dim	0,75
<b>Aspiration</b>	Type			Unilatéral
	Débit surfacique	$v_{ext}$	$m^3.s^{-1}/m^2$	0,55
<b>Bain</b>	Franc-bord	f	cm	13 ; 20 ; 27
<b>Obstacle</b>	Type		—	Plan
	Hauteur		—	Niveau de la fente

TABLEAU XI

Caractéristiques du courant d'air résultant – Resulting air draught characteristics

$v_{pert}$ ( $m.s^{-1}$ )	0,50		1,00	
$\theta$ (degrés)	30	45	30	45
$v_{résult}$ ( $m.s^{-1}$ )	0,68	0,66	1,18	1,15
$q_{résult}$ (degrés)	21,6	32,5	25,0	38,0

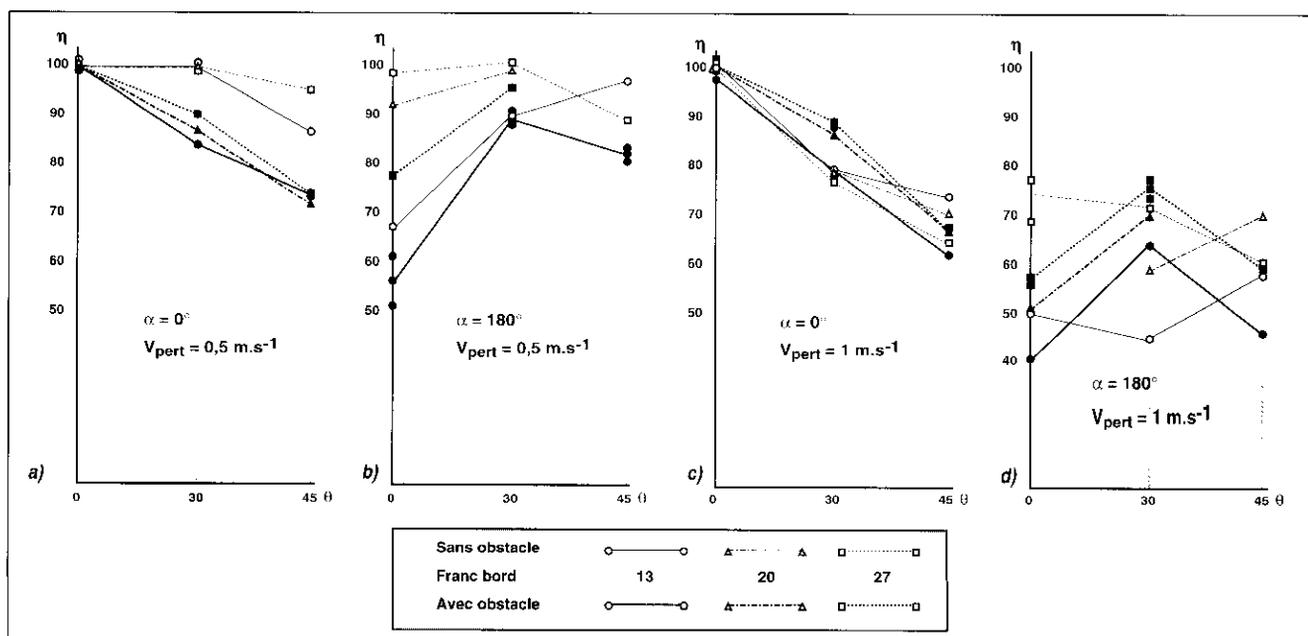
D'autre part, pour  $v_{obl} = 0,5 m.s^{-1}$ , la présence d'un obstacle amoindrit les performances de captage, la réduction du franc-bord produit un effet similaire (l'action de ces deux paramètres a été étudiée par l'INRS dans de nombreuses configurations et sera plus précisément décrite dans un article ultérieur). Le dispositif de captage est d'autant plus vulnérable à ce courant d'air oblique que la configuration est plus défavorable (présence d'obstacle, faible franc-bord). Ces observations sont moins bien vérifiées à  $1 m.s^{-1}$  et plus particulièrement en l'absence d'obstacle (cf. fig. 12b).

Pour  $\alpha = 180^\circ$  et donc courant d'air et aspiration à contre-courant, on observe à nouveau le classement attendu à propos des effets de l'obstacle et du franc-bord pour  $v_{obl} = 0,5 m.s^{-1}$ , la présence défavorable de l'obstacle n'apparaît pas aussi nettement à  $1,0 m.s^{-1}$ .

Paradoxalement, à intensité modérée, les performances de captage sembleraient s'améliorer avec l'inclinaison du courant d'air ou tout au moins passer par un optimum. Dans les configurations testées, l'efficacité de captage dépasse 80 %, voire 90 %, quel que

soit le niveau de référence (fig. 12c). Tout se passe comme si le courant d'air faisait écran à la propagation des polluants au-dessus du bain.

A  $1 m.s^{-1}$ , on observe un phénomène analogue dans la configuration avec obstacle et une situation plus contrastée sans obstacle. Toutefois dans les deux cas, les performances se situent à un niveau bas où les différences ne sont plus très significatives, notamment en raison de l'incertitude de mesure élevée.



## 4. CONCLUSIONS

La solution du captage des polluants émis par les cuves de traitement de surface par fentes latérales d'aspiration est certes moins performante que l'encoffrement des sources, elle peut néanmoins présenter d'autres avantages motivant son choix. En raison des forts débits d'air mis en jeu, il convient de dimensionner correctement les installations. La fixation des recommandations actuelles repose, en fonction du niveau global de risque chimique, sur des critères purement aérauliques, et donc indirects, liés au champ des vitesses d'air dans la zone d'émission. Cette étude a montré l'intérêt d'une part du paramètre efficacité de captage pour une évaluation directe des performances de captage, d'autre part de la technique de traçage gazeux pour son mesurage.

A un niveau de risque donné était implicitement associé un objectif de performance de captage. L'outil d'évaluation utilisé a permis de quantifier les objectifs correspondant aux recommandations du GPV2 traitant de ce secteur. Globalement, les performances s'échelonnent de près de 100 %, pour le niveau de risque le plus élevé, à 60 %, pour le niveau où un dispositif de captage est encore recommandé. Ces valeurs s'entendent pour les conditions d'essai les plus défavorables, hormis un courant d'air modéré de 0,5 m.s<sup>-1</sup>. Pour parfaire cette approche préventive permettant de fixer des objectifs de performance de captage, il conviendra d'améliorer nos connaissances en matière de débit de polluants émis par les bains. Des méthodes d'évaluation faisant appel à la technique de traçage sont en cours de développement à l'INRS.

Le débit d'émission admissible du polluant ayant échappé au captage devrait être déterminé par le seul niveau de risque. Or, l'étude a permis de constater que, pour un niveau global de risque donné, la modulation des débits d'extraction recommandés en fonction du rapport largeur/longueur des cuves se traduit par une décroissance des efficacités de captage, et donc de ce débit de polluant non capté, lorsque ce rapport croît. Il serait donc souhaitable, dans un souci de cohérence, de réajuster la grille des débits actuellement recommandés dans le but d'obtenir des performances plus homogènes.

Outre cette quantification a posteriori de l'incidence des recommandations, l'étude a permis d'apprécier l'effet isolé

ou combiné de nombreux facteurs sur les performances de captage. L'effet prépondérant d'un courant d'air perturbateur a été particulièrement mis en évidence.

Toute variation de son intensité nécessite pour le maintien des performances une variation en même proportion du débit. Cette conclusion est lourde de conséquences tant sur le plan technique qu'économique. En effet, si le local est le siège de mouvements d'air inusuels, les débits d'extraction devront être augmentés, et parfois notablement. A contrario, si les moyens mis en œuvre permettent de garantir en permanence un air calme dans l'atelier, alors ces débits peuvent être réduits.

La direction d'un courant d'air horizontal exerce un effet du même ordre que l'intensité. Selon que les actions de l'aspiration et du courant d'air se conjuguent ou sont antagonistes, le rapport des débits nécessaires peut atteindre 3 dans les cas extrêmes. A intensité équivalente, un courant d'air oblique descendant peut suivant les cas amenuiser ou améliorer la situation.

En règle générale, la dégradation des performances est d'autant plus sensible que la configuration de départ est plus défavorable : cuve large, débits faibles, fente unilatérale. A l'inverse, la moindre sensibilité aux courants d'air de la solution bilatérale a pu être quantifiée. Toutes conditions égales par ailleurs, la réduction de débit consécutive à l'adjonction d'une deuxième fente est d'autant plus élevée que la cuve est plus large. Les réductions de l'ordre de 20 à 50 % suivant les cas seraient plus incitatives que celles, au plus égales à 18 %, obtenues en application de la règle actuelle de déclassement d'un niveau de risque.

Enfin, d'autres paramètres tels que la distance entre le niveau du bain et le bord de cuve, la présence d'obstacles, la température du bain, divers dispositifs de captage ont été examinés au cours de l'étude. Les résultats seront détaillés dans un article à paraître ultérieurement dans *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*.

### Bibliographie

1. Guide pratique de ventilation n° 2 – Ventilation des cuves et bains de traitement de surface, 4<sup>e</sup> éd. Paris, INRS, 1990, ED 651, 27 p.
2. Industrial ventilation. A manual of recommended practice, 22<sup>e</sup> éd. Lansing (MI), ACGIH, 1995.
3. HÉRY M., HUBERT H., LIMASSET J.C., ELCABACHE J.M. – Industrie de la galvanisation. Evaluation de l'exposition atmosphérique au chrome et au nickel. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1990, 139, pp. 303-311.
4. MAHIEU J.C., OURY B., BOULET A. – Caractéristiques de l'émission d'aérosols des bains de nickelage. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1990, 139, pp. 313-322.
5. CONROY L.M., ELLENBECKER M.J. – Capture efficiency of flanged slot hoods under the influence of a uniform cross draft : model development and validation. *Applied Industrial Hygiene*, 1989, 4, 6, pp. 135-142.
6. HEINSOHN R.J., YU S.T., MERKLE C.L., SETTLES G.S., HUITEMA B.C. – Viscous turbulent flow in push-pull ventilation systems. In : GOODFELLOW H.D. (éd.) – *Ventilation '85*. Amsterdam, Elsevier Science Publ., 1986, pp. 529-566.
7. NF X 10-102 – Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire. Paris – La Défense, AFNOR, juin 1980, 69 p.
8. MULLER J.P., AUBERTIN G. – Efficacité de captage et courants d'air perturbateurs. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1990, 128, pp. 357-367.
9. LEFEVRE A., MULLER J.P. – Evaluation de l'assainissement de l'air des ateliers et des postes de travail par l'utilisation de la technique de mesure par gaz traceur. In : AISS International section for the chemical industry (éd.) – *Risikobegrenzung in der Chemie*. Heidelberg, International social security association series n° 1001, 1989, pp. 731-759.
10. NF EN 1093-4 – Sécurité des machines. Evaluation de l'émission de substances dangereuses véhiculées par l'air. Efficacité de captage d'un système d'aspiration. Méthode par traçage. Paris – La Défense, AFNOR, juin 1996, 12 p.
11. BRACONNIER R., RÉGNIER R., BONTHOUX F. – Efficacité d'une fente d'aspiration sur une cuve de traitement de surface. Mesure en laboratoire et simulation numérique bidimensionnelle. *Cahiers de Notes Documentaires – Hygiène et Sécurité du Travail*, 1991, 144, pp. 463-478.
12. ANSI Z9.1-1991 – American National Standard for Exhaust Systems – Open surface tanks – Ventilation and operation. New-York, American National Standards Institute, mars 1991, 42 p.

## Un extrait du guide pratique de ventilation

Le texte de cette annexe est adapté de la 4<sup>e</sup> édition (mai 1990) du guide pratique de ventilation dit GPV2. Afin d'éviter des confusions nous avons changé les notations du GPV2. En effet dans ce document, *W* représente la demi-largeur du bain dans le cas de l'aspiration bilatérale. Cet artifice sera abandonné dans la prochaine édition du GPV2 (à paraître fin 1997) et n'a donc pas été utilisé dans la présente étude.

Dans le cas de l'aspiration latérale, le débit d'aspiration à mettre en œuvre est égal au produit de la surface du bain augmenté, le cas échéant, de la surface correspondant au recul du système de captage, par le débit par unité de surface fixé précédemment en fonction du niveau global de risque

$$Q = S q$$

Q, débit total d'aspiration ( $m^3.s^{-1}$ )

S, surface du bain ( $m^2$ )

q, débit d'aspiration par unité de surface ( $m^3.s^{-1}/m^2$ ).

Le débit d'aspiration par unité de surface q est fonction du rapport a/b (b dimension parallèle au dispositif d'aspiration latérale ; a dimension effective du bain au-dessus duquel chaque dispositif de captage doit aspirer l'air).

Dans le cas d'un système d'aspiration unilatérale ou d'un système d'aspiration soufflage a = l.

Dans le cas d'un système d'aspiration bilatérale ou d'un système à aspiration centrale a = l/2.

l est la dimension du bain perpendiculaire au dispositif d'aspiration latérale (plus le recul éventuel du dispositif de captage par rapport au bain.

Domaine d'application	Débits surfacique ( $m^3.s^{-1}/m^2$ )						
	Niveau global de risque (*)	Classe de risque en l'absence de courants d'air	a/b $\leq 0,1$	a/b $> 0,1$ $\leq 0,5$	a/b $> 0,25$ $\leq 0,5$	a/b $> 0,5$ $\leq 1$	a/b $> 1$ $< 2$
Dispositif d'aspiration le long d'un côté ou de deux côtés parallèles d'une cuve, non appuyé sur un écran	I	A1, A2	1,15	1,30	1,50	1,70	1,90
	II	A3, B1, B2, C1	0,75	0,90	1,00	1,15	1,25
	III	B3, C2	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
	IV	A4, B4, C3	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65

(\*) Les NGR indiqués correspondent à des mouvements de l'air non perturbés au niveau des sources d'émission.

Deux indices :

– l'un caractéristique de la toxicité du ou des polluants émis, représenté par la lettre A, B, C ou D ; A correspondant aux produits les plus toxiques,

– l'autre caractéristique de la quantité de polluant émise, représenté par le chiffre 1, 2, 3 ou 4 ; 1 correspondant à la plus forte émission,

permettent de définir 16 classes de risques allant de A1 (produits très toxiques A émis en quantité importante 1) à D4 (produits peu nocifs D émis en quantité très faible 4).

Ces 16 classes ont ensuite été réparties en 6 niveaux globaux de risque (NGR) de I à VI. ■

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30 rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14. Tél. 01 40 44 30 00**

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires, 4<sup>e</sup> trimestre 1996, n<sup>o</sup> 165 - ND 2030 - 1 200 ex. - N<sup>o</sup> CPPAP 804 AD/PC/DC du 14-03-85  
Directeur de la publication : J.L. MARIE - ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0541-2