



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Réduction du risque chimique/biologique Le rôle de la ventilation

**J.R. FONTAINE
INRS, FRANCE**

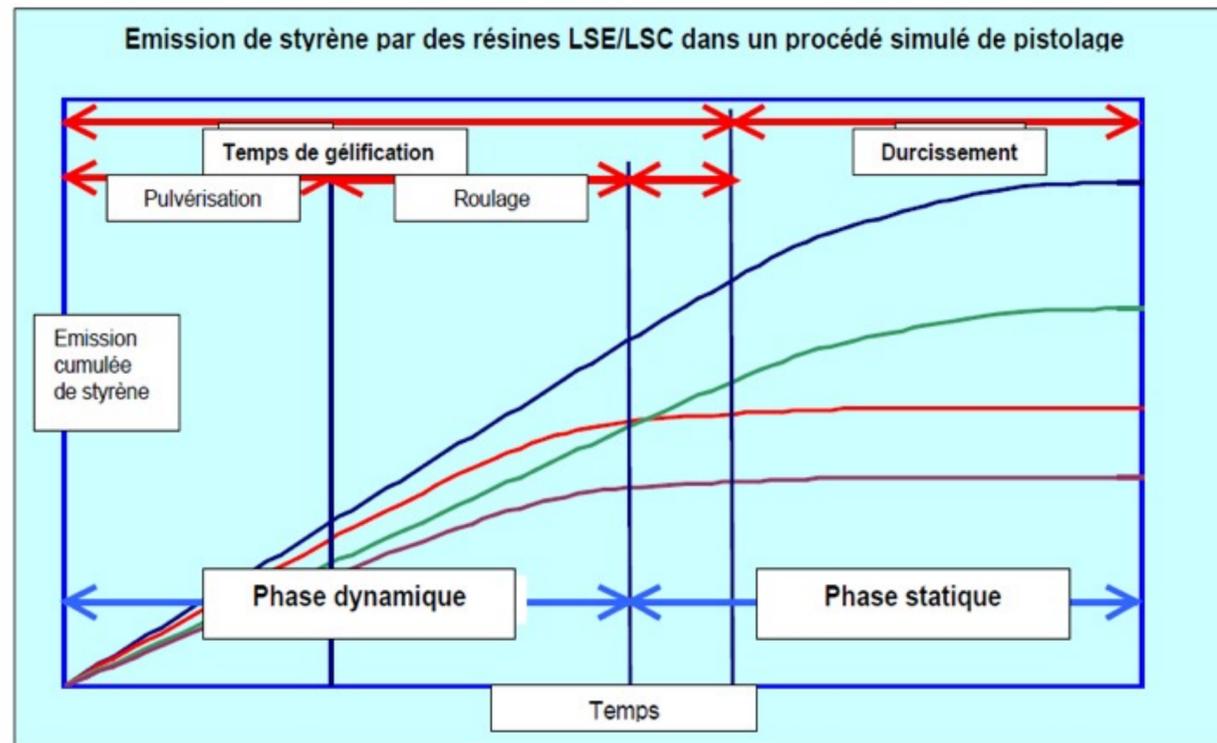
Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

Démarche générale de réduction du risque chimique

- ***Substituer***, remplacer les produits par d'autres, moins dangereux ;
- ***Modifier le procédé*** pour réduire les émissions ;
- ***Capter à la source*** ;
- **Mettre en place une *ventilation générale*** ;
- **Utiliser des *équipements de protection individuelle***.

Substituer par des produits moins dangereux

Exemple du styrène



Application	Ebullage	Polymérisation
50 %	30 %	20 %

Répartition des émissions en fonction de la phase du procédé

LSC
 Phase dynamique
 Phase statique
 LES
 Phase dynamique

Guide de ventilation – Mise en œuvre de polyester stratifié

Substituer par des produits moins dangereux

■ L'EXEMPLE DES PHTALATES

▶ Les phtalates sont souvent utilisés comme plastifiants dans le PVC

> Le phtalate de bis (2-éthylhexyle) ou DEHP est reprotoxique de catégorie 1B.

> Le DEHP peut être remplacé par le DINP ou le DIDP ou le DEHA dans la fabrication des gaines en PVC, par exemple.

▶ Attention dans les produits de remplacement, certains pouvant se révéler aussi toxiques que le produit remplacé

> DIBP retenu comme substituant du DBP, mais ensuite reclassé reprotoxique 1B depuis 2006.

Guide de ventilation – Atelier de plasturgie

Poussières de bois – risques pour la santé

- **Quel que soit le type de bois, les poussières de bois dispersées dans l'air peuvent induire des pathologies respiratoires et cutanées. La durée d'exposition constitue un facteur aggravant.**
 - ▶ **Le dépôt répété des poussières les plus grosses dans les voies respiratoires supérieures peut être à l'origine de cancers des cavités nasales et sinusiennes.**
 - ▶ **Les plus fines peuvent parvenir jusqu'aux alvéoles pulmonaires et y provoquer des lésions.**
 - ▶ **Les poussières de bois peuvent également provoquer des lésions d'irritation de la peau et des muqueuses et entraîner des phénomènes d'allergie (eczéma, rhinite, asthme).**
- **Population de salarié exposée – 300 000**
- **Deuxième cause de cancers professionnels reconnus en France**
- **Maladies professionnelles reconnues : 100 / an dont 70 cancers**

■ Communautaire

La directive 1999/38/CE concernant la protection des travailleurs contre les agents cancérigènes au travail a introduit des exigences particulières.

- ▶ Fixe une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) contraignante relative aux poussières de bois durs à 5 mg/m^3 (fraction inhalable) ;
- ▶ Introduit les poussières de bois durs dans la liste des procédés cancérigènes.

■ Nationale

- ▶ *Inscription des poussières de bois dans la liste des procédés de travail cancérigènes ;*
- ▶ Le décret du 23 décembre 2003 relatif à la prévention du risque chimique fixe une VLEP contraignante pour les poussières de bois à 1 mg/m^3 à partir du 1^{er} juillet 2005.

Modifier le procédé pour réduire les émissions

Centres d'usinage bois



Effet aspirant d'un porte-outil (défonceuse à commande numérique)



Effet aspirant d'un porte-outil (défonceuse à commande numérique)



Porte-outil
Effet Venturi



Effet aspirant d'un porte-outil (défonceuse à commande numérique)



Sans porte-outil à effet Venturi

Effet aspirant d'un porte-outil (défonceuse à commande numérique)

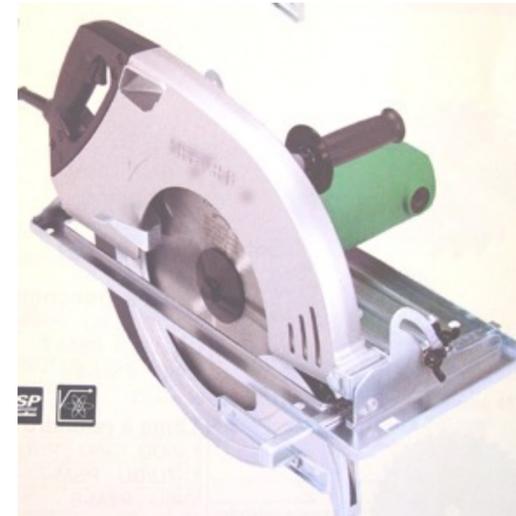


Présence porte-outil Venturi



■ Étude INRS publiée en 2009

- ▶ Machines électroportatives : ponceuses orbitales, scies circulaires, défonceuses ;
- ▶ Machines portatives :
 - > les machines de menuiserie les plus émissives ;
 - > les systèmes de captage de poussières ne sont pas, dans la plupart des cas, dimensionnés efficacement ;
 - > les fournisseurs et les fabricants de machines électroportatives ne sont pas tenus, actuellement, d'informer les utilisateurs du niveau d'empoussièrément occasionné par leurs appareils ;
 - > la directive européenne machine reste vague au sujet des émissions de poussière.



Émissions de poussières des machines portatives

- **Mise au point d'une méthode en laboratoire**
 - ▶ Caractéristiques aérauliques (débit d'aspiration, perte de charge)
 - ▶ Caractérisation de l'émission
 - ▶ Choix de la méthode de référence (EN 1093 – X)
 - ▶ Étude de la sensibilité par rapport aux principaux paramètres d'essais
 - > Paramètres du banc d'essai
 - > Paramètres de la machine
 - > Système de captage
 - > Matériaux
 - > Méthode et matériel de mesure de la poussière
 - ▶ Définition de la méthode adaptée aux machines portatives
- **Transfert à un laboratoire qui serait accrédité pour les essais / label faible émission ?**

Machines électroportatives – Cabine d'essais



Description des capteurs



TEOM

Mesure gravimétrique

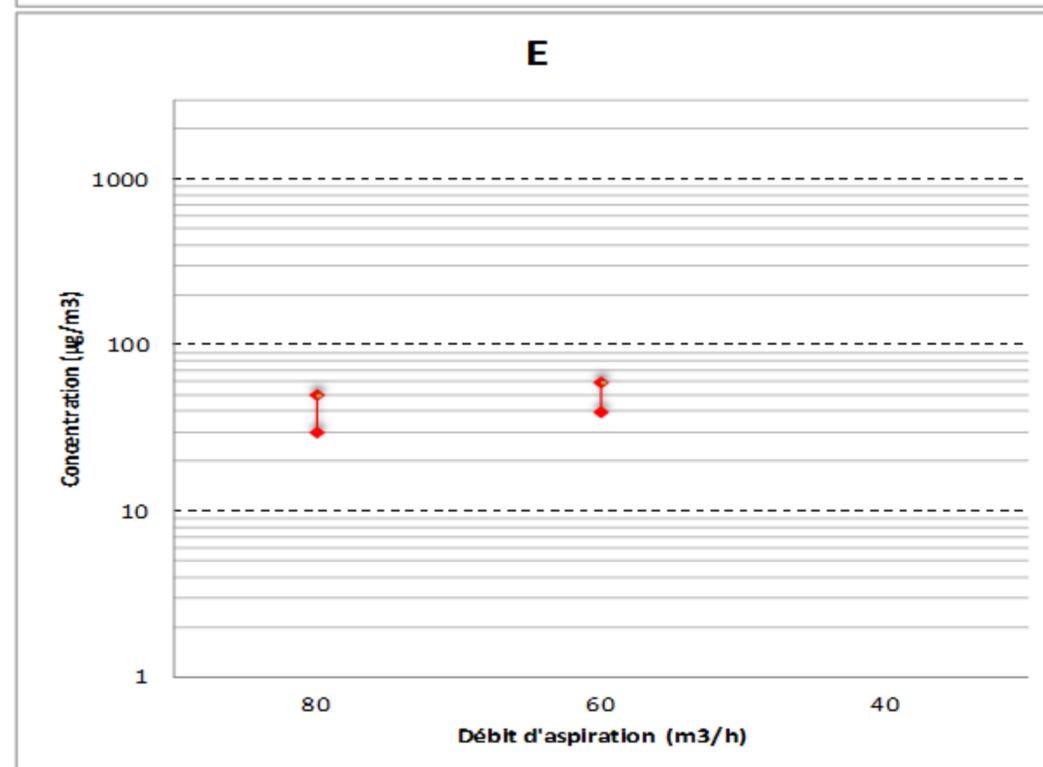
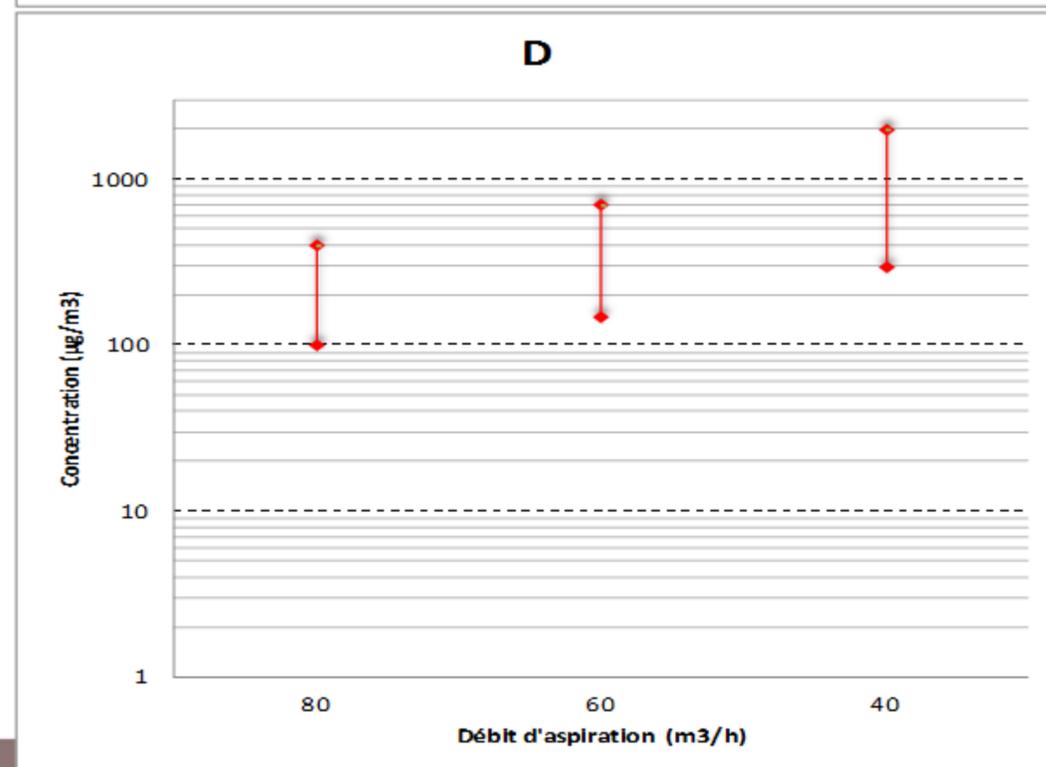
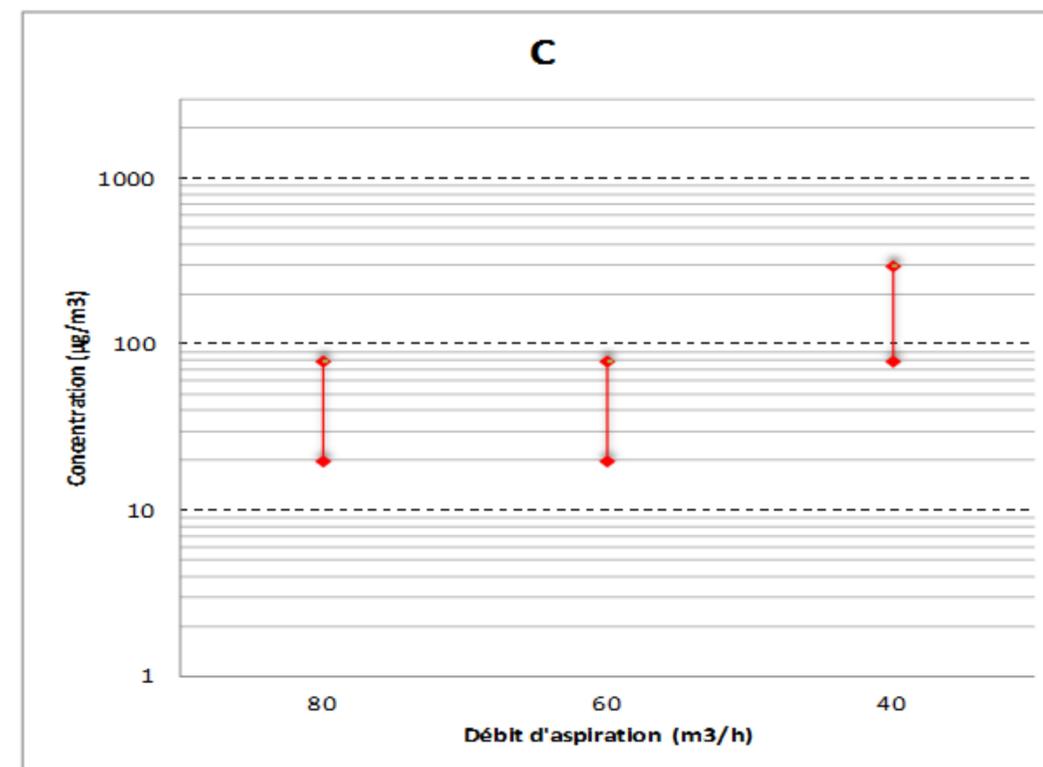
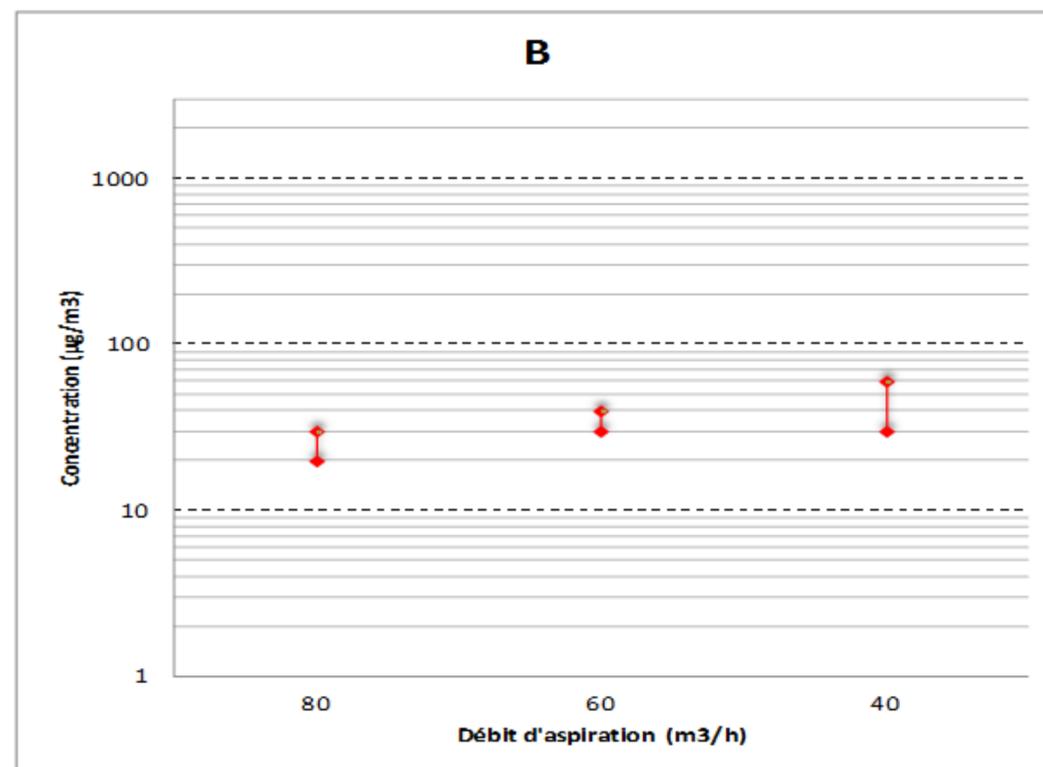
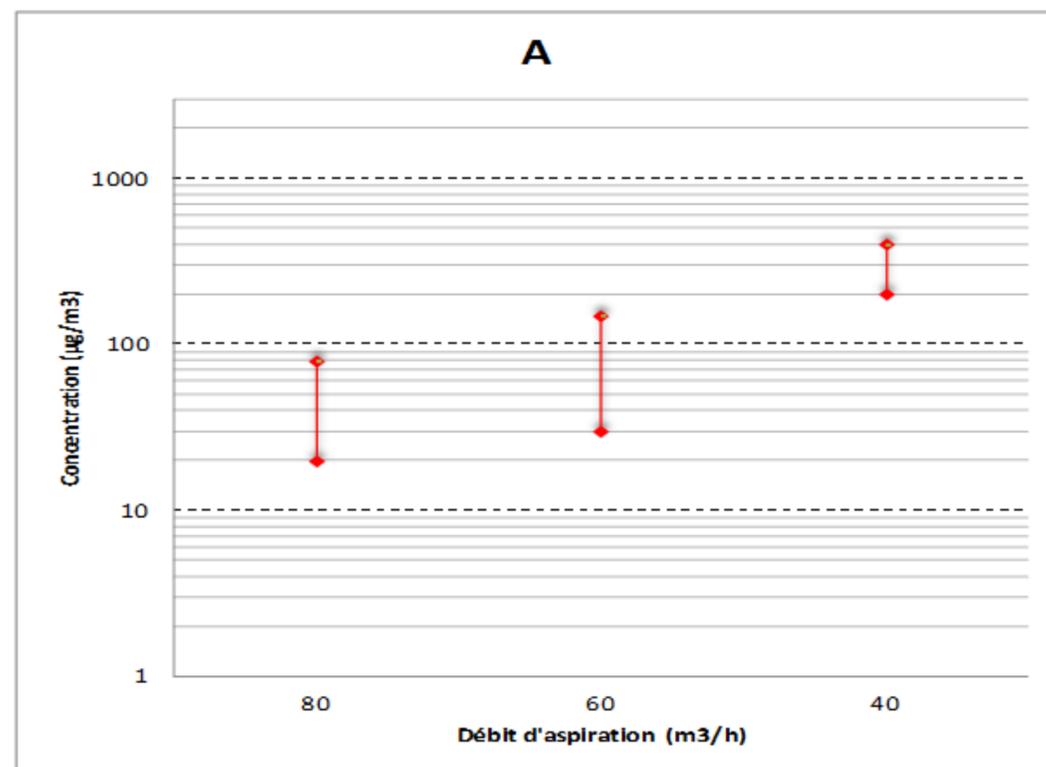
APS

Mesure temps de vol

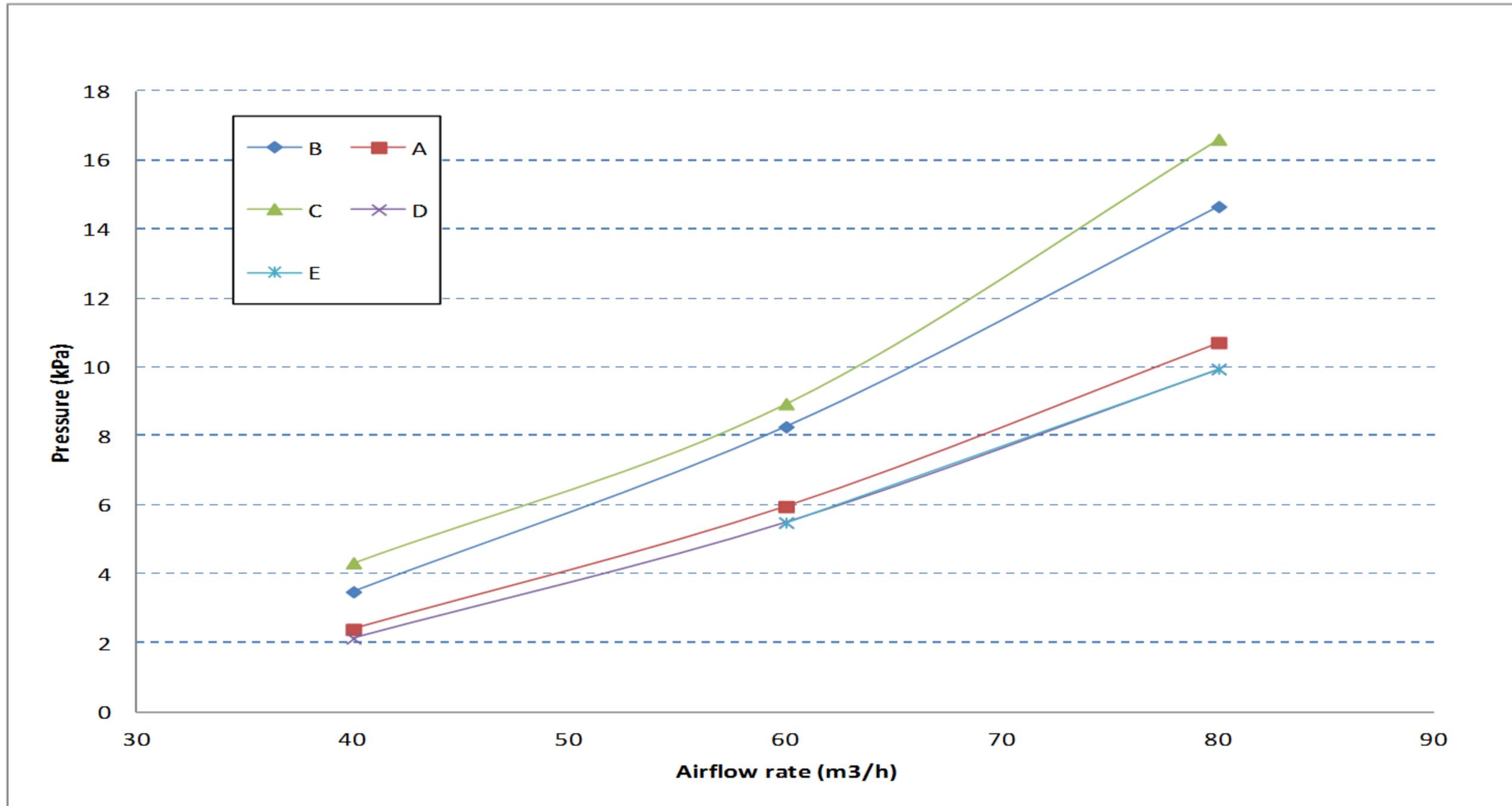
Photomètre

Mesure optique

Machines électroportatives – Émissions



Machines électroportatives – Perte de charge



Machines électroportatives – Conclusions

- Les capteurs (TEOM / Lighthouse / APS) répondent avec le même ordre de grandeur.
- La position des capteurs dans la cabine a une influence importante sur la mesure de concentration.
- La façon de poncer (pression appliquée, vitesse de travail, mouvements de l'opérateur) influe sur la quantité de poussières produite / mesurée.
- Impact important du débit d'aspiration.
- Des classes de performances se dégagent des premiers essais.
- Travaux de normalisation CENELEC en cours ----- ISO.

Soudage à l'arc – F. Bonthoux

■ Fumées de soudages

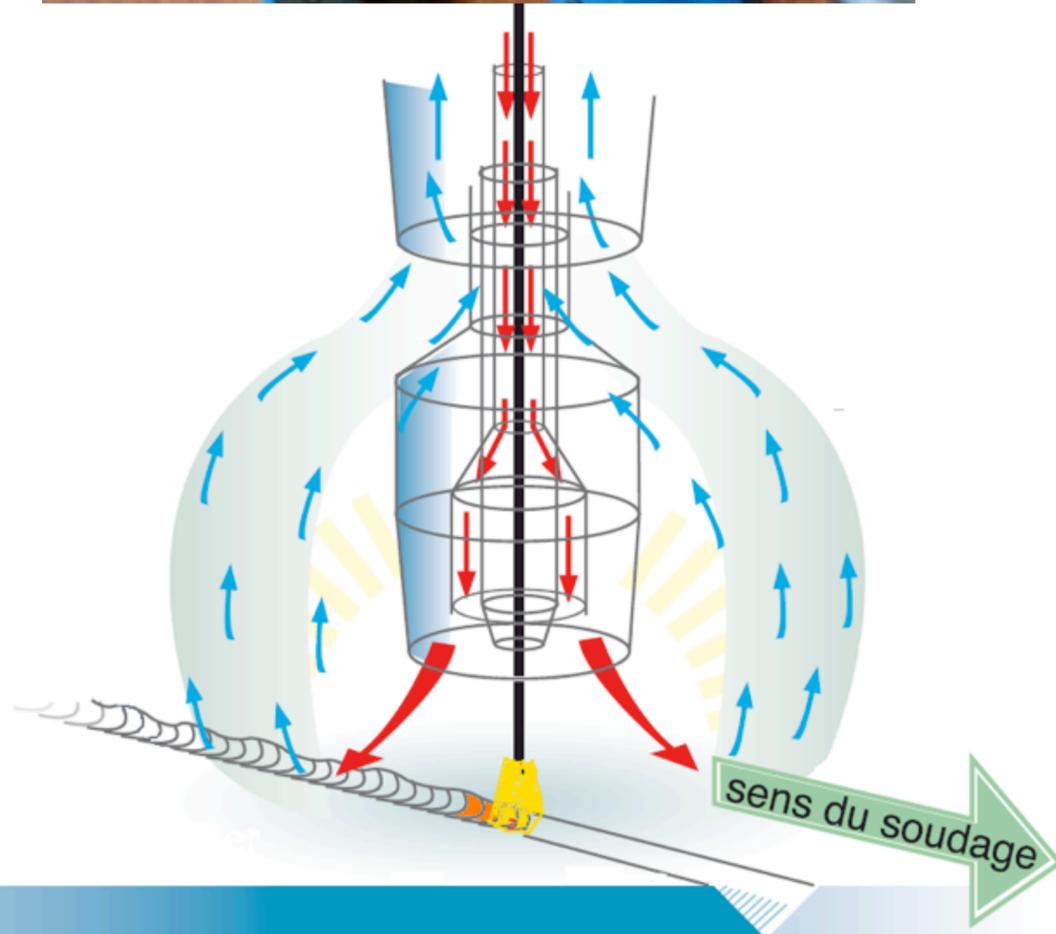
- ▶ Plus de 60 000 soudeurs en France
- ▶ Techniques à l'arc émissives
- ▶ Phase particulaire : métaux et d'oxydes de métaux
- ▶ Phase gazeuse : CO, CO², O³, NO_x, phosgène,...
- ▶ CIRC 2B
- ▶ Asthmes professionnels
- ▶ Lésions cérébrales (manganèse)

■ Protection collective difficile à mettre en œuvre

- ▶ Chantier de grande taille

■ Exposition élevée, même en présence de dispositif de captage(COLCHIC)

Torche de soudage aspirante



Référentiel et constat de terrain

■ Étude INRS (1985-1988) préconisant un débit extrait de 100m³/h

- ▶ Protocole de mesure?
- ▶ Validité de cette préconisation établie sur les quelques torches disponibles en 1988 ?

■ Difficultés à établir la réelle efficacité sur le terrain

- ▶ L'efficacité des torches est souvent faible
- ▶ Une estimation visuelle directe n'est pas évidente (pb arc)
- ▶ Grandes incertitudes sur les expositions (reproductibilité)

■ Faible acceptation de la torche avec captage intégré

- ▶ Impact sur la qualité de la soudure (« soufflure » aspiration gaz de protection)
- ▶ Faible efficacité
- ▶ Faible prise en compte de l'effet sur le poste de travail

Objectifs principaux de l'étude

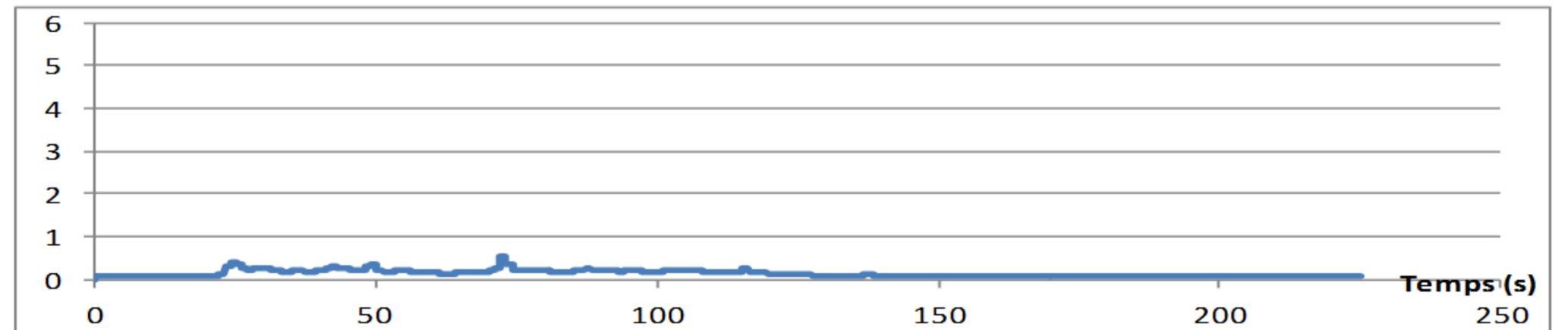
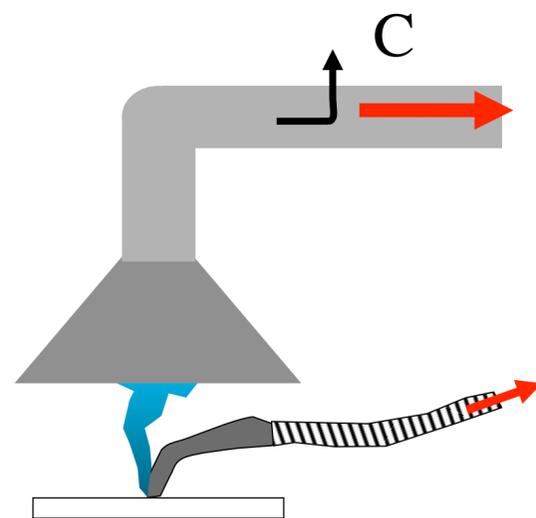
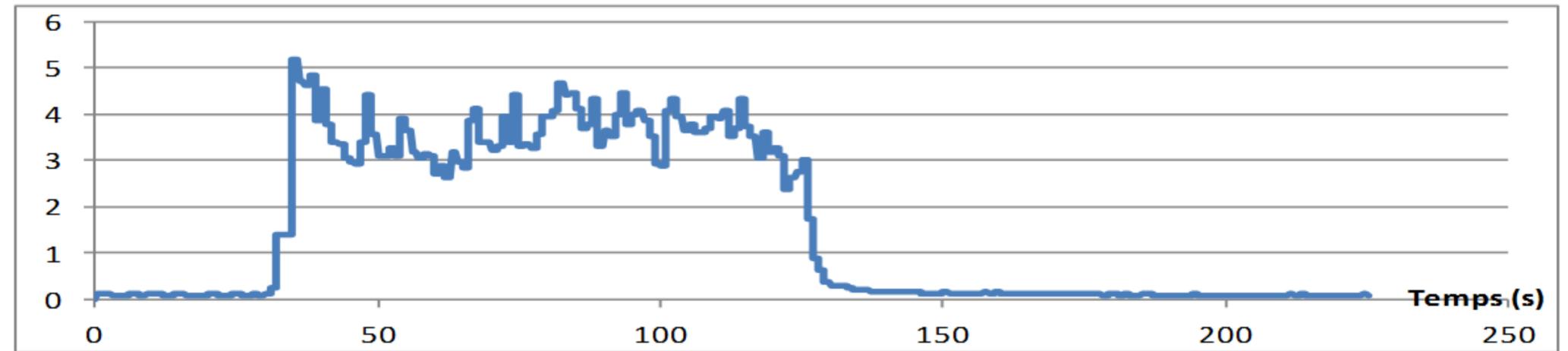
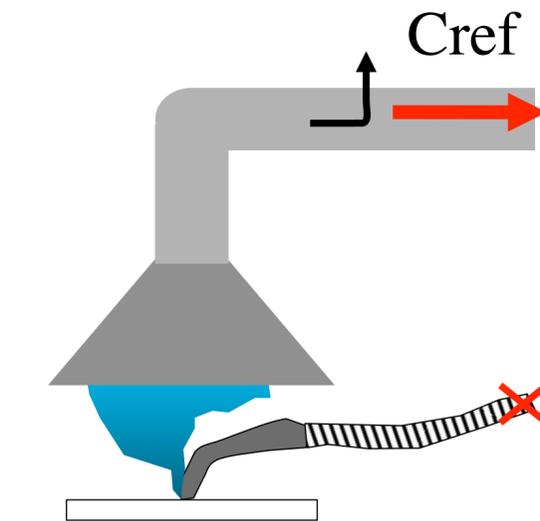
- **Connaître les performances des matériaux présents sur le marché**
- **Actualiser les connaissances, déterminer les domaines d'emploi des torches aspirantes, mettre à jour le référentiel de dimensionnement aéraulique**
- **Participer à l'élaboration de la future norme européenne et évaluer sa capacité à discriminer les matériaux**
- **Faire évoluer les matériaux en travaillant avec les fabricants**

Banc d'essai : mesure de l'efficacité

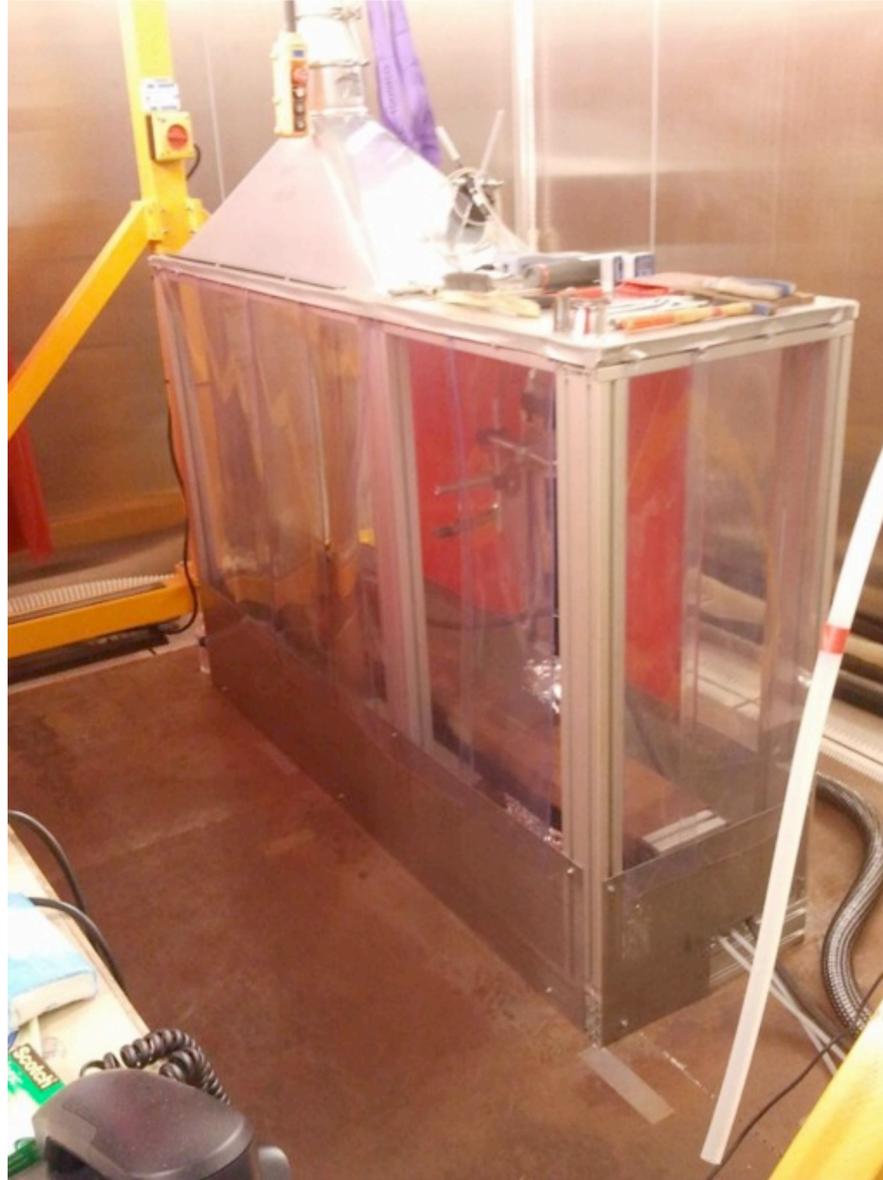
Efficacité estimée sur les fumées à partir de deux opérations de soudage successives :

- sans et avec captage
- basée sur la fraction non captée

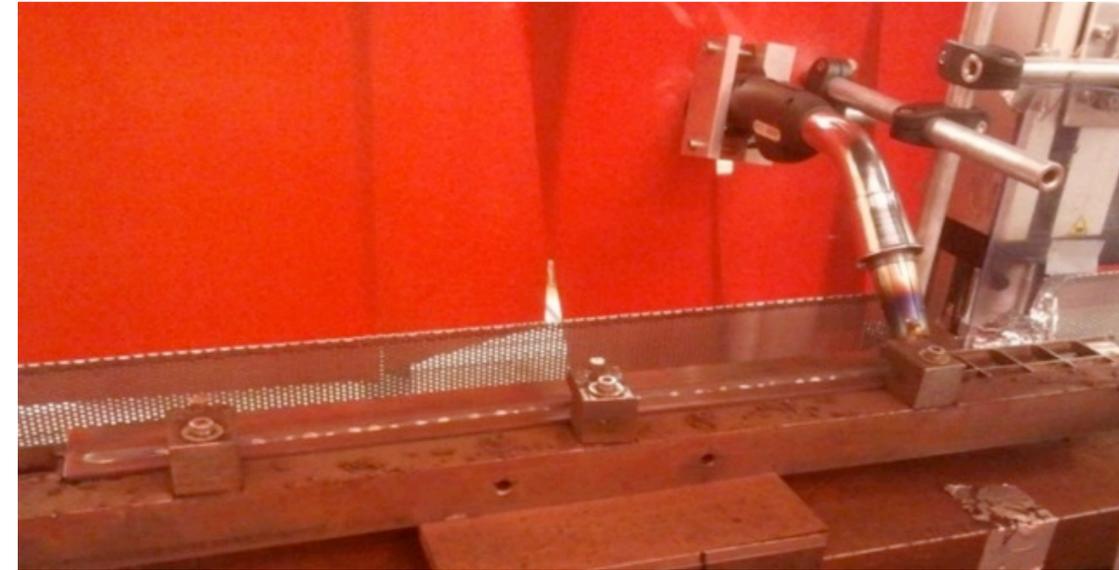
$$\eta = 1 - \frac{C}{C_{ref}}$$



Banc d'essai – Étude paramétrique



Mesure des concentrations par photomètre



■ Évaluation débit d'émission et efficacité de captage en fonction

- ▶ modèle de torches
- ▶ débit extrait
- ▶ angle de soudage
- ▶ puissance et mode de transfert
- ▶ pièce (\perp -)
- ▶ débit et nature du gaz protecteur
- ▶ **diamètre de fil** et type de métal d'apport
- ▶ vitesse de déplacement
- ▶ ...

Mesure des débits

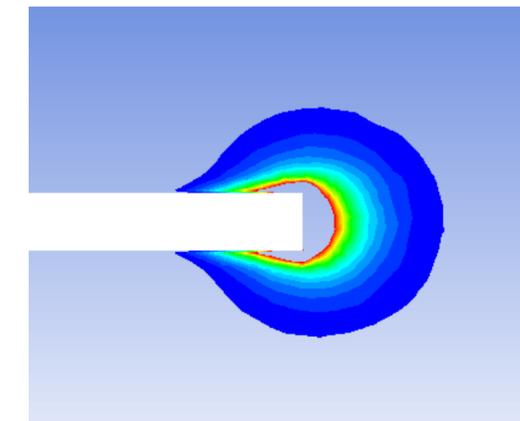
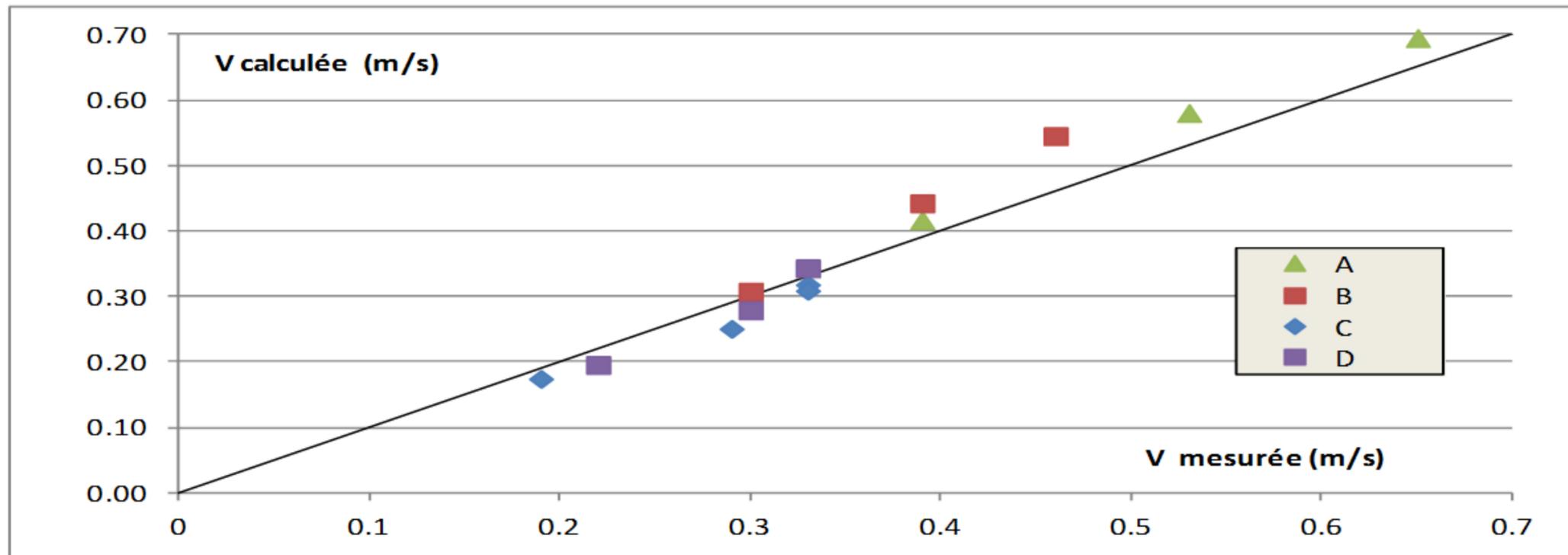


■ Fuites importantes

- ▶ Le débit utile représente de 70 à 95 % du débit extrait (torches neuves)
- ▶ Les torches les plus résistantes en terme de pertes de charge sont les plus « fuyardes »

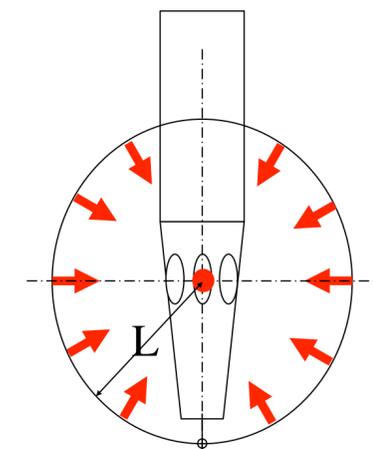


Banc d'essai : vitesse induite au point d'émission



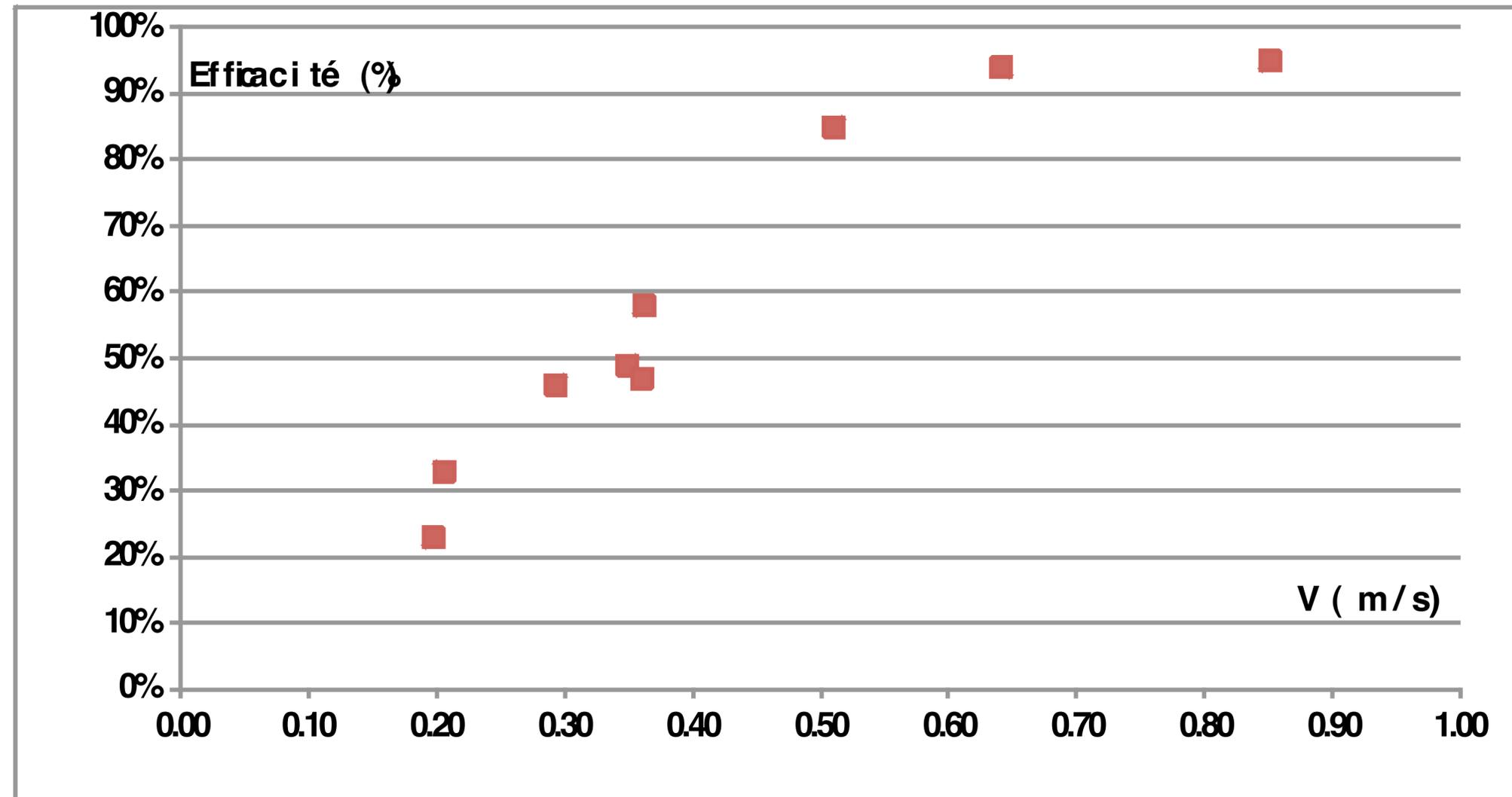
A,B,C,D types de torche

- ▶ Modèle satisfaisant (iso-vitesse sphère)
- ▶ Effet marginal de la géométrie du capteur sur la vitesse induite
- ▶ Variable explicative de l'efficacité de captage ?



$$V = \frac{Q}{4\pi L^2}$$

Banc d'essai : exemple d'évolution efficacité / vitesse

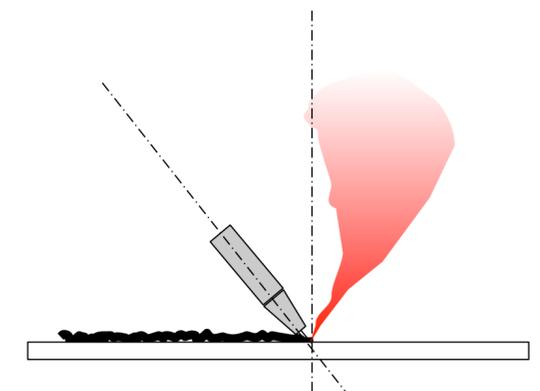
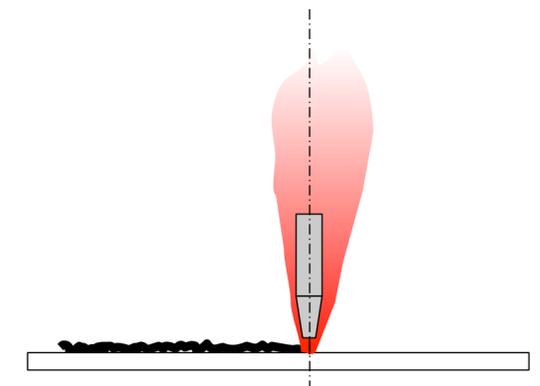
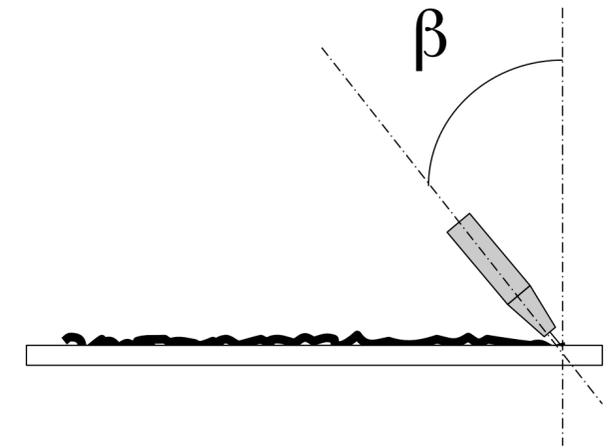
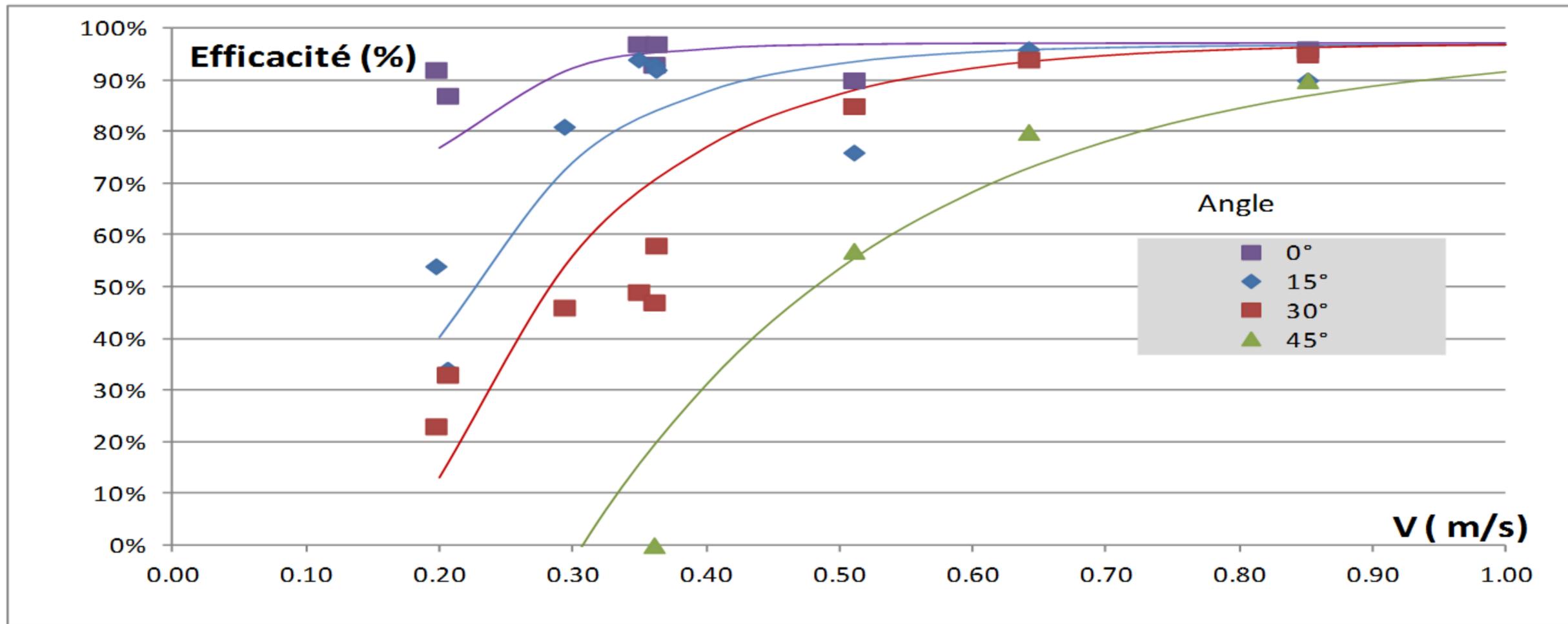


■ Résultats issus de 4 torches à différents débits

(Puissance 4.2 kW, angle 30°)

- ▶ la vitesse induite est logiquement une variable explicative
- ▶ cela limite la portée des arguments commerciaux (hors ergonomie et bruit)

Banc d'essai : influence de l'angle



■ Exemple à 4.2 kW

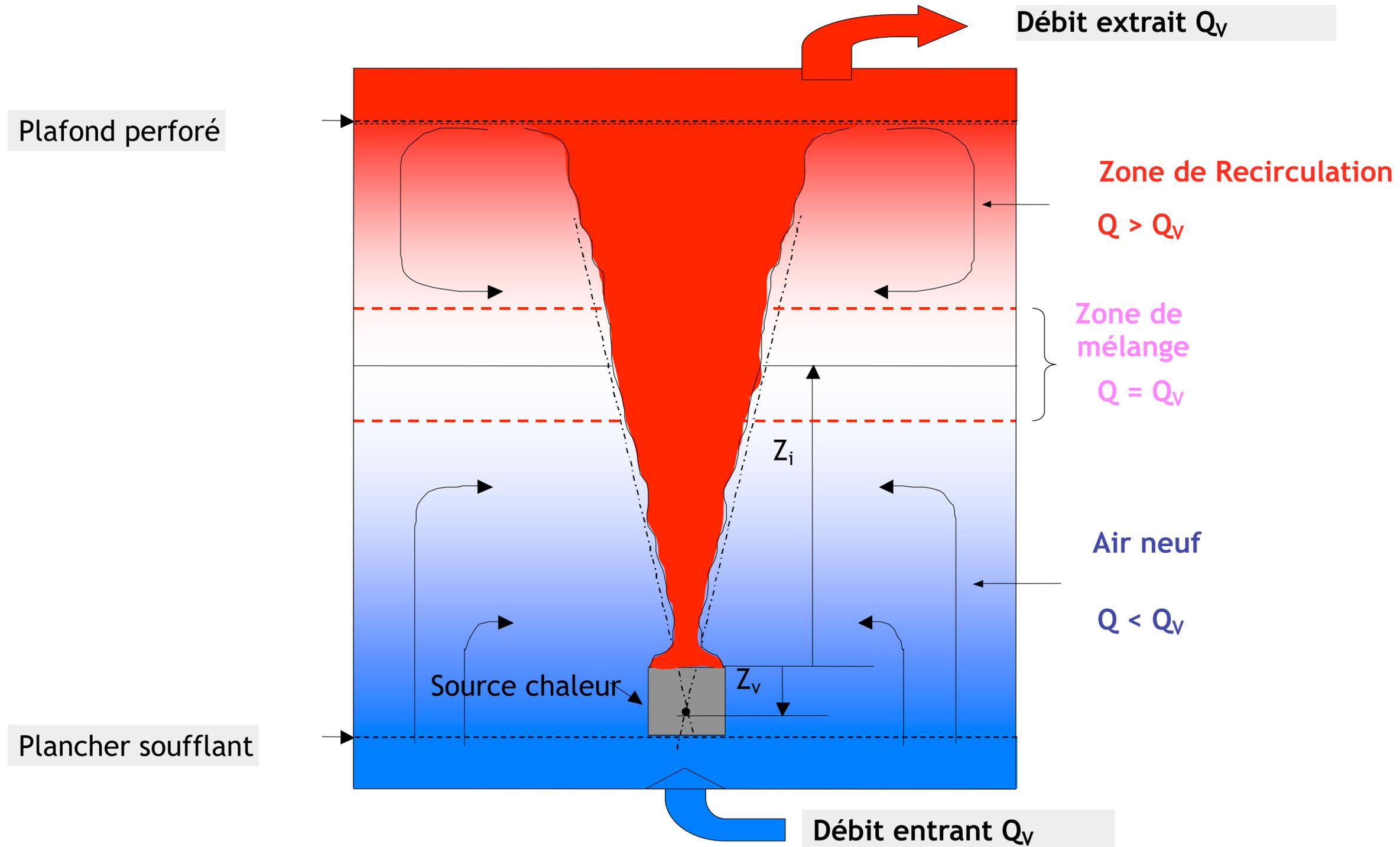
- ▶ à 0°, toutes les torches sont satisfaisantes
- ▶ quand $\beta \uparrow \eta \downarrow$:
 - > Soufflage des fumées par effet tangentiel du gaz de protection
 - > Les ouïes s'écartent du trajet des fumées

Panaches de sources thermales

Fontaine – Blaise - Bouzinaoui



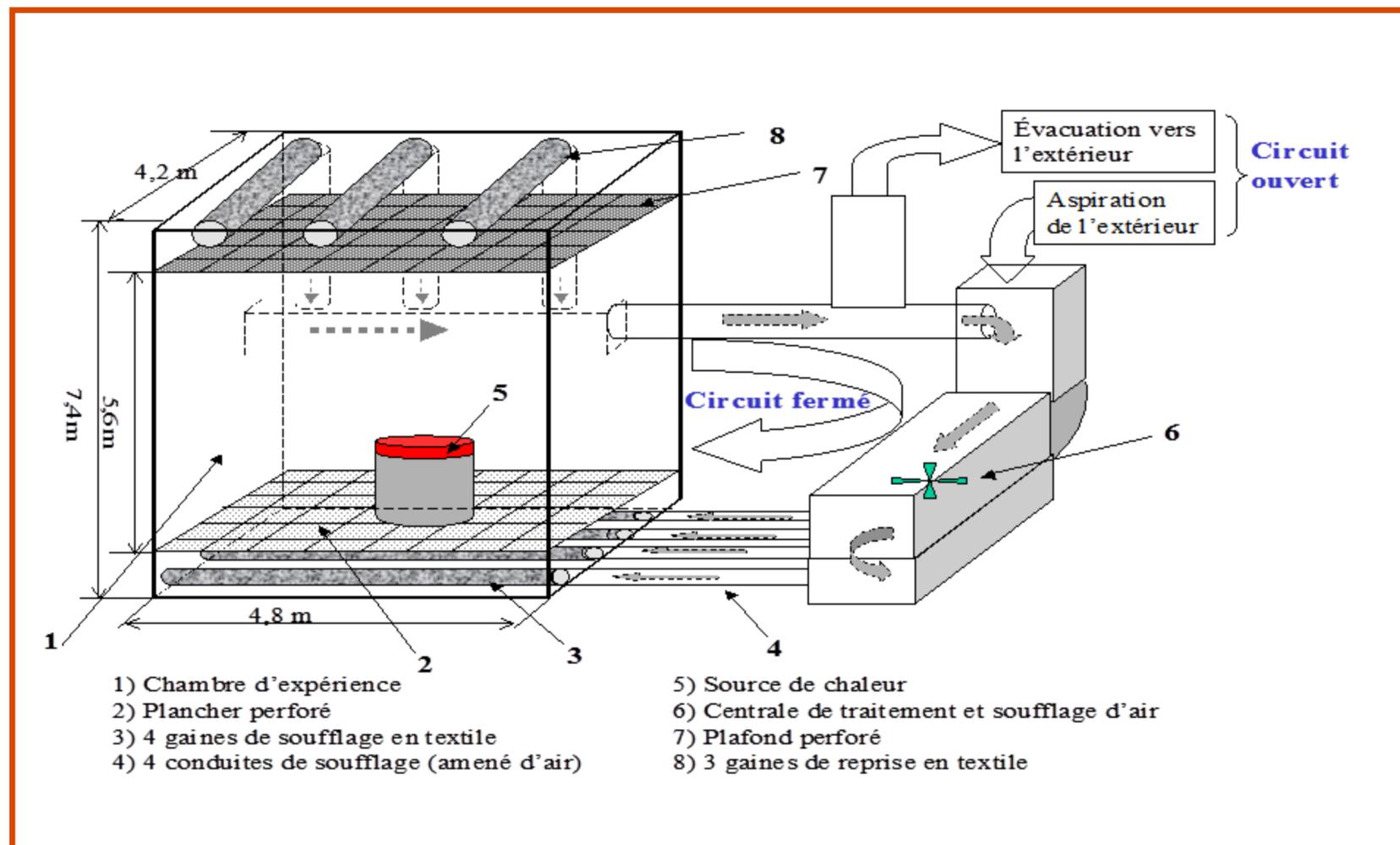
Panache thermique dans un local ventilé



Étude INRS sur les panaches

- **Développer une méthode pour caractériser les écoulements générés par des sources thermiques industrielles.**
 - ▶ **Caractériser les sources thermiques des procédés** : température de surface, puissance convectée, géométrie;
 - ▶ **Prévoir les écoulements de convection** en fonction des paramètres de la source : débit, rayon, température, vitesse.
- **Fournir des méthodes d'aide à la conception des systèmes de ventilation et de captage.**
 - > Outils simplifiés (lois d'échelle);
 - > Outils d'analyse sur site;
 - > Outils basés sur la simulation;

Méthode et moyens d'essais



Matériel et système de mesure

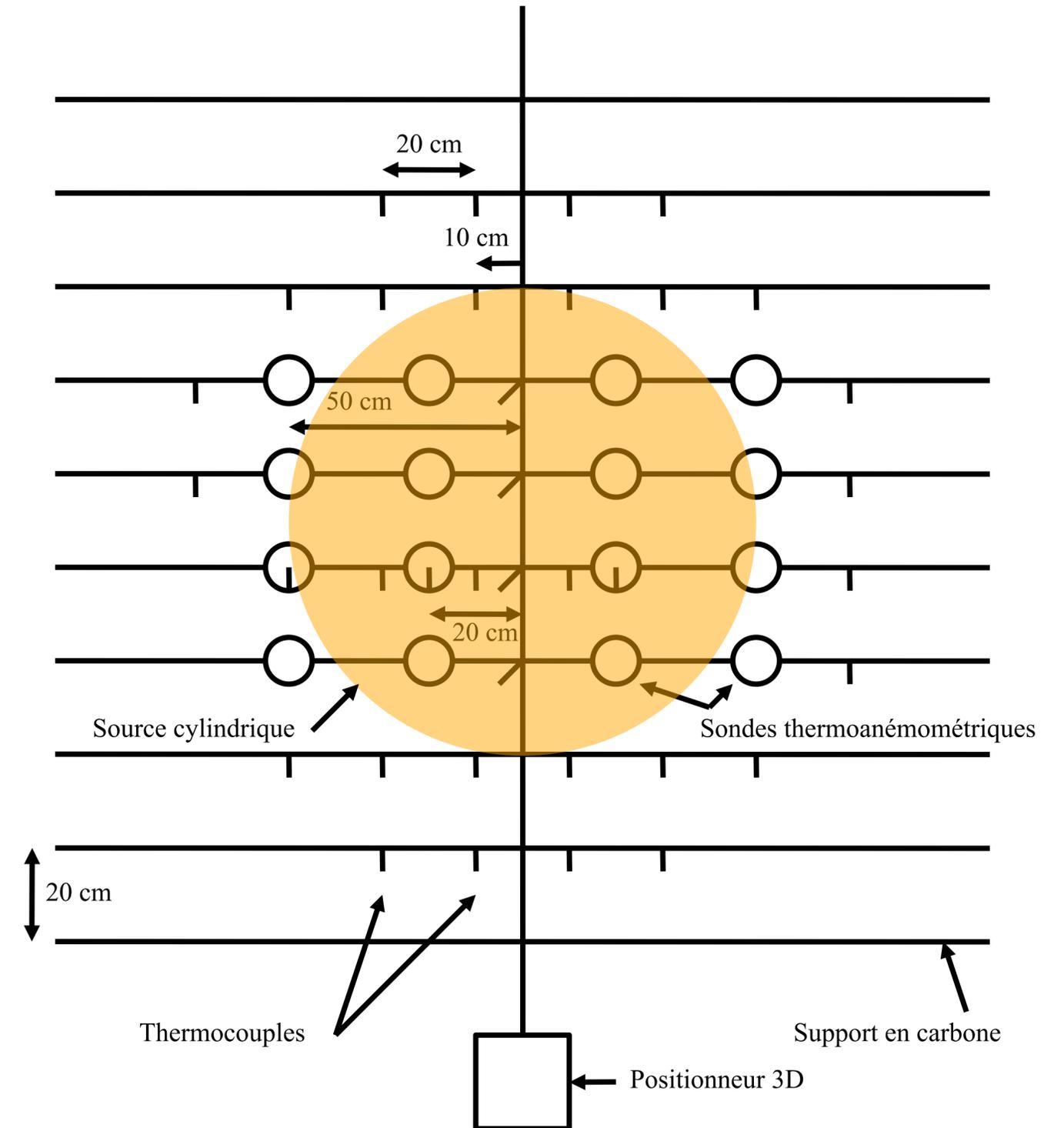
■ Système de mesure simultanée des températures et vitesses d'air

- ▶ 64 thermocouples
- ▶ 16 anémomètres thermiques

■ Matrice de positionnement des capteurs;

■ Source cylindrique modulable

■ Source rectangulaire (0,25 x 1,5 m²) à rapport d'aspect variable de 1,5 à 6.



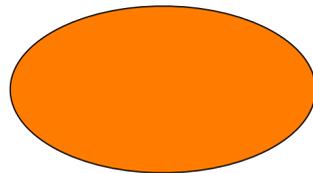
Type de sources élémentaires



Source ponctuelle



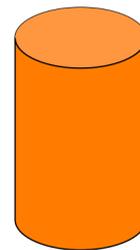
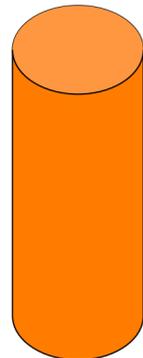
Source linéique



Disque



Rectangle de rapport d'aspect variable



Cylindre de rapport H/D variable

Sources thermiques modulables



Source rectangulaire de rapport d'aspect variable



Source cylindrique

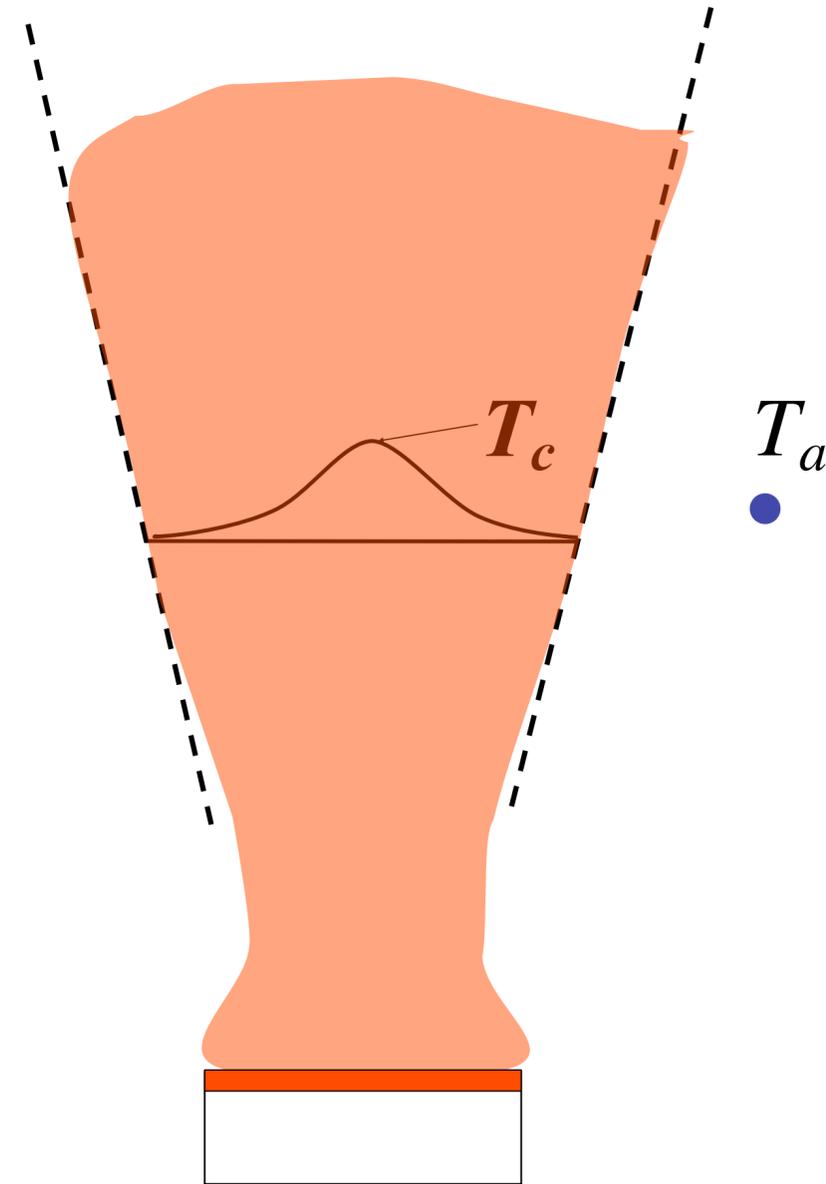
Caractérisation de panaches

$$\Delta T(x, y, z) = \Delta T_c(z) e^{-f(x, y)}$$

$$w(x, y, z) = w_c(z) e^{-f(x, y)}$$

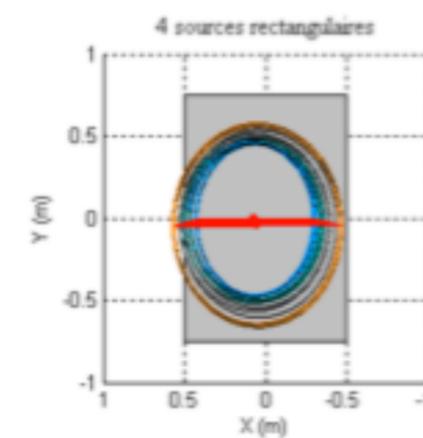
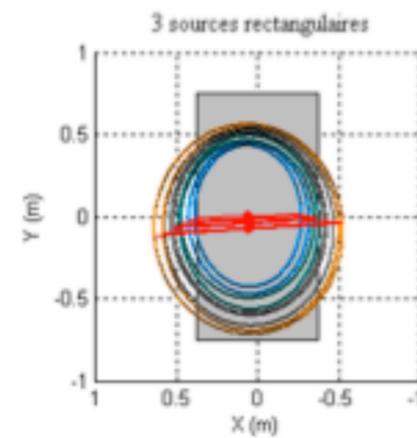
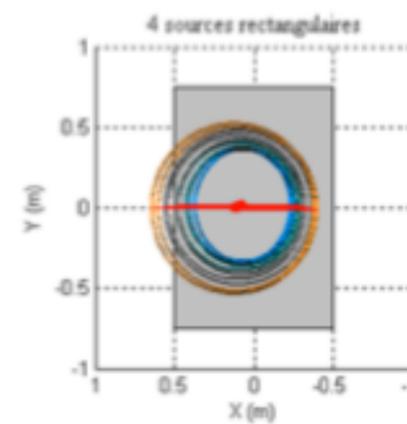
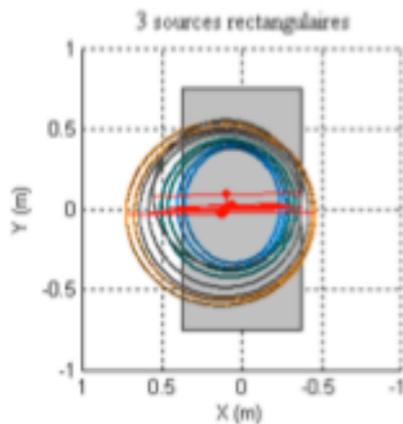
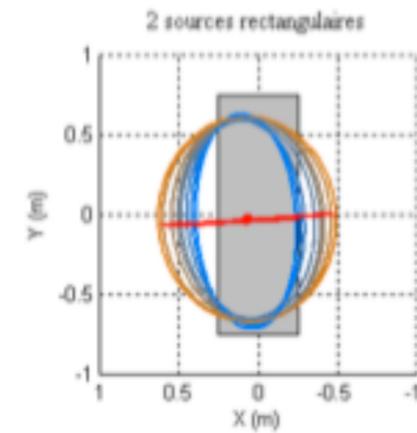
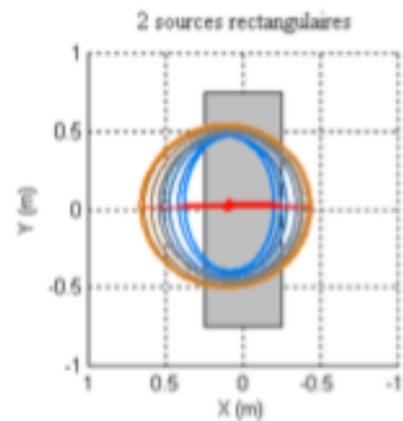
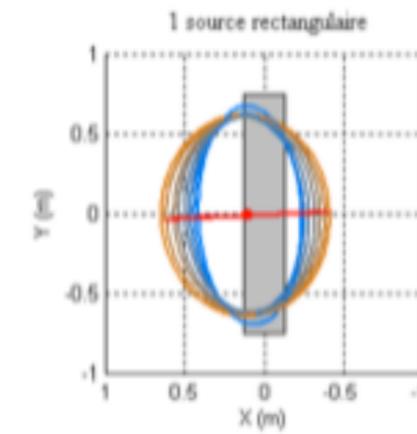
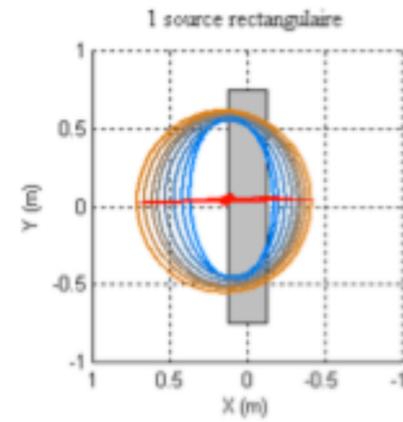
$$\Delta T(x, y, z) = T(x, y, z) - T_a$$

$f(x, y)$ ellipse de centre (x_0, y_0) et de demi-axes a et b



$$f(x, y) = (x - x_0)^2 \left(\frac{\cos^2 \theta}{a^2} + \frac{\sin^2 \theta}{b^2} \right) + (y - y_0)^2 \left(\frac{\sin^2 \theta}{a^2} + \frac{\cos^2 \theta}{b^2} \right) + (x - x_0)(y - y_0) \sin 2\theta \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)$$

Exemple – Sources rectangulaires



Modèles elliptiques gaussiens de distribution de température (isovaleurs $DT0(x)/e$)

Modèles elliptiques gaussiens de distribution de vitesse (isovaleurs $V0(x)/e$)

Débit de panaches – Modèles théoriques

$$Q_v = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} w dx dy = w_c(z) ab\pi \quad \longrightarrow \quad \text{Évaluation expérimentale}$$

$$Q(z) = 5.10^{-3} P_c^{1/3} (z - z_v)^{5/3} \quad \longrightarrow \quad \text{Modèle source ponctuelle}$$

$$Q(z) = 13.10^{-3} P_c^{1/3} (z - z_v) \quad \longrightarrow \quad \text{Modèle source linéique}$$

Application – Tonnelerie – Cintrage



■ Cintrage de tonneaux

- ▶ Présence de sources thermiques
- ▶ Génération de HAP

Captage des fumées – Cintrage de tonneaux

Conception de l'installation de captage par la Carsat du Nord-Est avec le logiciel PANTHER (INRS)



Débit de captage
50000 m³/h



Solution alternative
Captage et encoffrement

- **Polluants présents à l'intérieur de certains conteneurs :**
 - ▶ gaz de fumigation : phosphine, bromure de méthyle, dichloroéthane, etc.
 - ▶ vapeurs dégagées par les marchandises : toluène, benzène, formaldéhyde, etc.

- **Exposition possible du personnel à l'ouverture, à la pénétration et au dépotage des conteneurs**
 - ▶ dockers, douaniers, manutentionnaires des plates-formes logistiques ou des entreprises destinataires



Mise au point des techniques de ventilation

- **Mesures sur site par traçage (port du Havre)**
 - injection d'un gaz traceur (SF6) dans le conteneur
 - temps d'homogénéisation
 - suivi ponctuel de concentration lors du dégazage

- **Simulations numériques à l'aide d'un logiciel de CFD**
 - calcul en transitoire des écoulements et du transport du polluant
 - concentration interne uniforme au temps initial
 - validation expérimentale

Conteneurs étudiés

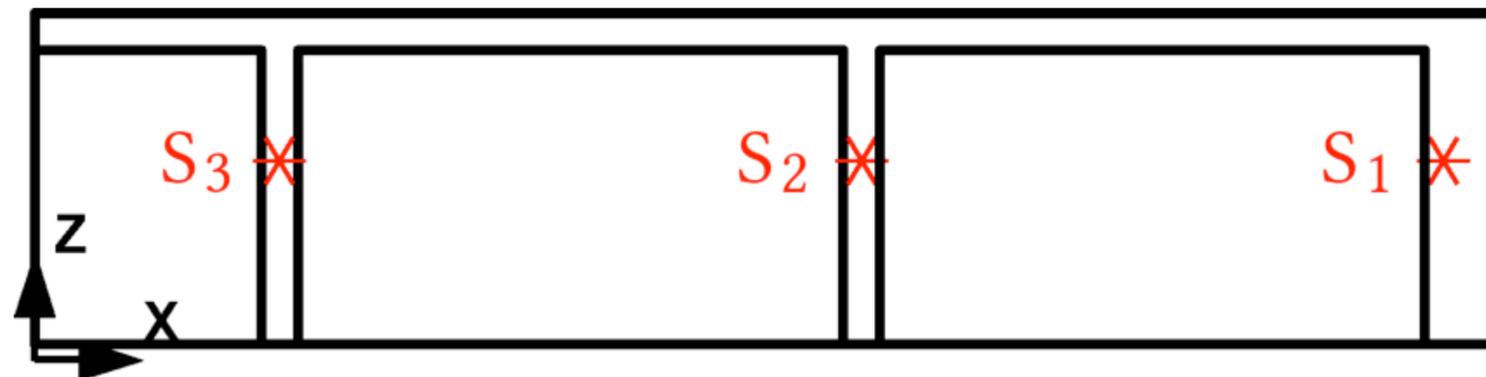
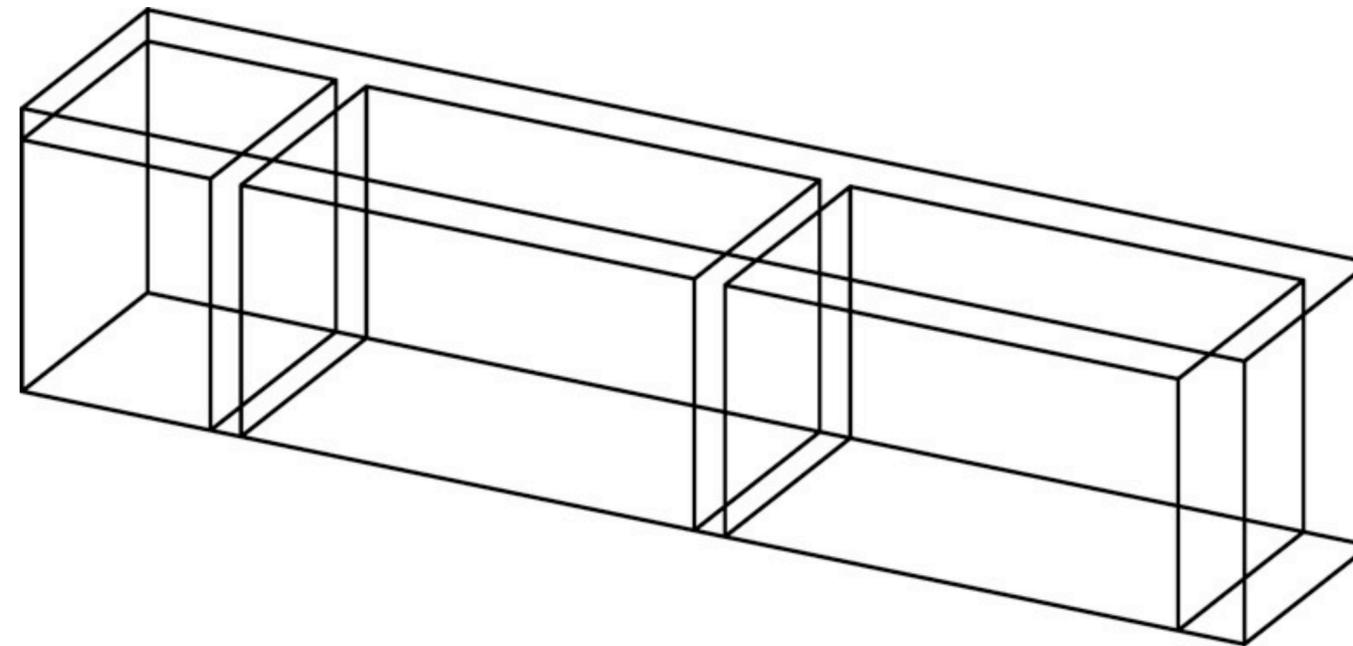
- **Étude des deux tailles les plus couramment utilisées :**
 - "40 pieds" : longueur = 12 m ; volume = 78 m³
 - "20 pieds" : longueur = 6 m ; volume = 35 m³
- **Trois taux de remplissage : conteneur rempli, semi-rempli et vide**
- **Le conteneur 12 m est placé perpendiculairement à un hangar situé à 5,5 m de la porte avant**



Schéma du conteneur 12 mètres, rempli

Longueur = 12 m ; largeur = 2,4 m ; hauteur = 2,7 m

Taux de remplissage = 79,6 %

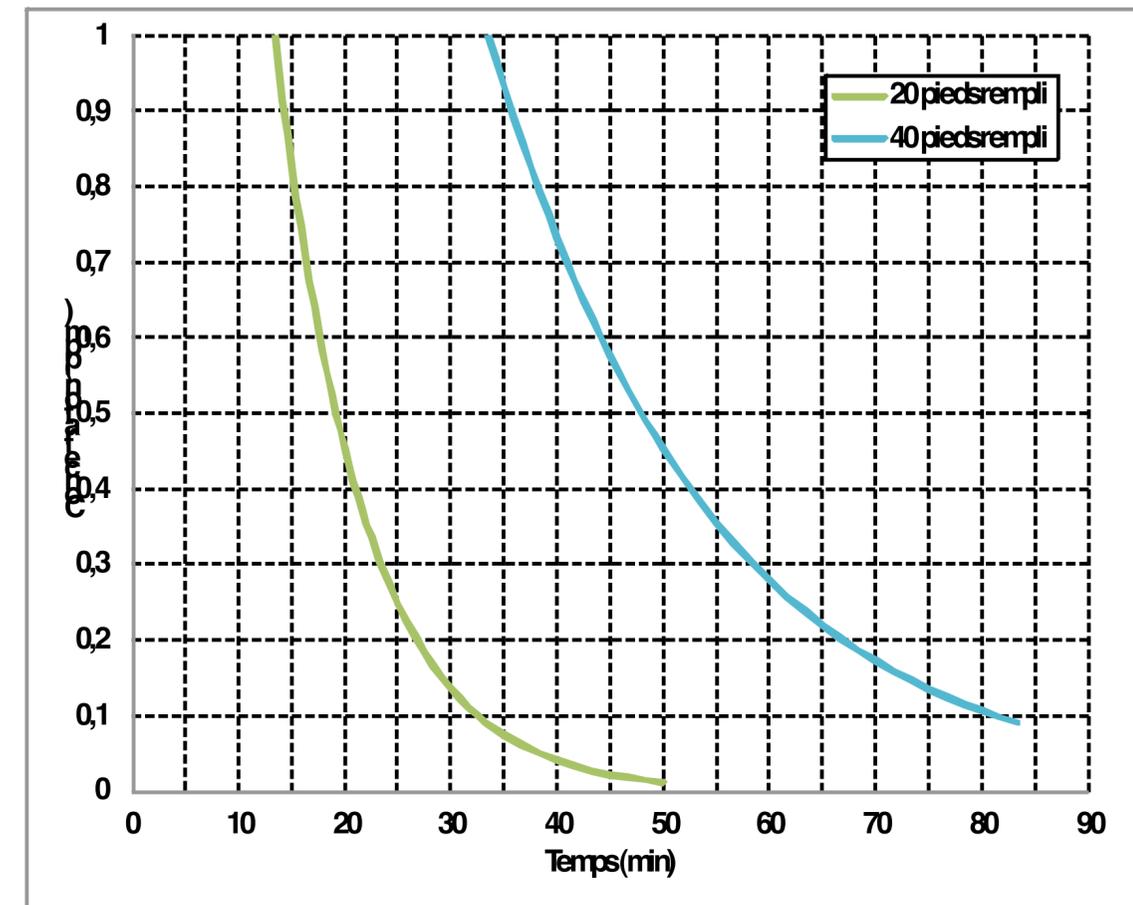
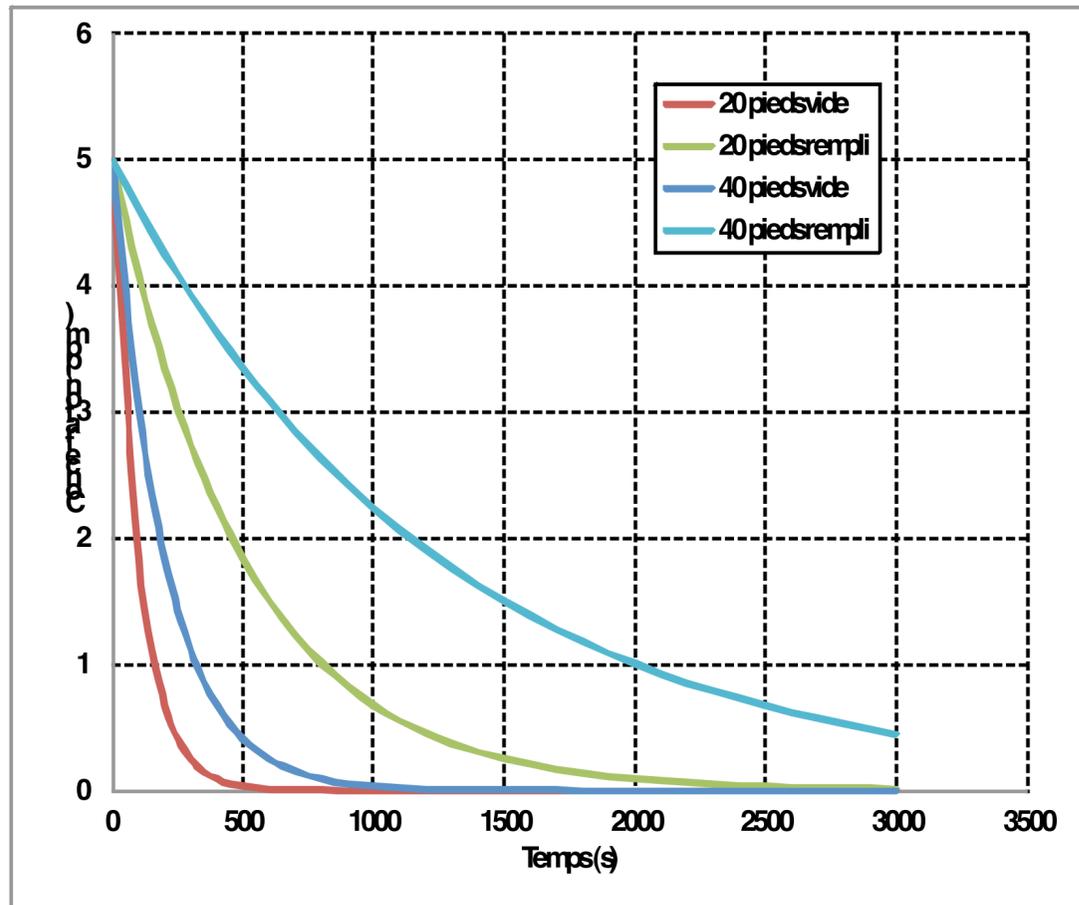


Trois techniques de dégazage étudiées

- **Ventilation naturelle** : par ouverture de la porte du conteneur
- **Ventilation mixte** : ouverture de la porte + introduction ou extraction d'air mécanique à l'arrière du conteneur
- **Ventilation mécanique forcée** : porte fermée ; introduction et extraction d'air au travers d'orifices ménagés dans les parois du conteneur
- **Temps de décontamination** : intervalle de temps après lequel la concentration en traceur ne dépasse plus le dixième de la concentration initiale

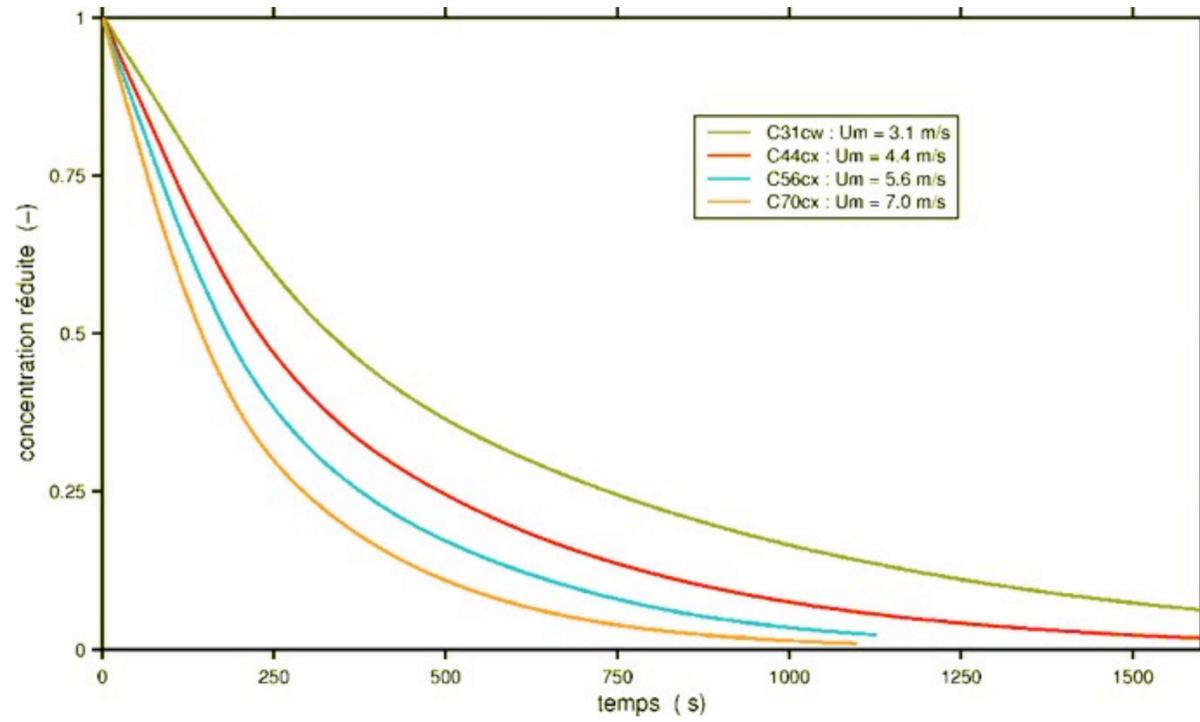
Ventilation naturelle – Paramètres influents

Influence du volume et du taux de remplissage

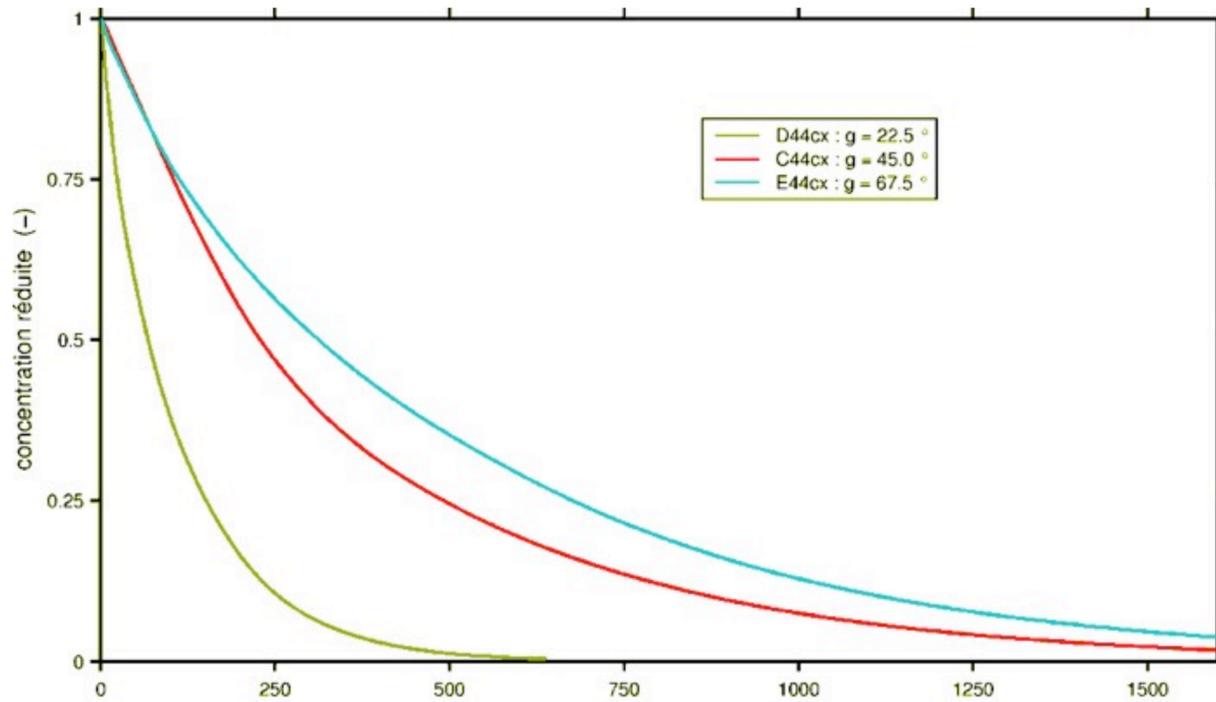


		40 foot - t_{10}	
		empty	full
sec		461	2878
min		8	48

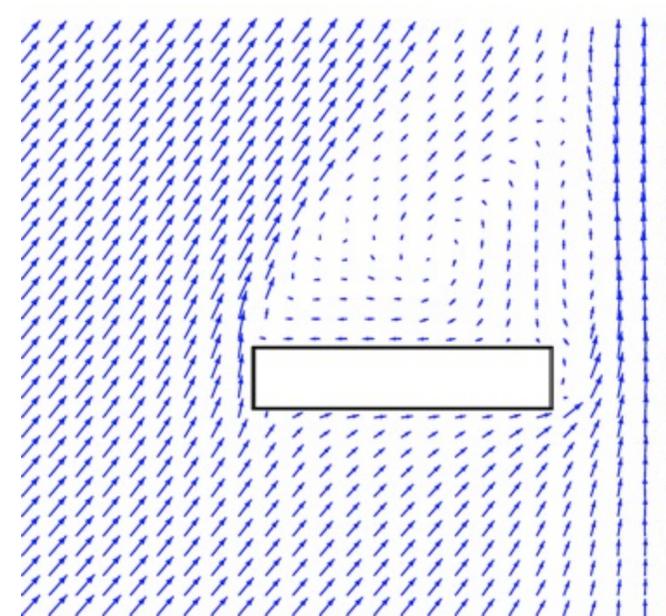
Ventilation naturelle – Paramètres influents



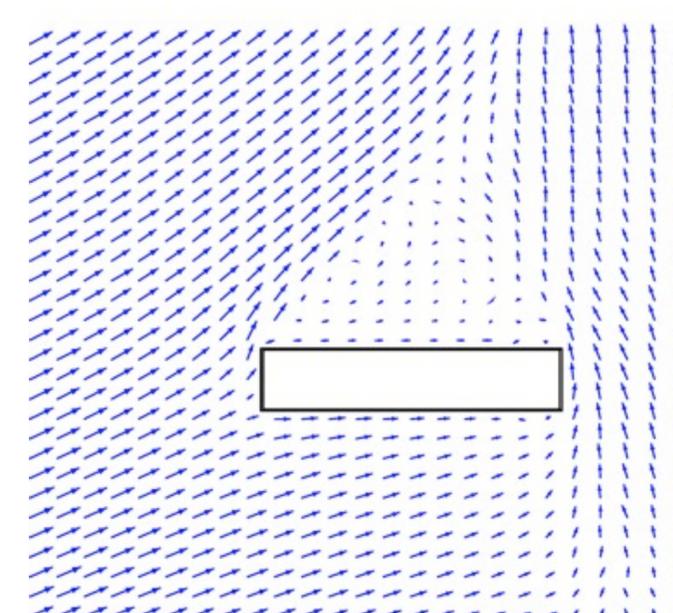
Vitesse du vent



Orientation du vent



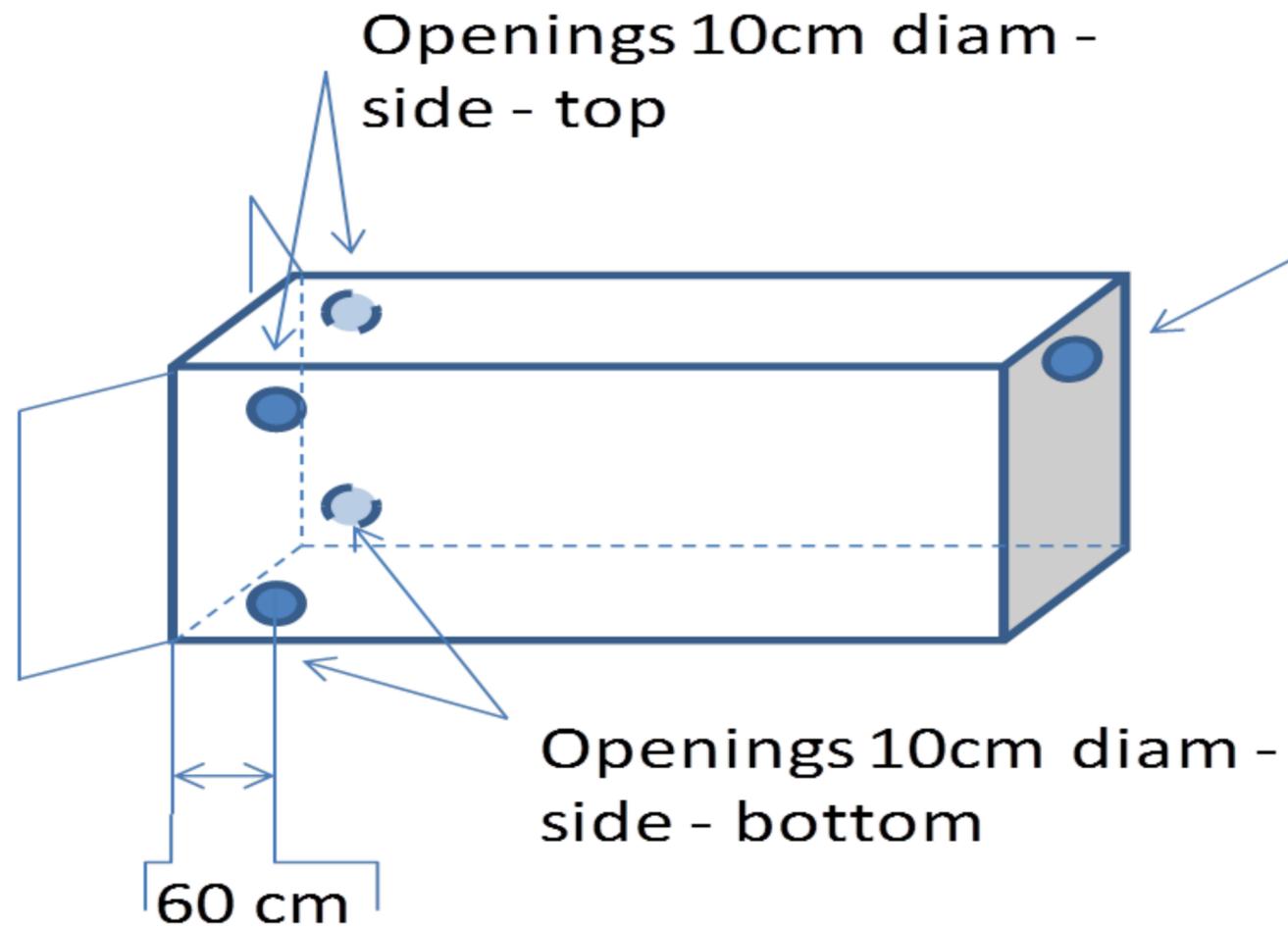
45°



22°

Ventilation mixte et forcée

Ventilation mixte et forcée dans un conteneur de 40 pieds



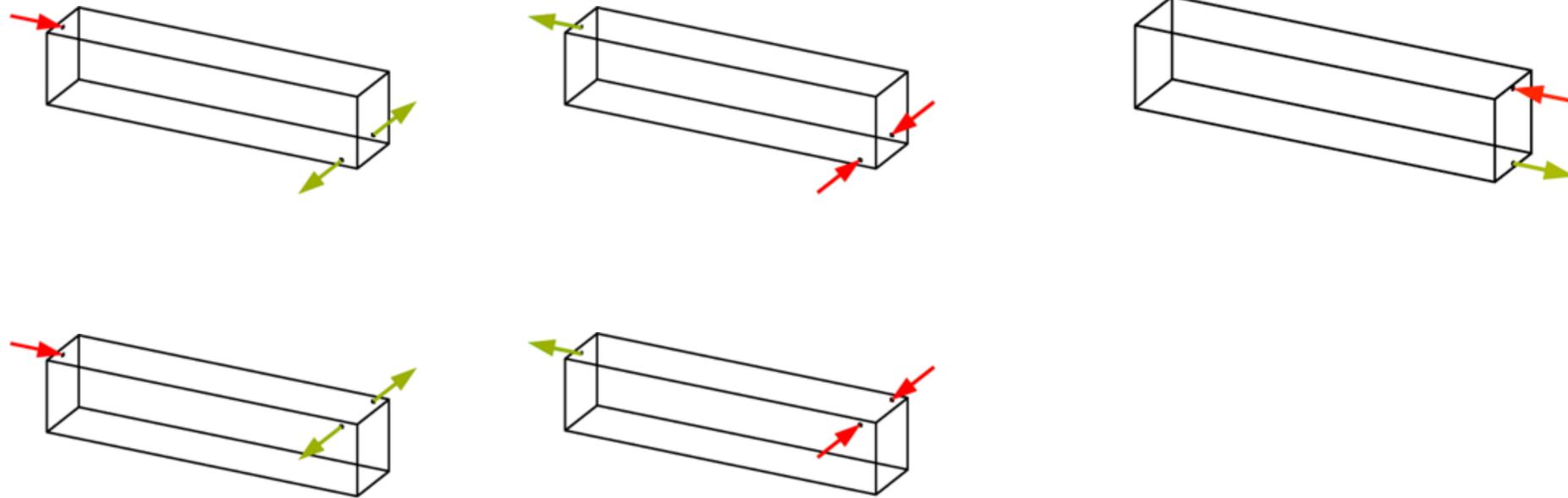
Opening 10cm diam - back



- **Combinaison de l'ouverture de la porte du conteneur avec une introduction ou extraction d'air mécanique à l'arrière du conteneur**
- **Nette amélioration de la vitesse de dégazage par rapport à la ventilation naturelle.**
Diminution du temps de décontamination:
 - ventilation naturelle : 1974 à 2814 secondes
 - ventilation mixte : 244 à 775 secondes
- **Une extraction d'air au fond du conteneur permet d'assurer un dégazage plus rapide qu'un apport d'air dans cette zone**

Ventilation forcée

- Porte fermée
- Conteneur de longueur 12 mètres rempli
- Introduction et extraction d'air au travers d'orifices ménagés dans les parois du conteneur
- Différentes combinaisons d'orifices d'entrée et de sortie d'air ont été testées



Ventilation forcée – Résultats principaux

- Temps de décontamination réduit d'au moins un **facteur 2** par rapport à la ventilation naturelle
- Une introduction d'air par l'orifice arrière plutôt que par les orifices latéraux permet de diminuer les durées de décontamination d'un **facteur 1,4 à 2,1**
- L'influence de la position de l'introduction d'air peut être reliée aux caractéristiques des écoulements à l'intérieur du conteneur et en particulier à l'intensité des vitesses d'air dans le volume supérieur libre du conteneur

