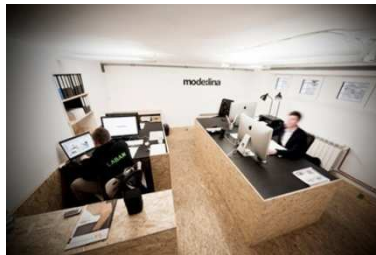




Etude de la Qualité de l’Air Intérieur dans les bâtiments tertiaires : Application aux risques chroniques pour les salariés de bureaux

Impact de la ventilation des espaces de bureau sur la qualité de l'air intérieur : **développement d'une cabine d'essais instrumentée**



Laurence ROBERT – Bruno GALLAND

Institut **N**ational de **R**echerche et de **S**écurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

- **Association loi 1901**
- Sous l'égide de **la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés : CNAM-TS**
- Orientation de la branche AT-MP

■ **Nos MISSIONS**

Contribuer à la **prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles** en déployant des activités de **recherche, d'assistance, de formation et d'information**, pour :

- **Identifier les risques** professionnels et mettre en évidence les dangers
- Analyser **leurs conséquences pour la santé et la sécurité** de l'homme au travail
- Développer et promouvoir les moyens pour maîtriser ces risques au sein des entreprises

Pourquoi la problématique de la Qualité de l'Air Intérieur à l'INRS ?

Evolution sociétale

- ▶ **Tertiarisation des emplois** : près de 76 % des salariés français
- ▶ Estimation du nombre de **salariés occupant un bureau** : 10 millions
- ▶ Temps moyen au travail : 7 à 8h00



Augmentation du temps passé en espaces intérieurs

Evolution du bâti

- ▶ Isolation des bâtiments
- ▶ Augmentation des niveaux de **confinement** et d'**étanchéité**
- ▶ Apparition de **nouveaux matériaux de construction** et d'**ameublement**



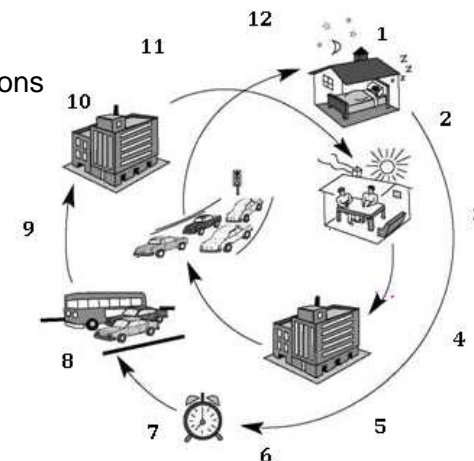
Dégradation de la qualité de l'air intérieur

Contexte sanitaire

- ▶ On inhale chaque jour environ 12 000 l soit **15 kg d'air**
- ▶ **Les alvéoles pulmonaires** représentent **80 à 100 m²** de surface de contact
- ▶ **Méconnaissance** des polluants, de leur concentration, de l'exposition des salariés et de leur effet



Air : besoin vital ayant un impact majeur



Sans AIR
3 minutes



Sans EAU
3 jours

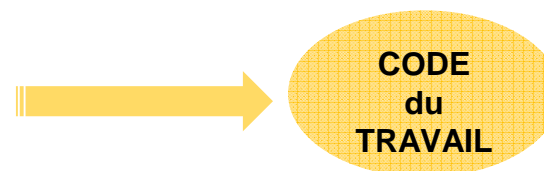


Sans manger
30 jours

Le rôle de la ventilation des locaux à pollution non spécifique?

Rôle de la ventilation

- ▶ Satisfaire le confort de l'utilisateur
- ▶ Eviter tout risque pour sa santé
- ▶ Assurer la pérennité du bâti
- ▶ Contexte énergétique à considérer



Règlement en date de 1978

code du travail

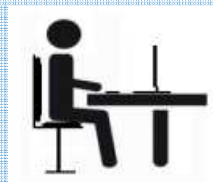
⇒ Air neuf à introduire **25 m³/h/pers**
si ventilation mécanique (**7 l/s/pers**)

⇒ Ouverture des ouvrants : **15 m³**
(ventilation naturelle)

Estimation

émissions de l'homme et seuil de 1000
ppmv CO₂

Les réels besoins de l'homme



< 1 m³/h/pers

Estimation

cycles respiratoires et le volume moyen
d'air inspiré

Consensus scientifique

⇒ Consensus scientifique minimum
10 l/s/pers soit **36 m³/h/pers** →
minimiser les risques de santé

Estimation

Prise en compte des émissions des
matériaux

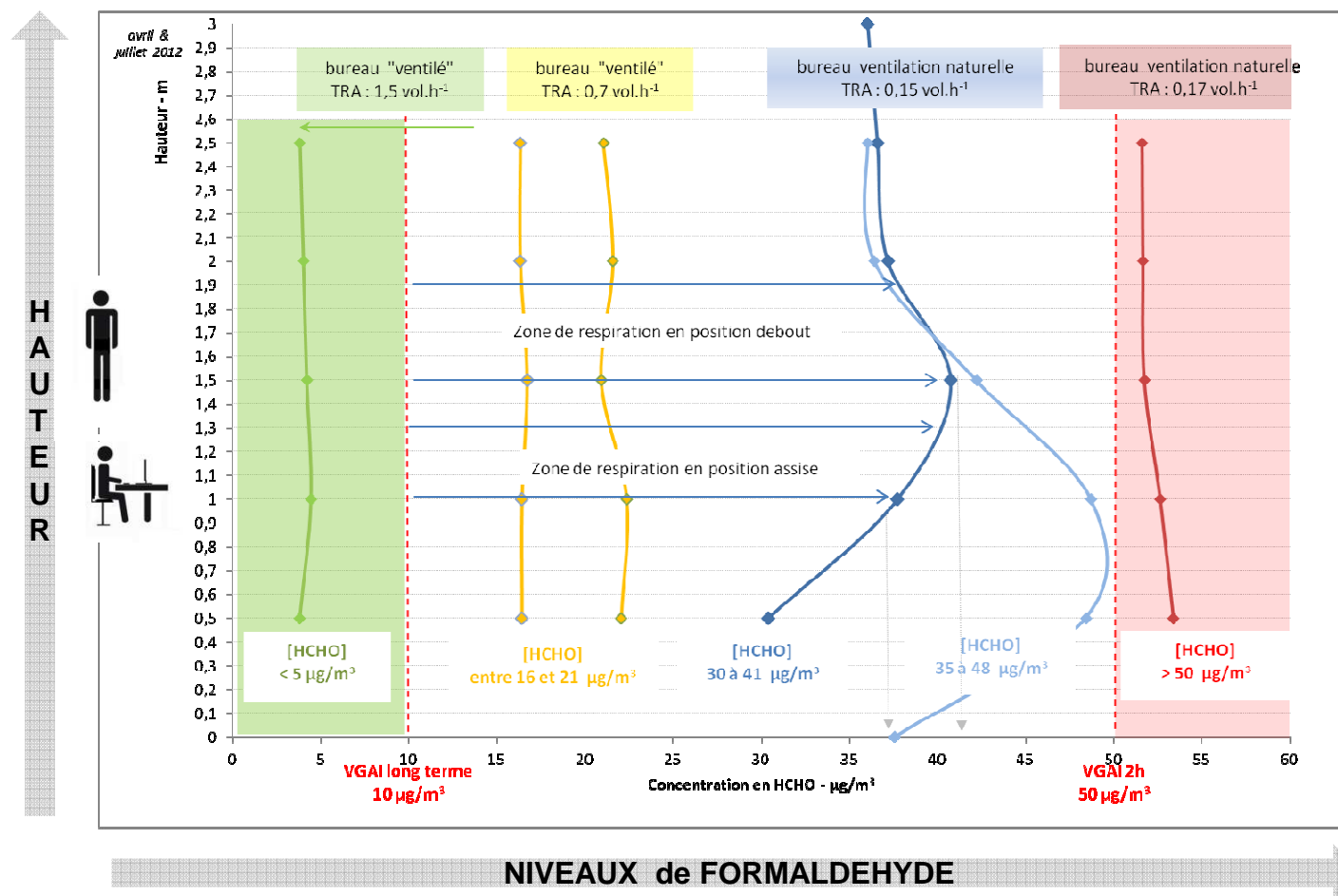
Proposer une approche performentielle de la ventilation pour améliorer la qualité de l'air respiré par

les salariés de bureaux

⇒ Essais préliminaires réalisés en bureaux



Gradients verticaux de formaldéhyde dans différents bureaux au poste de travail



⇒ Impact significatif de la ventilation sur le niveau global de formaldéhyde

5 à 20 µg/m³ bureau ventilé contre 30 à plus de 50 µg/m³ bureau confiné

⇒ Adaptation aéraulique d'une cabine au fonctionnement d'un bureau



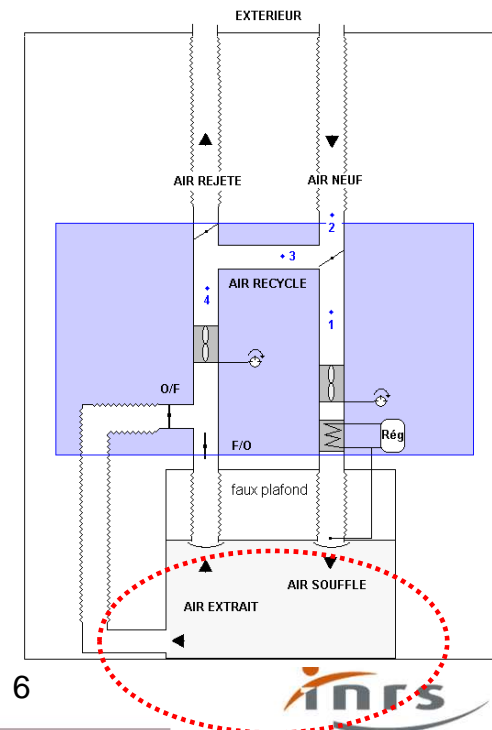
Structure de la cabine

- ▶ Localisation dans un hall d'essai
- ▶ Surface au sol : 20 m²
- ▶ Parois métalliques : inertes
- ▶ Mise en place du faux plafond modulable
- ▶ Volume : 48 m³



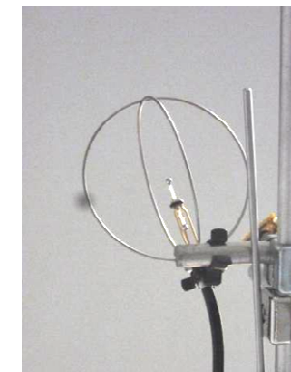
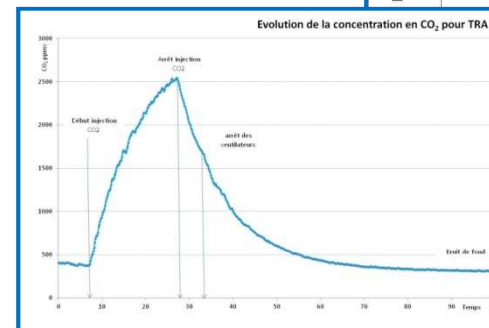
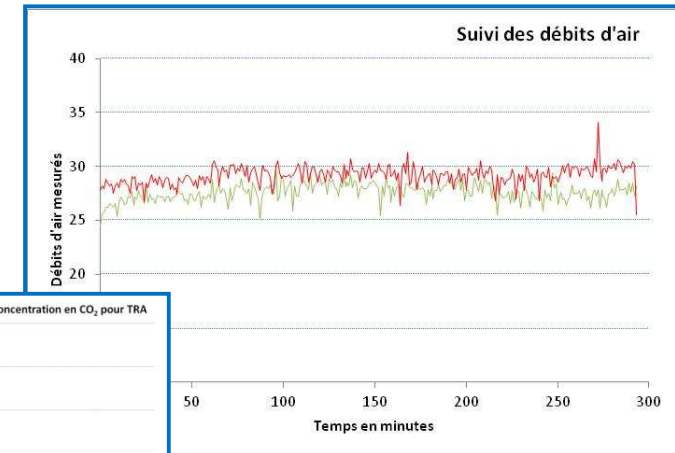
Aéraulique : définition et mise en place

- ▶ 3 Réseaux d'air indépendants du hall
- ▶ Modularité des débits et des configurations de ventilation
- ▶ Gamme de débits de 25 à 200 m³/h
- ▶ Contrôle et régulation de la température de soufflage
- ▶ Localisation des bouches de soufflage et de reprise : modulable



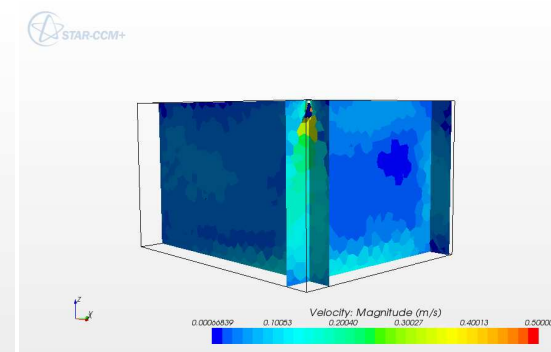
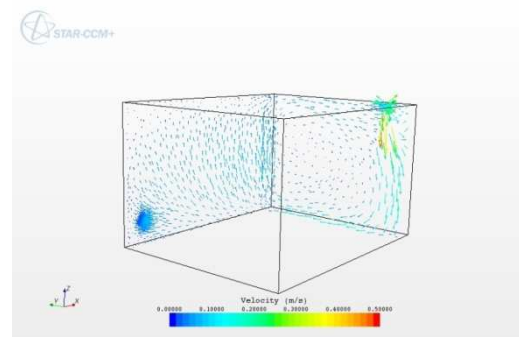
Contrôle des paramètres thermo-aérauliques

- ▶ **Les débits** : soufflé, extrait et recyclé
 - ⇒ Utilisation de **diaphragmes et manomètres**
- ▶ **Taux de renouvellement d'air**
 - ⇒ **Traçage** au CO_2
- ▶ **Contrôle de la température, humidité et pression**
 - ⇒ **Thermocouples PT100** , **sondes capacitives** et **manomètre**
- ▶ **Contrôle de la vitesse d'air** dans la cabine
 - ⇒ Utilisation de **16 sondes à sphères chaudes compensées**
Modèle 54T34 DANTEC – Gamme 0,05 à 1 m/s



Complément par outil numérique

- ▶ Simulation sur STAR CCM +



⇒ Validation d'un système de métrologie pour la QAI



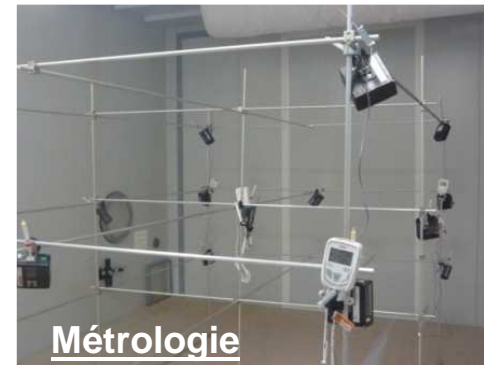
Matériau source

Panneau de bois aggloméré



Indicateur suivi

Formaldéhyde



Métrologie

- ▶ support DNPH + HPLC
- ▶ Prélèvement dynamique : 1 l/min
- ▶ durée : 7 heures



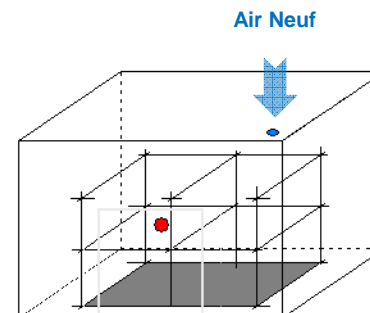
Aéraulique

- ▶ TRA identique : **0,5 vol/h**
- ▶ débit air neuf identique : 25 m³/h
- ▶ configurations de **soufflage** différentes
- ▶ configurations de **reprise** différentes

Configuration 1



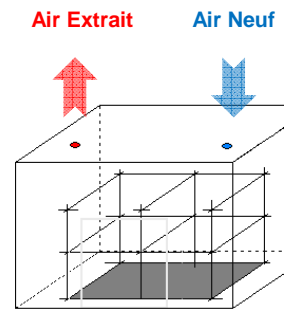
- ▶ Soufflage par grille (DN160)
- ▶ Jet vertical unidirectionnel
- ▶ Sortie de l'air : libre (DN 100)



Configuration 2



- ▶ Soufflage par grille (DN160)
- ▶ Jet horizontal omnidirectionnel
- ▶ Air extrait mécaniquement

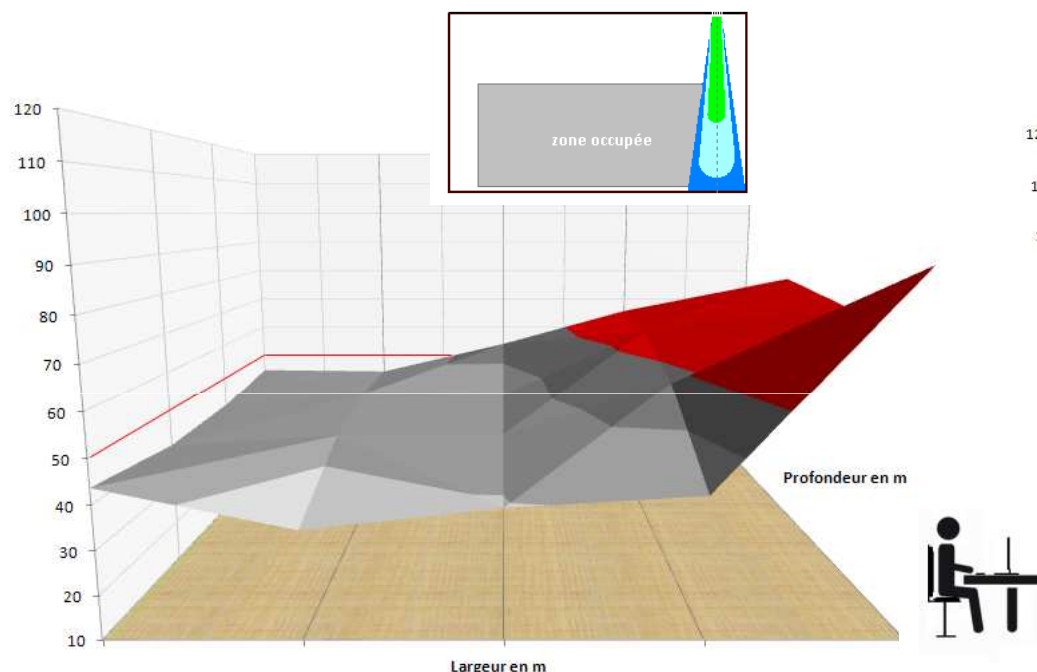


⇒ Concentrations de formaldéhyde mesurées dans le plan des voies respiratoires en position assise

Configuration 1



► Jet vertical unidirectionnel

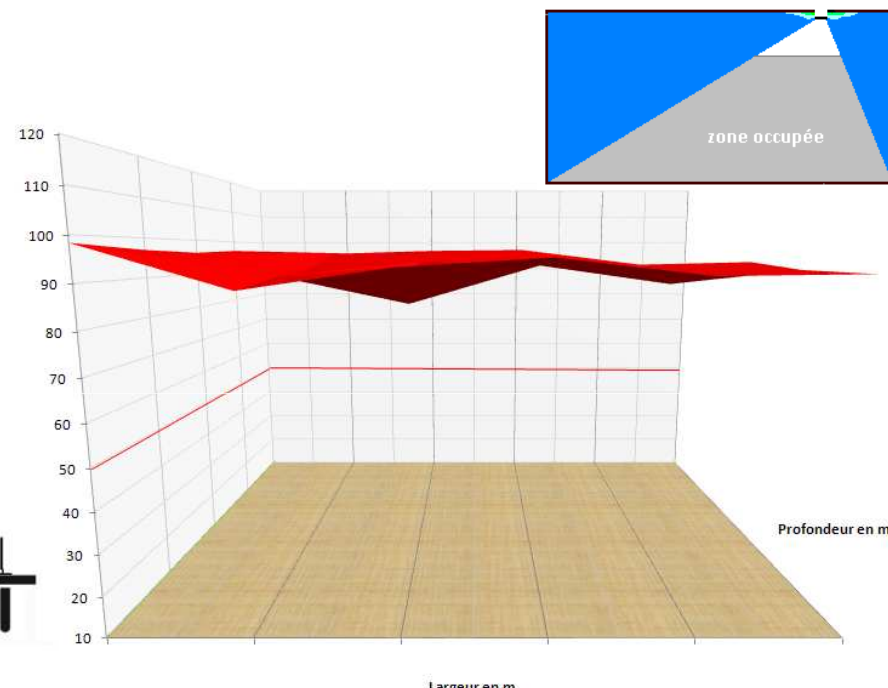


Concentration moyenne	53,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Plage de valeurs	30 – 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hétérogénéité	

Configuration 2



► Jet horizontal omnidirectionnel

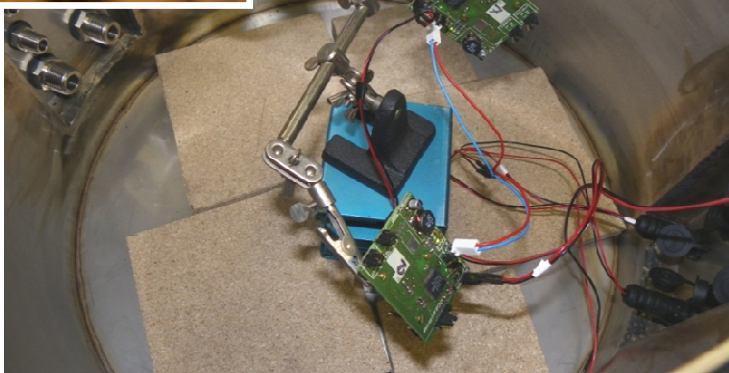
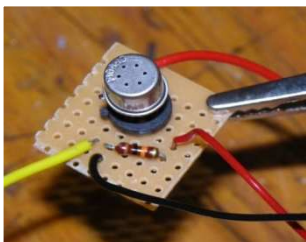
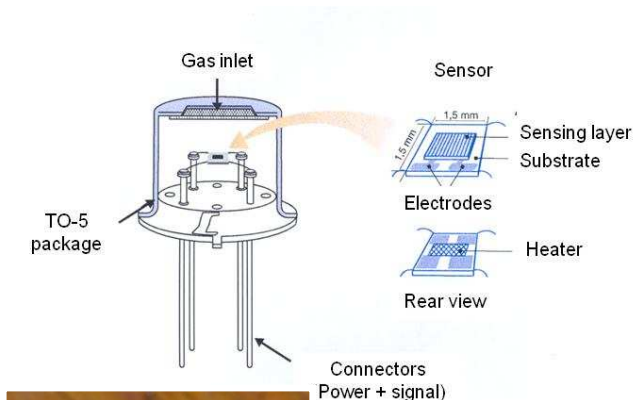


Concentration moyenne	93,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Plage de valeurs	85 – 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Homogénéité	

► Méthode ne permettant pas de relier en temps réel un phénomène aéraulique à une évolution d'un indicateur de qualité de l'air choisi

⇒ Développement d'un réseau de capteurs

Etape 1 - faisabilité en laboratoire



► Capteurs à oxyde métallique : **COV totaux**

► Principe

Proportionnalité entre la quantité de molécules adsorbées en surface et la conductivité électrique de la couche sensible

Présence d'un élément chauffant assurant la désorption des polluants et contribuant au bon temps de réponse des capteurs.

← Prototypes

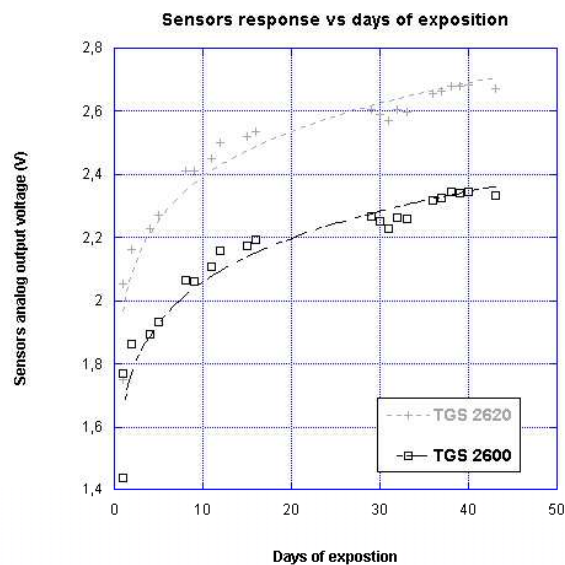
- TGS 2600 et TGS 2620 FIGARO
- Alimentation stabilisée METRIX AX 503
- Enregistrement multimètre PROVA 803

Enceinte inox de 42,5 l →

- Durée : **43 jours**
- échantillons d'aggloméré
- Pompe de purge Vacubrand ME1C

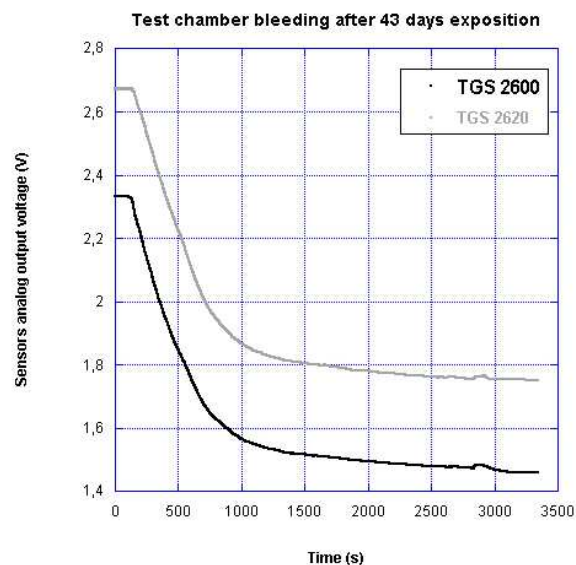
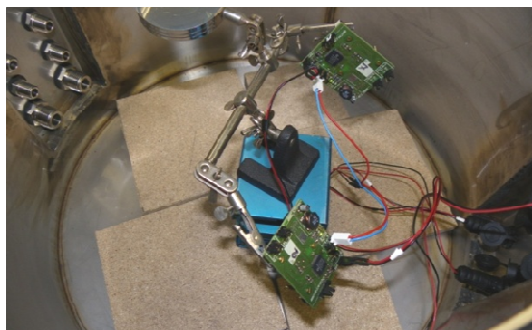


⇒ Développement d'un réseau de capteurs

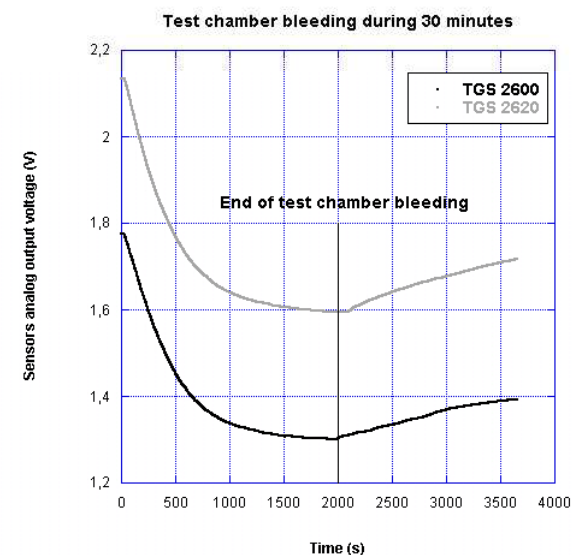


- Capteurs non sélectifs
- Indicateur de QAI : COV totaux
- qualification des polluants : non envisageable
- Etude comparative

Emission du matériaux sur plusieurs dizaines de jours



réponse à une sollicitation de type purge d'air

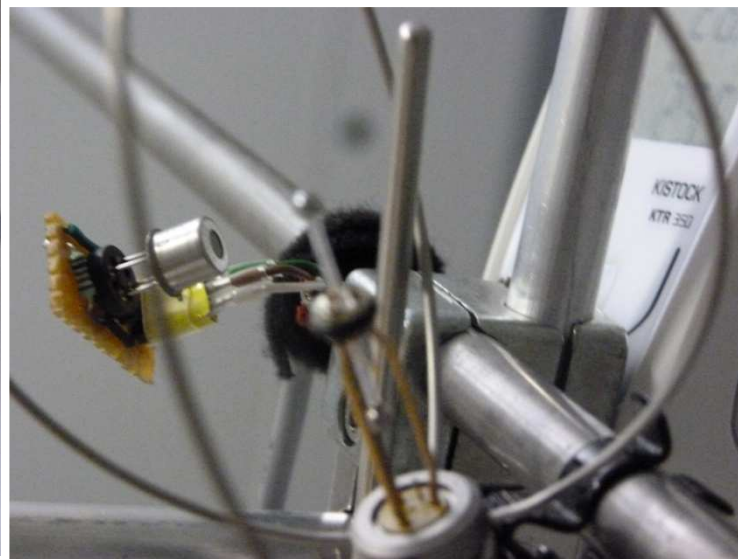
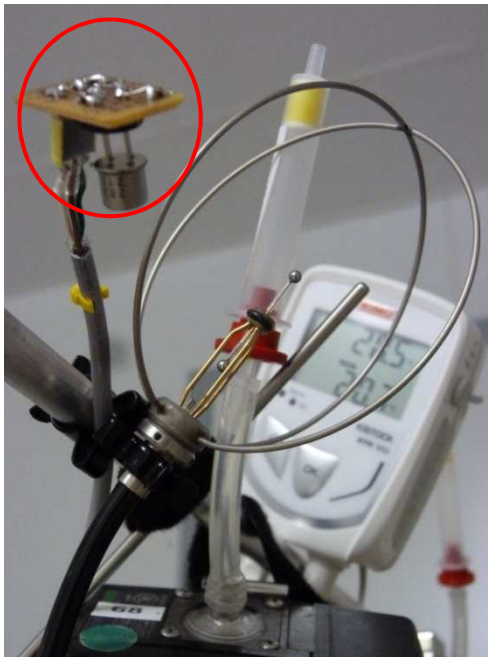


réactivité de la réponse

Etape 2 - faisabilité in situ

► Installation d'un réseau de 8 capteurs COV tot dans la cabine

- Alimentation stabilisée KERT (5 V_{DC}).
- Enregistrement en continu des tensions sur une carte d'acquisition Measurement Computing USB1608FS reliée à un PC de contrôle.



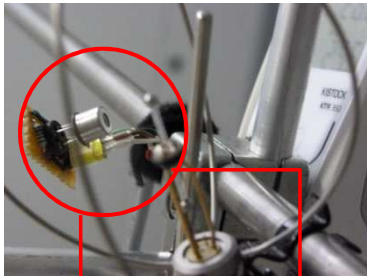
• Mesures associées

vitesse d'air, températures et humidité

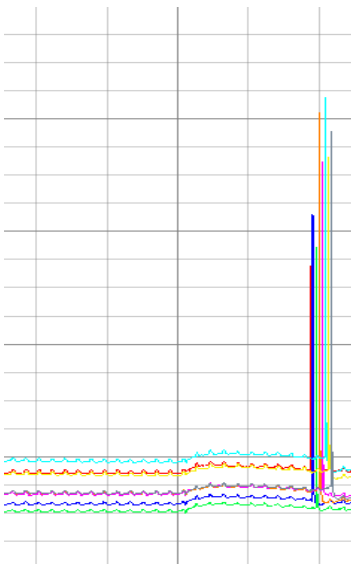
⇒ Validation d'un système de métrologie pour la QAI

► Résultats préliminaires : Réponse des capteurs à une sollicitation

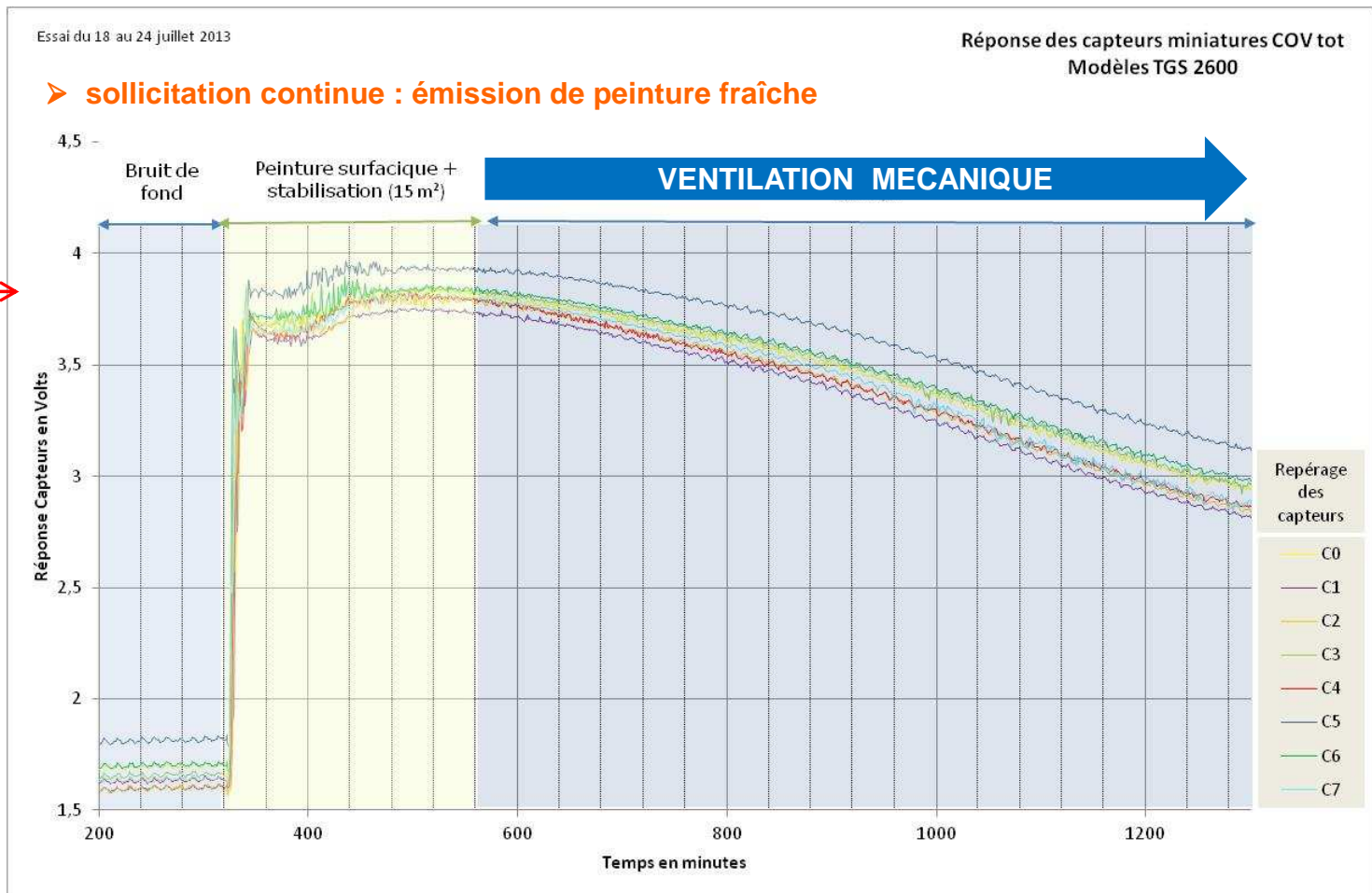
Configuration 2



► sollicitation ponctuelle type solvant



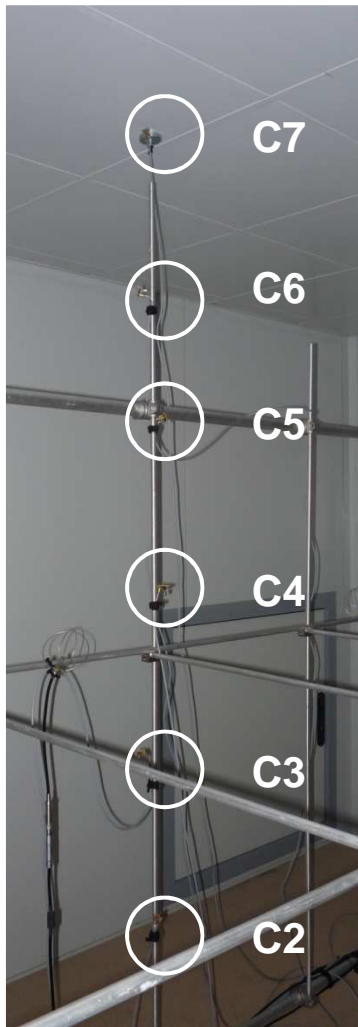
► réseau de 8 capteurs COV tot dans le plan horizontal (voies respiratoires)



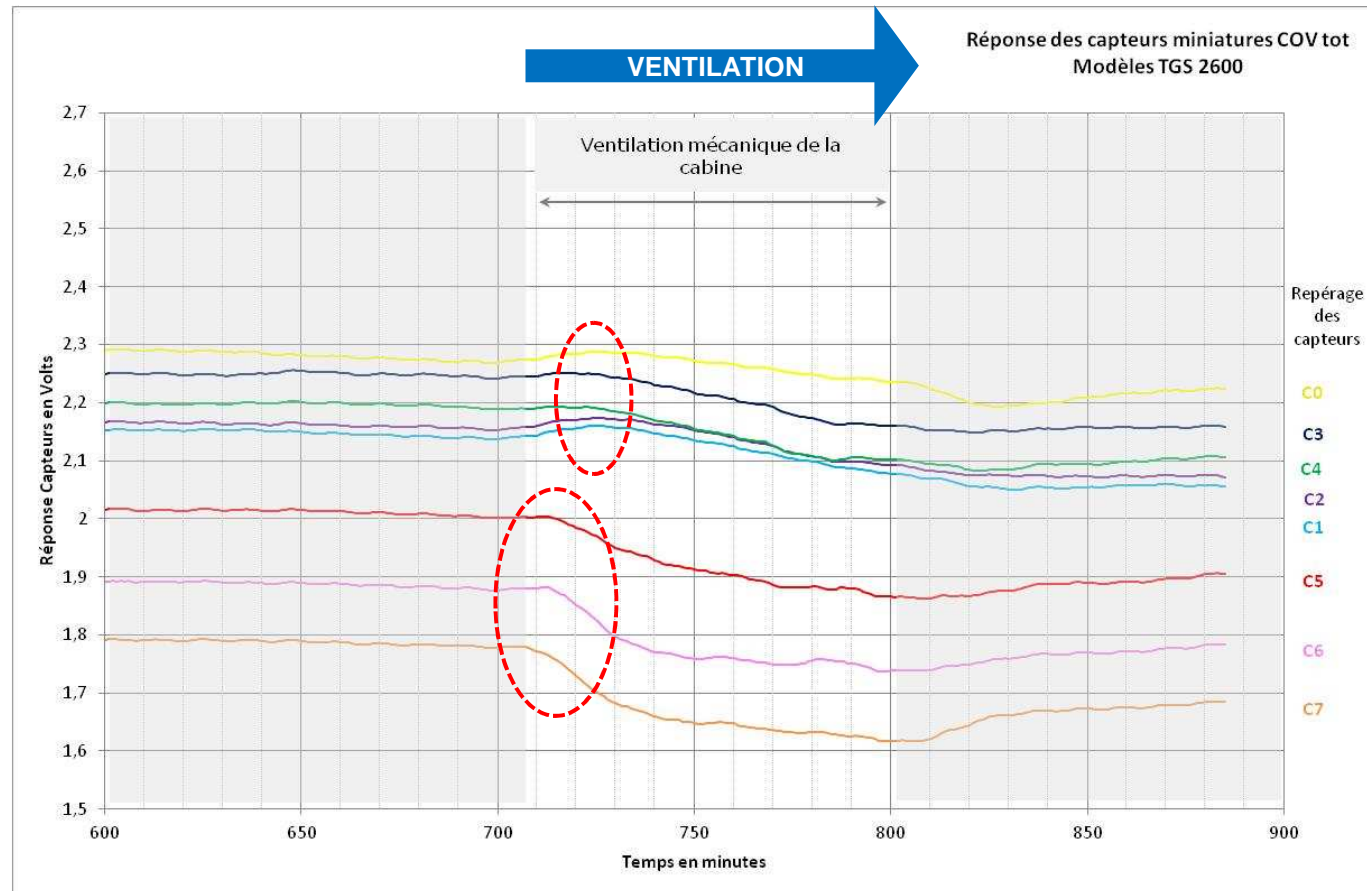
⇒ Validation d'un système de métrologie pour la QAI

➤ Positionnement vertical des capteurs

Configuration 2



➤ Ventilation mécanique : entrée et reprise au plafond



➤ Modification de la pente selon la position du capteur par rapport à la ventilation

⇒ Conclusions - Perspectives

Rappel de l'objectif : Développer un outil expérimental permettant d'étudier l'impact de la ventilation sur la QAI

- ❖ Développement d'une **cabine ventilée** reproduisant le fonctionnement d'un bureau
- ❖ Mise en place de la **métrologie thermo-aéraulique**
- ❖ **Modularité des paramètres de ventilation**
- ❖ **Faisabilité** de l'emploi de capteurs miniatures à oxyde métallique pour un **suivi en temps réel de l'indicateur COV tot**
- ❖ **Etude comparative et non qualitative**



Perspectives – Compléments

- ❖ Maîtrise du **réseau de capteurs** : Reproductibilité et sensibilité, influence de la température, l'humidité, la tension d'alimentation , courbe de réponse
- ❖ Augmentation du réseau à **24 capteurs** : plus représentatif de l'espace étudié
- ❖ **Sources surfaciques** de pollution : stabilité, sensibilité des capteurs, reproductibilité, constance.
- ❖ Mise en place en parallèle d'un réseau de capteurs CO₂ (autre indicateur de QAI)



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr
www.inrs.fr

