

1^{ère} session

Caractérisation de la qualité de l'air intérieur dans les écoles

Modérateur : Vincent NEDELLEC, Vincent Nedellec Consultants

Claire SEGALA
SEPIA-Santé

**Polluants mesurés, niveaux de concentrations
et enseignements de la campagne pilote de
l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur :
Apports d'une ré-analyse des données**

Polluants mesurés, niveaux de concentrations et enseignements de la campagne pilote de l'Observatoire de la Qualité de l'air intérieur : Apports d'une ré-analyse des données.

Ségala Claire ⁽¹⁾, Guillam Marie-Thérèse ⁽¹⁾, Nedellec Vincent ⁽²⁾

(1) SEPIA-Santé, Melrand. Tel : 02 97 28 80 38. Mail : c.segala@sepia-sante.com.

(2) Nedellec Vincent Consultants, Paris.

Contexte

Lors de la campagne pilote de l'OQAI¹ en 2001, de nombreuses données ont été recueillies dans 9 écoles (18 classes) localisées dans trois régions françaises (PACA², Alsace, Nord-Pas de Calais). L'ADEME³ a souhaité une analyse détaillée de l'ensemble des données afin d'évaluer les niveaux d'exposition des élèves, d'en étudier les facteurs déterminants et d'aider à définir une future campagne.

Matériel et méthode

L'enquête s'est déroulée en mai et juin 2001. Les questionnaires portaient sur les caractéristiques du bâti et des équipements, les facteurs liés aux occupants, les facteurs liés aux usages et les sources intérieures ou extérieures de polluant. A l'intérieur des salles de classe, ont été mesurés : la température, le CO₂, et l'humidité relative (en continu pendant la semaine d'enquête) les allergènes, les bactéries gram négatives, les endotoxines, les moisissures, l'ergostérol et les fibres minérales artificielles. A l'intérieur et à l'extérieur, ont été mesurés : les COVs et aldéhydes, le NO₂ et le CO.

Une évaluation des risques par inhalation a été réalisée pour les composés organiques les plus abondants dans l'air intérieur. L'analyse statistique des données comprend une étude des corrélations entre polluants (coefficients de Spearman) et la recherche des facteurs liés aux concentrations de polluants, à l'aide d'analyses de variances (tests de Kruskal-Wallis) et d'analyses linéaires multiples (modèle GLM). Dans ces analyses, les COVs ont été regroupés par famille : hydrocarbures aliphatiques, éthers de glycol, hydrocarbures aromatiques monocycliques, COV chlorés, terpènes et « autres COVs ».

Résultats

Parmi les 18 salles étudiées, quatre sont des maternelles, dont 2 dortoirs, les autres sont des classes de primaire.

Le CO₂, témoin du taux de renouvellement d'air, a été analysé selon deux indicateurs : la « période totale » d'enquête et la « période scolaire » (temps de présence des enfants dans la classe). Les concentrations intérieures moyennes de CO₂ (période scolaire) sont comprises entre 517 et 1935 ppm. Le CO₂ « période scolaire » est lié positivement et significativement avec l'effectif, tandis que le CO₂ « période totale » est lié significativement au type de fenêtres (les plus fortes concentrations de CO₂ avec les fenêtres modernes double-vitrage et les plus faibles avec les fenêtres anciennes simple vitrage).

Les aldéhydes sont retrouvés dans toutes les salles. Les excès de risque de cancer (calculés dans chaque classe à partir des concentrations moyennes pondérées par le budget espace temps et une durée d'exposition de 6 ans) sont égaux ou supérieurs à 10⁻⁵. Les concentrations en aldéhydes sont corrélées aux indicateurs de confinement : elles sont plus élevées dans les salles de petit volume, sans accès direct sur l'extérieur et si les fenêtres sont ouvertes moins de 4 heures par jour.

¹ OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

² PACA : Provence-Alpes-Côte-d'Azur

³ ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Marie-Claude Lemaire, Anne Dupuy d'Uby, Hélène Desqueyroux) .

Les concentrations en COVs sont toutes inférieures à celles associées à des effets toxiques non cancérogènes. La plupart des COVs sont liés à des indicateurs témoins d'un renouvellement d'air insuffisant : teneurs élevées en CO₂, double-vitrage, absence d'accès direct sur l'extérieur, absence d'amenée d'air, ouverture peu fréquente des fenêtres, salles de petit volume. Les salles à proximité d'espaces verts ont tendance à des concentrations plus élevées en éthers de glycol et terpènes, tandis que les hydrocarbures aliphatiques sont significativement augmentés quand l'école est à proximité d'une autoroute (de même les « autres COVs ») et/ou d'une gare routière.

Les biocontaminants (endotoxines, bactéries gram négatives et moisissures) sont augmentés dans les salles ayant les taux d'humidité les plus importants et/ou si les enseignants ont signalé des traces d'humidité. Les concentrations en endotoxines et en moisissures sont plus importantes dans les salles avec double-vitrage. D'autres associations peuvent être signalées : les concentrations en endotoxines plus importantes en présence de moquette, les dénombrements de bactéries gram négatives et en moisissures plus importantes à proximité d'espaces verts et en présence d'animaux.

Conclusion

Vu la faiblesse des effectifs et la non-représentativité des salles de classe étudiées, les relations mises en évidence sont à considérer avec précaution. Néanmoins, la maîtrise des aldéhydes et des biocontaminants s'avère nécessaire notamment par une ventilation correctement maîtrisée et la résorption des problèmes d'humidités. L'influence des sources extérieures sur certains COVs présents dans les salles de classe ne peut être exclue. Avant un élargissement de l'enquête, une révision des questionnaires permettrait d'optimiser la collecte et l'analyse des données.

Polluants mesurés, niveaux de concentrations
et enseignements de la campagne pilote
de l'OQAI/écoles :
Apports d'une ré-analyse des données

**Claire Ségala⁽¹⁾, Marie-Thérèse Guillam⁽¹⁾, Vincent
Nedellec⁽²⁾**

⁽¹⁾ SEPIA-Santé, Melrand. ⁽²⁾ Nedellec Vincent Consultants, Paris.

CONTEXTE

Campagne pilote de l'OQAI en 2001 :

- recueil de données dans 9 écoles (18 salles) de classes primaires et maternelles en mai/juin (Alsace, Nord-Pas de Calais, PACA)
- objectif : évaluation de la faisabilité des méthodologies et de la cohérence des outils développés

ADEME*, 2004 : Ré-analyse des données

- évaluer les niveaux d'exposition des élèves
- étudier les facteurs liés à ces expositions
- faire des recommandations pour de nouvelles enquêtes

* MC Lemaire, A Dupuis-d 'Uby, H Desqueyroux

MATERIEL

Recueil par questionnaires

- caractéristiques des bâtiments et des équipements
- facteurs liés aux occupants
- facteurs liés aux usages
- sources extérieures de pollution

→ questionnaires école et classe

→ carnet hebdomadaire

Mesures de la qualité de l'air

- CO₂, température, humidité relative (int)
- COVs, aldéhydes, NO₂, CO (int et ext)
- Allergènes, bactéries gram-négatives, endotoxines (int)
- Moisissures, ergostérol (int et ext)
- Fibres minérales artificielles en surface (int) et dans l'air (int et ext)

METHODE

-COVs regroupés en 6 familles :

- hydrocarbures aliphatiques
- éthers de glycols
- hydrocarbures aromatiques monocycliques
- COVs chlorés
- terpènes
- autres COVs

-Evaluation des risques par inhalation (aldéhydes)

-Analyses statistiques

- corrélations entre polluants (coefficients de Spearman)
- analyse en composante principale (ACP)
- analyses de variance (tests de Kruskal-Wallis) et analyses linéaires multiples (modèle GLM) pour la recherche des facteurs liés aux polluants

CO₂

(Mesures en continu avec fréquence d'acquisition de 5 minutes)

CO ₂ en ppm			
	Concentrations moyennes	Nombre de moyennes > 1000	Valeurs max. (sur 5 min)
Période d'enquête	294 - 907	0	746 - 3497
Période scolaire	560-1832	4	1041 - 3092

Renouvellement d'air (CSTB) : 3.2 à 14.5 m³/h/pers (médiane = 5.5)

FACTEURS LIÉS AU CO₂ : ANALYSES UNIVARIÉES

Effectif*	Age du bâtiment Volume pièces Etage	Accès direct ou non Type de fenêtres* Aération de la salle Durée d'ouverture des fenêtres
Niveau scolaire Nbre d'heures d'activité		

* p < 0.20

FACTEURS LIÉS AU CO₂ : ANALYSES MULTIVARIÉES

Période de l'enquête	Période scolaire
Type de fenêtres (p=0.02, R ² =0.46)	Effectif moyen (p=0.008, R ² =0.62)

ALDEHYDES: évaluation des risques

RAPPEL DESCRIPTIF

ACÉTALDEHYDE : 9,7 µg/m³ (6 à 16.2)

HEXALDEHYDE : 18,1 µg/m³ (6,4 à 44,2)

FORMALDEHYDE : 38,4 µg/m³ (13,6 à 66.8) **le + abondant**

INT/EXT significativement > 1 (sauf isovaraldéhyde)

RATIOS DE DANGER (% de salles)

	Danger brut	Danger pondéré*
Acétaldéhyde	1 à 1,8 (60 %)	1,4 à 1,6 (100 %)
Formaldéhyde	1,36 à 6,68 (100%)	2,19 à 3,23 (100%)

*temps annuel : 12% en classe, 80% au domicile, 8% à l'extérieur

EXCES DE RISQUE DE CANCER (% de salles)

Acétaldéhyde	> 10 ⁻⁵ (100 %)
Formaldéhyde	> 10 ⁻⁵ (100 %)

ALDEHYDES : Analyse Composante Principale

- Repérage des 6 salles les plus polluées en aldéhydes correspondant aux 3 écoles situées en Alsace.
- Les 2 salles d'une même école présentent les mêmes profils de pollution :
 - 1 école avec teneurs élevées en hexaldéhyde,
 - 1 école avec teneurs élevées en benzaldéhyde
 - 1 école avec teneurs élevées en acétaldéhyde, formaldéhyde, isobutyraldéhyde/butyraldéhyde et valéraldéhyde

ALDEHYDES: Analyses de variance

Les aldéhydes sont liés à des indicateurs de confinement.
Ils sont plus élevés :

- ➔ dans les salles de plus petits volumes (<200 m³ vs. >200)
(88 µg/m³ vs 70 µg/m³ ; p=0.05)
- ➔ en absence d'accès direct sur l'extérieur
(83 µg/m³ vs 51 µg/m³ ; p=0.07)
- ➔ si moins de 4 heures d'ouvertures des fenêtres par jour
(97 µg/m³ vs 67 µg/m³ ; p=0.14)

COVs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Rappel descriptif / ER

- COVs totaux : $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25 - 315)
- Toluène ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4.3-40.3)) > Décane (8) > Alpha-pinène (7.5) > Limonène (7) Undécane (6) > 2-butoxyéthanol (4). Les autres COVs < 4
- INT/EXT : significativement >1 pour 19 COVs sur 23
- le benzène a un rapport int/ext = 1
- le 2-ethyl-1-hexanol est détecté dans 100 % des salles, les autres ethers de glycol dans 50 à 90% des salles.

- concentrations en COV mesurées sont inférieures à celles associées à des effets toxiques non cancérogènes
- excès de risques cancérogènes (benzène, trichloroéthylène) < 10^{-5}

COVs et indicateurs de confinement

- **CO₂ (période d'enquête) :**
 - Ethers de glycol : $\rho=0.72$ ($p=0.002$)
 - Terpènes : $\rho=0.62$ ($p=0.01$)
 - Aromatiques monoc. : $\rho =0.49$ ($p=0.05$)
- **Type de fenêtre :** Ethers de glycol ($p=0,03$)
 - $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (double vitrage)
 - $1.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (simple vitrage)
 - $2.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ancien)
- **Absence d'amenées d'air :**
 - HA : 18 vs $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.02$)
 - Aromatiques monoc : 27 vs $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.05$)
 - COVs chlorés : 7.7 vs $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.01$)
- **Absence d'accès direct :**
 - Ethers de glycols : 7.5 vs $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.07$)
 - COVs chlorés : 6.8 vs $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.14$)
- **Ouverture des fenêtres <4h :**
 - HA : 34.9 vs $6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.02$)
 - COVs chlorés : 7.9 vs $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.10$)
- **Salle de petit volume (<200 m³) :** COVs chlorés : 8 vs $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.05$)

COVs et autres facteurs

→ Si revêtement peinture :

Ethers de glycols : 4 vs 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.01$)

Terpènes : 13 vs 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.01$)

→ Si présence d'autoroute à moins de 500 m :

HA : 42 vs 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.008$)

Autres COVs : 9 vs 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.03$)

→ Si présence de gare routière à moins de 500 m :

HA : 74 vs 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p=0.04$)

ALLERGENES FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES

RAPPEL DESCRIPTIF (6 salles mesurées)

	Nbre de salles > LD*	Concentration ng/m^3
Acariens (Derp 1, Derf 1)	0	
Chat (Feld 1)	1	0.18
Chien (Can f1)	7	1.95 - 18

* limite de détection

fibres surface (int) : 22,2 unité/ cm^2 (0 - 63,8)

fibres air : int : 0,0004 fibres/l

ext : 0,0009 fibres/l

int/ext=0,44

→ présence de faux-plafond :

fibres surface : 21.02* vs 1.42 unité/ cm^2 ($p=0.05$)

* dont 2 salles avec laine minérale en rouleaux

ENDOTOXINES ET BACTERIES GRAM -

RAPPEL DESCRIPTIF			
	Prélèvements	Présence	Concentration
Endotoxines	8 h en continu	100% des salles	0.11-2.19 ng/m ³
Bactéries gram - négatives	ponctuels	56 % des salles à l'interclasse	0 - 60 ufc/m ³

Endotoxines :

- ➔ **CO2** : $\rho=0.75$ ($p=0.05$) ;
- ➔ **Température** : $\rho=-0.89$ ($p=0.007$) ; **Humidité relative** : $\rho=0.79$ ($p=0.04$)
- ➔ **Type de fenêtre** : $p=0.05$
 - double vitrage : 1.01 ng/m³
 - simple vitrage : 0,18 ng/m³
 - ancienne fenêtres : 0.21 ng/m³
- ➔ **Moquette** : 2.19 ng/m³ vs 0.35 ($p=0.12$)

MOISSISSURES

Rappel descriptif :

- ➔ aucune différence significative entre les 3 dénombrements intérieurs et pas de différence significative entre intérieur/extérieur
- ➔ **78 %** des salles : dénombrements en moisissures totales > **200 ufc/m³**
- ➔ Cladosporium (100% des salles) > Penicillium (100%) > Aspergillus (100 à 55%) > Alternaria (44 à 11 %)

Facteurs liés aux moisissures :

- ➔ Moisissures totales et taux d'**humidité** relative : $\rho = 0.68$ ($p=0.09$)
- ➔ **type de fenêtres** : $p=0,10$
 - double vitrage : 807
 - simple vitrage : 671
 - fenêtre ancienne : 100

CONCLUSION (1)

➔ Limites : faiblesse des effectifs + divergence des objectifs avec la campagne pilote

➔ La plupart des COVs (à l'exception du benzène) et les aldéhydes plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur

➔ Formaldéhyde et acétaldéhyde en excès d'un point de vue sanitaire

➔ COVs et aldéhydes liés à des indicateurs de confinement

➔ Présence non négligeable d'endotoxines et surtout de moisissures

➔ Endotoxines et moisissures liées à l'humidité et indicateurs de confinement

CONCLUSION (2)

Associations négatives ou impossible à tester :

➔ Activités des enfants, produits utilisés par les enfants et concentrations en polluants

➔ utilisation de produits ménagers et autres matériaux (meuble neuf, revêtements) susceptibles de relarguer des aldéhydes

➔ Recommandations