"L'air est **essentiel à chacun** et mérite l'**attention de tous**."

Etude 2009- 2010

Qualité de l'air intérieur en milieu scolaire à Rennes 2010

– S. Delaunay, J. Isaac, Quineleu, J. Moulin, R. Doisneau

Juin 2009 et Janvier 2010

ORGANISME DE **MESURE**, D'**ÉTUDE** ET D'**INFORMATION** SUR LA **QUALITÉ** DE L'AIR EN **BRETAGNE**

Air Breizh
28 rue des Veyettes - 35000 Rennes
Tél. 02 23 20 90 90 - Fax 02 23 20 90 95

www.airbreizh.asso.fr

Glossaire

AASQA	Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air
AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
ASPA	Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace
CIRC	Centre International de Recherche sur le cancer
CO	Monoxyde de Carbone
CO_2	Dioxyde de Carbone
COV	Composés Organiques Volatils
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
hPa	Hecto Pascal
HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance
HR(%)	Humidité Relative en pourcentage
INERIS	Institut National de l'environnement industriel et des risques
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
$\mu g/m^3$	microgramme par mètre cube
mg/m^3	milligramme par mètre cube
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (USA)
O_2	Dioxygène
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
OQAI	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
ppm	partie par million (unité de mesure des concentrations de polluants)
RSD	Règlement Sanitaire Départemental
T(℃)	Température en degré Celsius
USEPA	Agence Américaine pour la protection de l'environnement
VGAI	Valeur Guide de qualité de l'Air Intérieur définie par l'AFSSET
VLCT	Valeur limite indicative d'exposition à court terme (15 min.)
VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée
VME	Valeur limite indicative de moyenne d'exposition pondérée (8h/j. soit 40h/sem.)
VTR	Valeur Toxicologique de Référence, indice qui est établi à partir de la relation entre une dose externe d'exposition à une substance dangereuse et la survenue d'un effet néfaste.

GLOSSAIRE 1

I. INTRODUCTION 3

II. POLLUANTS 5

II.1. LES ALDEHYDES [1] 5
II.2. MONOXYDE ET DIOXYDE DE CARBONE 6

III. MATÉRIEL ET MÉTHODE 7

III.1. METROLOGIE 7
III.2. LOCALISATION DES PRELEVEMENTS 8
III.3. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE 10

IV. RÉSULTATS 11

IV.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE ET PARAMETRES DE CONFORT 11
IV.2. LES CONCENTRATIONS EN ALDEHYDES 11
IV.3. LES CONCENTRATIONS DE DIOXYDE DE CARBONE 17
IV.4. LES CONCENTRATIONS DE MONOXYDE DE CARBONE 18
IV.5. EVALUATION DU CONFINEMENT A PARTIR DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE 19

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES 22

BIBLIOGRAPHIE 23

I. Introduction

Nous passons 80 à 90% de notre temps dans des lieux clos : habitations, lieux de travail, moyens de transport, écoles, garages et sous-sols, dans lesquels nous respirons un air différent de l'air extérieur. A la pollution provenant de l'extérieur, s'ajoutent des polluants issus de trois principales sources : les appareils à combustion (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote), les constituants du bâtiment, incluant les équipements et mobiliers (plomb des peintures, formaldéhyde, composés organiques volatils, fibres de toutes sortes) et l'activité humaine (produits ménagers, bricolage, acariens, moisissures, etc...).

Dans les classes, les concentrations de certains polluants peuvent être plus élevées que dans d'autres espaces clos (habitats, bureaux,…) du fait, par exemple, de la présence de plus de mobiliers ou bien de l'utilisation quotidienne de fournitures scolaires (colles, feutres, peintures…) et de produits d'entretien. Par ailleurs, à surface égale, on estime que les écoles présentent, en général, quatre fois plus d'occupants que les bureaux, ce qui influence nécessairement l'environnement intérieur, ne serait ce que par l'augmentation de l'humidité relative. Ces éléments structurels et conjoncturels particuliers sont associés à une population particulièrement sensible. En effet, de nombreuses études montrent une augmentation des allergies et des affections respiratoires chez les enfants. En France, la manifestation de troubles non spécifiques (maux de tête, nausées, vertiges…) dans des écoles ces dernières années a conduit à s'interroger sur la possible contribution de la qualité de l'air intérieur.

Cette étude a été réalisée à la suite d'une première étude de faisabilité réalisée en 2007-2008 et a pour objectif de poursuivre la caractérisation de la qualité de l'air intérieur dans les écoles de la ville de Rennes. Pour cela, des mesures ont été réalisées dans cinq écoles de la ville, dont deux étaient identiques à celles de l'étude précédente mais dans lesquelles la ventilation a été modifiée (par nettoyage des entrées d'air ou ouverture de fenêtre). Les trois autres établissements ont été choisis en fonction de leur construction récente ou en raison de la réalisation prochaine de travaux.

Les mesures réalisées concernent les concentrations de neuf aldéhydes, du CO, du CO_2 et des paramètres de confort (pour la détermination d'un indicateur de confinement).

II. Polluants

II.1. Les aldéhydes [1]

Les aldéhydes font partie de la famille des composés organiques volatils (COV) qui sont des composés contenant au moins un élément carbone et un ou plusieurs autres éléments (hydrogène, halogène, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques) et qui possède une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 K, ou une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières (Définitions de la Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999).

Dans l'atmosphère, les aldéhydes proviennent principalement de la combustion de la biomasse (feux de forêt), de la circulation automobile et des réactions photochimiques entre les hydrocarbures et les oxydants atmosphériques. [2]

Dans le tableau 1, sont regroupés les impacts sur la santé que peuvent avoir les différents aldéhydes ainsi que leurs sources potentielles et les valeurs réglementaires existantes en France et à l'étranger.

Nom	Valeurs réglementaires		Impact sur la santé	Sources
	France	Autres		
Formaldéhyde	**AFSSET (**VGAI**)**: 50 µg/m^3 sur 2 heures (exposition court terme) 10 µg/m^3 en exposition chronique (exposition à long terme) **Ministère du travail** : VME 625 µg/m^3 VLCT 1250 µg/m^3	**OMS** : 100 µg/m^3 sur 30 min dans l'air ambiant **NIOSH (USA)** : VME 0,016 ppm (366 µg/m3) VLCT 0,1ppm (122 µg/m^3)	Problème respiratoire aigus, cancérogène probable chez l'homme (CIRC : Groupe 1)	Panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut, livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, cosmétiques, parfums, fumée de tabac, photocopieurs
Propanal	*Pas de valeur guide*	*Pas de valeur guide*	Irritation des voies respiratoires	Peintures à phase solvant
Pentanal	**Ministère du travail** : VME 175 mg/m^3	**Etats-Unis** (USEPA) : 175 mg/m^3 à court terme (15 min)	Maux de tête, vertiges, nausées, vomissements, narcose	Panneaux de particules, livres et magazines neufs, peintures à phase solvant
Hexanal	*Pas de valeur guide*	*Pas de valeur guide*	Irritation des yeux et des voies respiratoires	Panneaux de particules, panneaux de bois brut, livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, produits de traitement du bois
Benzaldéhyde	*Pas de valeur guide*	*Pas de valeur guide*	Irritation des yeux et des voies respiratoires	Peintures, photocopieurs, parquet traité
Acétaldéhyde	**Ministère du travail** : VME 180 mg/m^3	**Etats-Unis** (USEPA) : 9 µg/m^3 entre 14 jours et un an	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires, cancérogène possible chez l'homme (CIRC : Groupe 2B)	Photochimie, fumée de tabac, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules

Acroléine	**Ministère du travail** : VLCT 250 µg/m^3	**Etats-Unis** (USEPA) : 7µg/m^3 <14j 0,1 µg/m^3 entre 14 jours et un an	Irritation des voies respiratoires et des muqueuses	Combustion, fumée de tabac, gaz d'échappement automobiles, chauffage de graisses animales et végétales
Butanal	*Pas de valeur guide*	*Pas de valeur guide*	Irritation des voies respiratoires et des muqueuses	Photocopieurs, imprimantes à tambours
Isopentanal	*Pas de valeur guide*	*Pas de valeur guide*	Irritation des voies respiratoires et des muqueuses	Parquets traités, panneaux de particules

Tab.1 : Valeurs de références et sources d'émissions des aldéhydes

VME : Il s'agit de la concentration maximale admissible dans l'air du lieu de travail, où le travailleur est amené à travailler une journée entière (8h/j)

VLCT : Il s'agit de la concentration maximale admissible dans l'air du lieu de travail, où le travailleur peut être exposé pour une courte durée (≤15 min)

VGAI : Il s'agit des Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur définies par l'AFSSET

II.2. Monoxyde et dioxyde de carbone

III.2.1. Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un gaz inodore, incolore et inflammable. Il est émis lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, carburants…), la combustion complète produisant du CO_2.

D'après le cadastre des émissions atmosphériques réalisé par Air Breizh, la répartition par secteur des émissions de monoxyde de carbone en 2003 en Bretagne est principalement de **69%** pour le Résidentiel & Tertiaire et de **31%** pour les Transports.

Pour la ville de Rennes dont la répartition est représentée sur le graphique ci-contre, la principale source d'émission de CO est le secteur des Transport avec **59%** des émissions annuelles de la commune. Le secteur Résidentiel & Tertiaire représente une source d'émission annuelle importante avec **41%** des émissions de la commune. Le secteur Agricole et le secteur Industriel ne représentent qu'une faible part des émissions annuelles de la commune avec moins de **1%** des émissions.

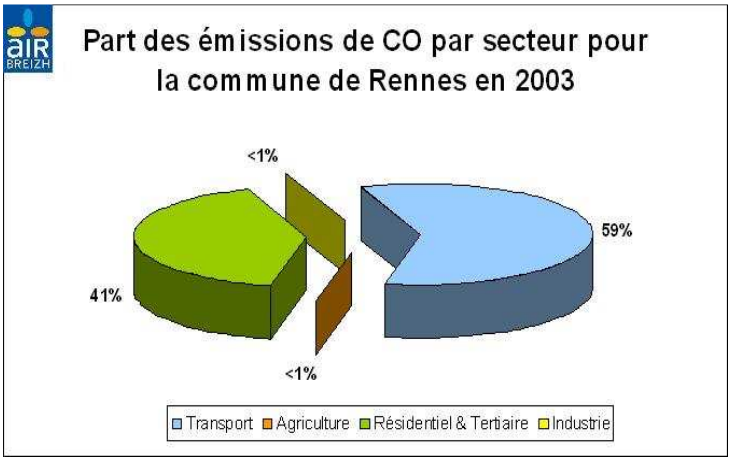


Fig. 1 : Répartition des émissions de CO par secteur (Source Air Breizh)

Le monoxyde de carbone se fixe sur l'hémoglobine du sang, avec une affinité 200 fois supérieure à celle de l'oxygène. Les organes les plus sensibles à cette diminution de l'oxygénation sont le cerveau et le cœur. L'inhalation de CO entraîne des maux de tête et des vertiges. Nausées et vomissements apparaissent à forte concentration. En cas d'exposition prolongée à des niveaux élevés en milieu confiné, ce polluant peut avoir un effet asphyxiant mortel.

D'après le **Décret n° 2003-1085 du 12 novembre 2003 (modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998) et Arrêté Ministériel du 17 août 1998**, la valeur limite pour la protection de la santé est de 10 mg/m^3 sur 8 heures. Les recommandations de l'OMS et de l'AFSSET indiquent comme valeurs guides des

concentrations de 100 mg/m^3 sur 15 minutes, 60 mg/m^3 sur 30 minutes, 30 mg/m^3 sur 1 heure, 10 mg/m^3 sur 8 heures.

III.2.2. Dioxyde de carbone

Dans les bâtiments, les émissions de dioxyde de carbone sont dues à la respiration des occupants. Lors de l'inspiration, l'air pénètre dans les poumons ; le dioxygène (O_2) passe au travers des parois des alvéoles et se fixe sur les hématies (globules rouges). Le sang oxygéné est transporté par les artères grâce à l'action du cœur (circulation sanguine) et est acheminé vers les différents organes où se produit la respiration cellulaire. Le dioxygène est utilisé pour une réaction d'oxydo-réduction visant à fournir de l'énergie à la cellule. Cette réaction produit du dioxyde de carbone (CO_2) qui, dissout dans le plasma, est acheminé vers les poumons via les veines puis expulsé à l'expiration.

Contrairement aux aldéhydes, le dioxyde de carbone (CO_2) ne présente pas de toxicité pour l'homme aux concentrations observées dans les atmosphères intérieur et extérieur. Il est utilisé comme un indicateur du confinement des bâtiments. Plus l'air est confiné, plus le niveau de CO_2 est élevé et moins bonne devrait être la qualité de l'air dans la pièce. En 2001, une étude du Laboratoire d'Hygiène et de Santé Publique de la faculté de Pharmacie de Paris V et du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris [3] a permis de montrer que les concentrations de polluants augmentent significativement avec le niveau moyen de CO_2 (à l'exception du formaldéhyde).

Concernant le CO_2, le règlement sanitaire départemental type (RSD) impose de ne pas dépasser la concentration de 1000 ppm, avec tolérance de 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer.

III. Matériel et Méthode

D'un point de vue opérationnel, les méthodes de mesure des aldéhydes et d'estimation du taux de renouvellement d'air ont été testées dans des écoles primaires de Rennes Métropole en décembre 2007 et juin 2008.

Lors de cette campagne de mesure, Air Breizh a mesuré les concentrations d'aldéhydes, de monoxyde et dioxyde de carbone dans cinq écoles de la ville de Rennes, ainsi que différents paramètres de confort comme la température, l'humidité relative et le taux de renouvellement d'air.

Afin d'assurer une bonne représentativité par rapport aux concentrations auxquelles sont exposées les enfants, une période d'échantillonnage de deux jours a été retenue pour les aldéhydes (installation le lundi matin et récupération le mercredi matin). Pour le suivi des concentrations en monoxyde et dioxyde de carbone, les appareils de mesures ont été disposés sur des périodes de deux à cinq jours.

III.1. Métrologie

a. Aldéhydes

La technique de l'échantillonnage passif est utilisée lors des prélèvements par tube à diffusion. L'air ambiant diffuse à travers la membrane du corps diffusif fixé sur un support et les aldéhydes sont piégés chimiquement sur la surface absorbante de la cartouche (Florisil greffé avec du 2,4DNPH) introduite à l'intérieur du corps diffusif. La cartouche est ensuite envoyée pour analyse dans un laboratoire de mesure (HPLC en phase inversée couplée à un détecteur UV 360nm).

Fig. 2 : Prélèvement passif dans une école (ASPA)

Cette technique de prélèvement ponctuel fournit une concentration moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition.

Afin d'être le plus proche possible des conditions d'exposition des élèves et d'assurer une durée de prélèvement suffisante, les tubes sont installés le jour J avant l'arrivée des élèves et retirés le jour J+2 (du lundi au mercredi par exemple).

La méthodologie proposée s'appuie sur les préconisations de la norme NF ISO 16000-2 relative à la stratégie d'échantillonnage pour l'analyse du formaldéhyde dans l'air intérieur.

b. Monoxyde et dioxyde de carbone et paramètres de confort

Fig. 3 : Analyseur Q-Trak Plus

L'utilisation d'analyseurs de type Q-Trak permet le suivi en continu de 4 paramètres : la température, l'humidité, le CO et le CO_2 (mesure toutes les 2 minutes).

L'estimation du renouvellement d'air est basée sur le suivi des concentrations en CO_2 d'origine métabolique, c'est-à-dire dû à la présence des enfants et des adultes dans la classe.

Afin d'assurer une bonne représentativité des mesures, une période d'échantillonnage de 5 jours a été retenue (installation d'un analyseur le lundi matin et récupération vendredi après le départ des élèves).

III.2. Localisation des prélèvements

a. Choix des sites

Dans le cadre de cette étude, 5 établissements scolaires ont fait l'objet de prélèvements. Le choix des écoles s'est porté sur trois nouveaux établissements ainsi que sur deux établissements identiques à la campagne précédente.

Pour les trois nouvelles écoles, permettant de poursuivre les investigations dans les écoles rennaises, le choix a été réalisé en fonction de l'âge des bâtiments et de la présence ou non d'une VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) :

- l'école **Sonia Delaunay** à Beauregard qui est relativement récente, avec une VMC installée en 2002,

- l'école **Jules Isaac** à Patton, datant des années 1980, qui ne possède pas de VMC et qui fera l'objet de travaux durant l'été 2010,

- la maternelle **Quineleu** à proximité de la gare, école ancienne dans laquelle il est prévu d'installer une VMC.

Pour les écoles déjà suivi lors de l'étude 2007-2008, le choix a été réalisé en fonction de la présence ou non de VMC :

- l'école **Jean Moulin** à Villejean qui ne possède pas de VMC et dans laquelle ont été données des consignes de ventilation par ouvertures systématiques des fenêtres aux récréations.

- l'école **Robert Doisneau** qui possède une VMC dont les entrées d'air ont été nettoyées mais dont le débit de ventilation reste inférieur aux préconisations du règlement sanitaire départemental.

Les écoles Jules Isaac et Quineleu devant toutes deux subir des travaux, pourraient bénéficier d'un suivi dans l'avenir, via des études annexes sur l'impact d'une rénovation ou de l'installation d'une VMC.

Un recueil des éléments descriptifs sur les sites de mesure (mur, sol, plafond, âge des matériaux et du mobilier, rénovation…) a été réalisé une fois les sites choisis, sous forme d'un questionnaire associé à chacun des sites de prélèvements.

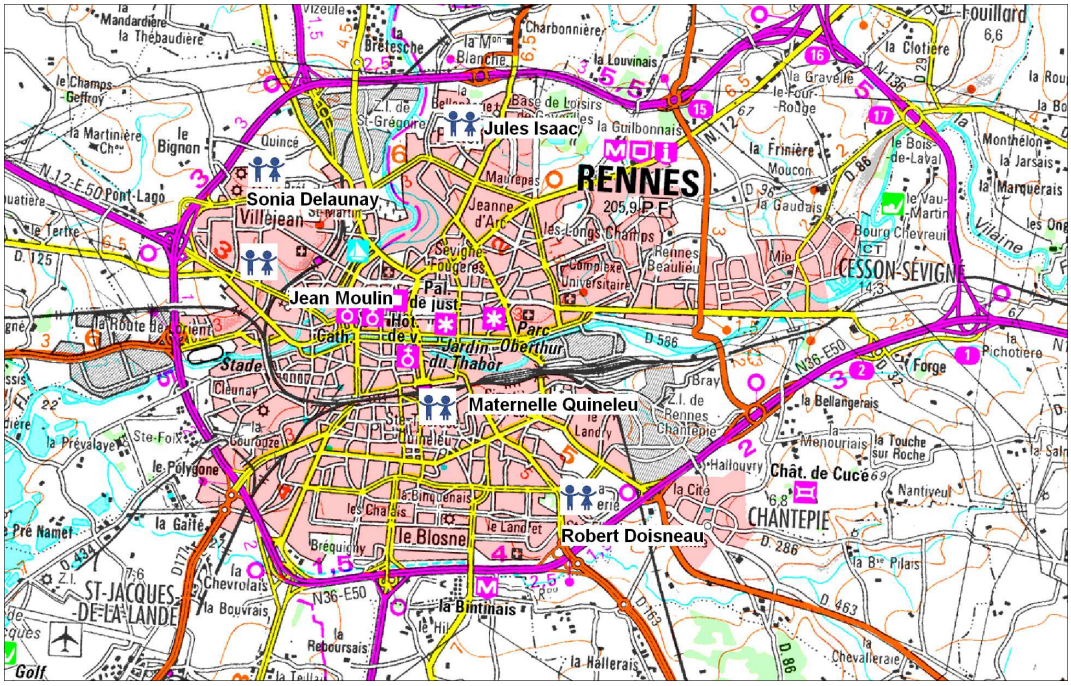


Fig. 4 : Emplacement des écoles

b. Choix de l'emplacement du prélèvement dans la salle

La localisation des prélèvements respecte les préconisations des protocoles de surveillance du formaldéhyde, du benzène et du monoxyde de carbone dans l'air des lieux clos ouverts au public (Décembre 2008), élaborés par le LCSQA en partenariat avec le CSTB.

Le point de prélèvement est donc représentatif de l'exposition moyenne. Il est éloigné des courants d'air, des zones proches des portes et fenêtres, des sources de chaleur et des sources d'émissions, placé à plus de 50 cm des parois de la pièce et suspendu à environ 2 mètres de hauteur. Un deuxième point de prélèvement est placé à l'extérieur, tout en respectant les critères d'implantation des sites de mesure en air extérieur, afin de connaître l'influence de l'air extérieur.

Tube à diffusion pour le prélèvement des aldéhydes

Analyseur continu T°, CO_2, CO, HR

Fig. 5 : localisation des prélèvements

III.3. Déroulement de la campagne

Deux campagnes de mesure ont été menées :

- Campagne estivale du **8 au 12 juin 2009**
- Campagne hivernale du **25 au 29 janvier 2010**

Chaque école a été équipée :

- de 2 tubes à diffusion passive par classe,
- d'un tube à diffusion passive à l'extérieur des classes,
- d'un analyseur Q-Trak permettant le suivi en continu des concentrations en CO_2 (+ CO, T°, Humidité) disposé pendant 5 jours dans l'école Jean Moulin et pendant 2 jours et demi dans les autres

Un cahier de suivi a été renseigné par les différentes personnes fréquentant les salles de classes appareillées. Ces derniers ont indiqué :

- la durée de fréquentation de la salle,
- le nombre de personnes présentes dans la salle ainsi que leur âge respectif,
- les activités pratiquées par les élèves et le personnel technique,
- les heures et les durées d'ouverture des portes et des fenêtres.

IV. Résultats

IV.1. Contexte météorologique et paramètres de confort

La température T(°C) et l'humidité relative HR (%) sont les principaux paramètres de confort à l'intérieur d'une pièce, ils peuvent notamment être à l'origine de l'apparition d'acariens et/ou de moisissures qui peuvent à leur tour avoir un impact sur la santé et sur le ressenti du ou des occupants. Ces deux paramètres à l'intérieur des locaux sont fortement conditionnés par les conditions extérieures. D'après l'OQAI, l'humidité relative doit être comprise entre 40 et 70% et la température entre 18 et 22°C pour que le confort soit optimum.

Lors de la campagne de mesure, la température à l'intérieur des classes est majoritairement comprise entre 20 et 25 °C en période estivale et entre 15 et 25 °C en période hivernale, les bornes inférieures et supérieures de confort optimum sont souvent franchies. Des températures pouvant atteindre 34,5°C en été ont été observées et peuvent avoir une influence sur les réémissions de composés volatils comme les aldéhydes. De même, des chutes rapides et importantes de température sont associées à l'ouverture de fenêtres et ont aussi une importance sur les concentrations mesurées.

L'humidité relative est pratiquement toujours comprise entre les bornes requises pour un confort optimum en période estivale, en revanche en période hivernale elle est très souvent en dessous de la borne inférieure de 40%.

IV.2. Les concentrations en aldéhydes

a. Qualité des mesures

Les résultats sont donnés pour une température de 20°C et une pression de 1013 hPa. Les concentrations obtenues sont exprimées en µg/m^3.

Les prélèvements intérieurs ont tous été effectués en doublon, afin de valider les résultats et de vérifier la répétabilité des échantillonnages.

Des blancs de terrain ont suivi le même parcours que les tubes exposés, à l'exception du prélèvement et sont donc témoins de l'éventuelle contamination environnante durant le stockage et le transport. Les valeurs des blancs (faibles par rapport aux quantités prélevées dans les échantillons) ont été retranchées aux échantillons.

b. le formaldéhyde

Les concentrations en formaldéhyde mesurées dans les classes et à l'extérieur sont relativement homogènes d'une école à l'autre, à l'exception de celles relevées au sein de l'école Jules Isaac et de l'école Sonia Delaunay.

Dans l'école Jules Isaac, les concentrations sont environ trois fois plus élevées que celles mesurées dans les autres écoles, que ce soit en période estivale comme en période hivernale. **En période estivale, la concentration moyenne sur deux jours dépasse la valeur guide de l'AFSSET pour une exposition sur deux heures (50 µg/m^3).**

Les concentrations mesurées dans l'école Sonia Delaunay, sont en période estivale, environ deux fois plus faibles que celles mesurées dans les autres écoles.

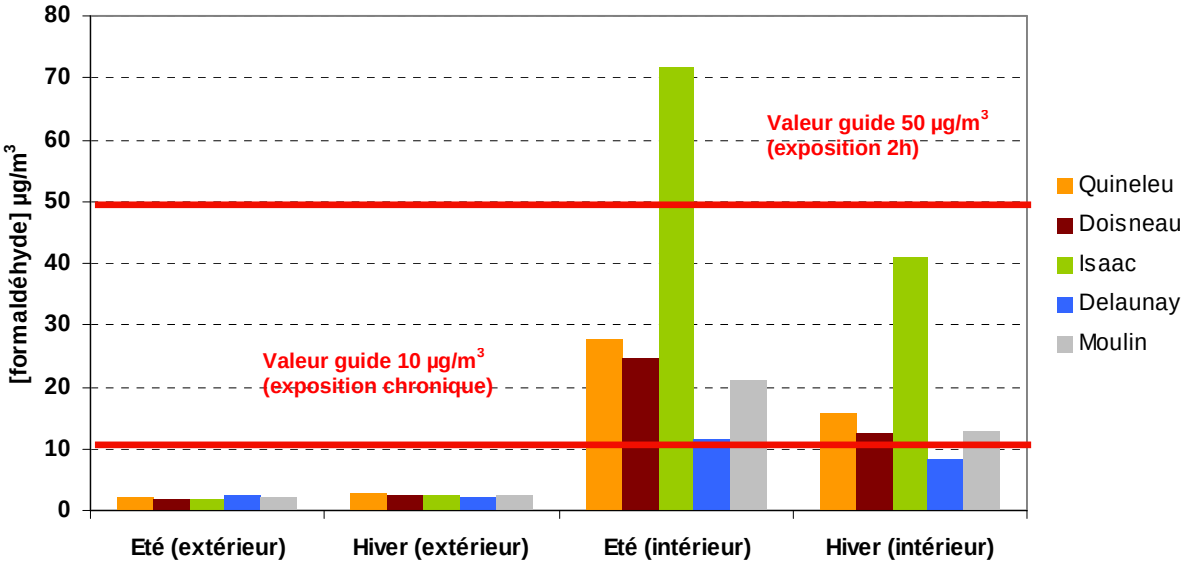


Fig. 6 : Concentrations moyennes en formaldéhyde au niveau des écoles

Dans chacune des cinq écoles, en période estivale et hivernale, les concentrations en formaldéhyde dépassent la valeur guide de l'AFSSET pour une exposition chronique (10 µg/m^3), sauf à l'école Sonia Delaunay, en période estivale.

Il n'apparaît aucune corrélation entre les niveaux extérieur et intérieur confirmant ainsi que les concentrations rencontrées dans les locaux sont imputables à des sources internes. Dans chaque école, les concentrations en formaldéhyde sont plus élevées en période estivale qu'en période hivernale, alors qu'en raison du confinement (périodes d'ouverture des fenêtres plus rares et plus courtes), les autres polluants de l'air intérieur sont en général plus élevés en période hivernale.

Lors de la précédente campagne de mesure d'Air Breizh, les concentrations mesurées étaient du même ordre de grandeur et le même constat au sujet des différences entre période estivale et hivernale et entre concentrations intérieur et extérieur avait pu être réalisé. [4]

c. les aldéhydes totaux

Parallèlement au formaldéhyde, la quantification de huit aldéhydes supplémentaires a été réalisée. Le formaldéhyde est le composé majoritaire, parmi les composés mesurés dans les classes.

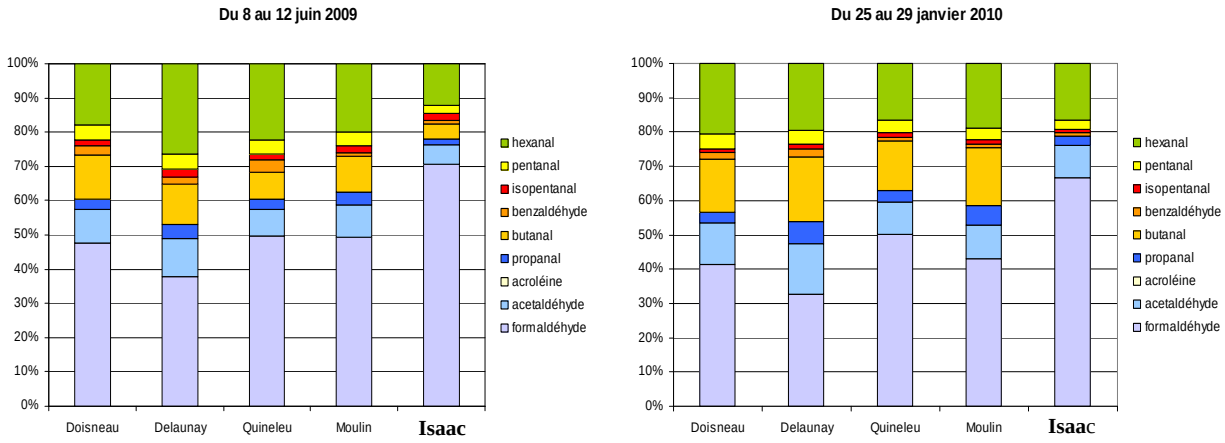


Fig. 7 : Contributions des différents aldéhydes dans l'air des classes étudiés

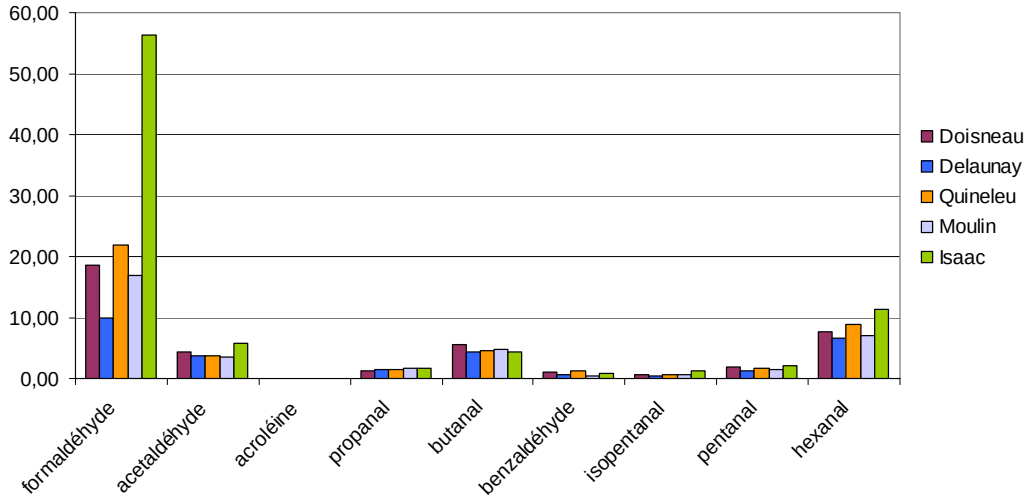


Fig. 8 : Profil moyen (été et hiver) des concentrations dans les écoles

Les concentrations en aldéhydes, sont systématiquement plus élevées à l'intérieur des établissements et sont relativement homogènes entre les différentes écoles étudiées, à l'exception du formaldéhyde. Il est à noter qu'aucune des concentrations en aldéhydes (en dehors du formaldéhyde) ne dépassent les valeurs réglementaires existantes. Ces deux points avaient déjà été constatés lors de la précédente étude d'Air Breizh. [4]

Lors des campagnes de mesures, aucune trace de l'acroléine n'a été mesurée que ce soit dans les écoles ou à l'extérieur. Pour des composés tels que le Butanal et l'Isopentanal en juin et le Pentanal, l'Hexanal et l'Isopentanal en janvier, les concentrations mesurées à l'extérieur sont toutes inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

Comme dans le cas du formaldéhyde, l'école Sonia Delaunay présente les concentrations les plus basses pour de nombreux composés mesurés notamment ceux dont la proportion en air intérieur est importante (Hexanal, Butanal…).

d. Comparaison avec d'autres études réalisées dans des établissements scolaires français

Etude	Période	Nombre et type de classe	Polluants	Concentrations µg/m^3			
				moyenne	min	médiane	max
Campagne pilote OQAI 2001	Mai - juin 01	12 écoles primaires 4 classes maternelles 2 dortoirs	Formaldéhyde Acétaldéhyde Hexaldéhyde		13,6 6,0 6,4	38,4 9,7 18,1	66,8 16,2 44,2
Campagne ASPA Strasbourg 2004 -2005	Nov-dec 04 Janv 05	222 classes primaires	Formaldéhyde Acétaldéhyde Propanal Butanal Benzaldéhyde Isopentanal Pentanal	22 7 3 8 1 1 2	4 2 < 0,4 1 < 0,4 < 0,5 1	19 7 2 7 1 1 2	80 26 19 30 6 2 19

Campagne Air Breizh Agglomération de Rennes 2007-2008	Déc 07 Juin 08	4 écoles primaires	Formaldéhyde Acétaldéhyde Acroléine Propanal Butanal Benzaldéhyde Isopentanal Pentanal Hexanal	29,6 6,8 0,3 2,7 8,6 1,0 1,0 3,2 16,7	18,6 5,6 0,2 2,3 6,2 0,4 0,9 1,9 11,1	25,5 6,5 0,3 2,7 8,6 1,0 1,0 2,5 11,8	60,6 8,7 0,4 3,2 10,9 1,6 1,2 6,0 32,2
Campagne Air Breizh Agglomération de Rennes 2009-2010	**Juin 09 Janv 10**	**5 écoles primaires**	**Formaldéhyde Acétaldéhyde Acroléine Propanal Butanal Benzaldéhyde Isopentanal Pentanal Hexanal**	**24,7 4,2 - 1,5 4,7 0,8 0,7 1,6 8,3**	**8,4 2,9 - 1 3,7 0,3 0,3 1,1 5**	**18,5 3,9 - 1,6 4,6 0,6 0,6 1,5 8,3**	**71,5 5,7 - 1,8 6,7 2,1 1,8 2,4 12,6**

Tab. 2 : Concentrations en aldéhydes dans différents établissements scolaires en France

e. Etude de l'influence de différents facteurs

Lors de la sélection des établissements suivis pendant cette campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur à Rennes, le choix s'est porté, entre autre, sur deux établissements déjà instrumentés lors de la campagne précédente (2007-2008), dans le but de savoir si certaines actions pouvaient avoir un impact immédiat sur les concentrations en formaldéhyde.

Dans l'école Jean Moulin, des consignes d'aérations systématiques à chaque récréation ont été données et dans l'école Robert Doisneau, le débit de la ventilation a été ajusté avant le début de la campagne.

Les résultats des deux campagnes de mesures dans les deux écoles sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Concentration en Formaldéhyde (en µg/m^3)		Campagne Air Breizh	
		2007-2008	2009-2010
Doisneau	Eté	30,0	24,7
	Hiver	18,7	12,4
Moulin	Eté	30,2	21,2
	Hiver	21,4	12,8

Tab. 3 : Impact de certains facteurs sur les concentrations en formaldéhyde

Dans l'école Robert Doisneau, les concentrations ont diminué entre les deux campagnes de mesures, que ce soit en période estivale ou en période hivernale. Le nettoyage des entrées d'air semble donc avoir un impact sur les concentrations en formaldéhyde. A partir des fiches de suivi remplies par l'enseignant, on remarque que l'ouverture des fenêtres est régulière (en hiver et en été), comme lors de la précédente campagne, mais non systématique.

Dans l'école Jean Moulin, les concentrations en formaldéhyde ont elles aussi diminuées lors de la campagne de 2009-2010, que ce soit en période estivale ou hivernale. L'ouverture systématique des fenêtres par l'enseignant a été vérifié à partir des fiches de suivi et semblent donc avoir un impact sur les concentrations en formaldéhyde.

L'ouverture de fenêtre ou la VMC ne sont pas les seuls critères impactant la qualité de l'air intérieur, ainsi la température de la classe et les produits utilisés doivent être pris en compte.

1. Les températures ont été mesurées dans les classes parallèlement aux mesures d'aldéhydes et les résultats ainsi que ceux de la campagne 2007-2008 sont présentés dans le tableau suivant :

	Doisneau				Moulins			
	Eté		Hiver		Eté		Hiver	
	2007-2008	2009-2010	2007-2008	2009-2010	2007-2008	2009-2010	2007-2008	2009-2010
Moyenne	26,2	20,8	16,7	15,6	27,2	22,2	19,2	20,9
Médiane	25,7	20,5	16,1	15,3	27,0	22,1	18,9	21,3
Maximum	34,2	24,8	20,7	22,4	34,2	34,5	23,9	26,0
Minimum	19,2	18,2	13,9	9,6	24,7	13,9	12,9	10,2

Tab. 4 : Comparaison des températures de deux classes lors des deux campagnes de mesures

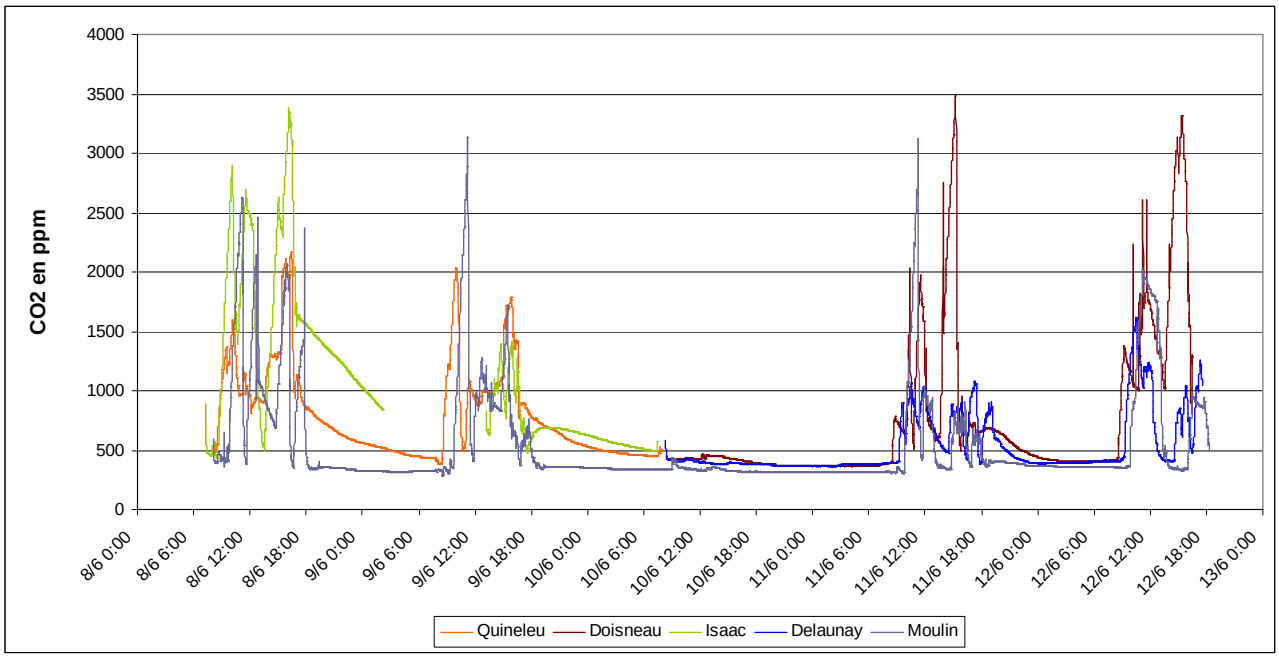
Le formaldéhyde étant un composé très volatil et sensible à la chaleur, ses émissions sont plus fortes avec des températures élevées. Quelque soit l'école, la moyenne et la médiane des températures de la campagne 2009-2010, sont inférieures (environ 5°C) à celles de la campagne 2007-2008 pour la période estivale et du même ordre de grandeur pour la période hivernale. Ces écarts de températures peuvent être un des facteurs responsables des diminutions de concentrations dans les écoles entre les deux campagnes, notamment en période estivale, et empêche donc de conclure sur l'influence de l'ouverture systématique des fenêtres ou le réglage des débits de ventilation.

2. L'utilisation de produits ménagers est une source importante de formaldéhyde dans les classes et peut donc aussi avoir une influence. Elle se fait de manière régulière, quelque soit la campagne, mais la quantité utilisée par le personnel n'est pas identifiable.

IV.3. Les niveaux de dioxyde de carbone

Les concentrations en dioxyde de carbone sont particulièrement bien corrélées avec le degré d'occupation des salles. Les fluctuations des concentrations correspondent au temps de présence des élèves dans les classes (augmentation brusque à l'arrivée des élèves le matin et de retour après les récréations et les pauses déjeuners, diminution lors des départs en récréation et le soir).

Campagne estivale



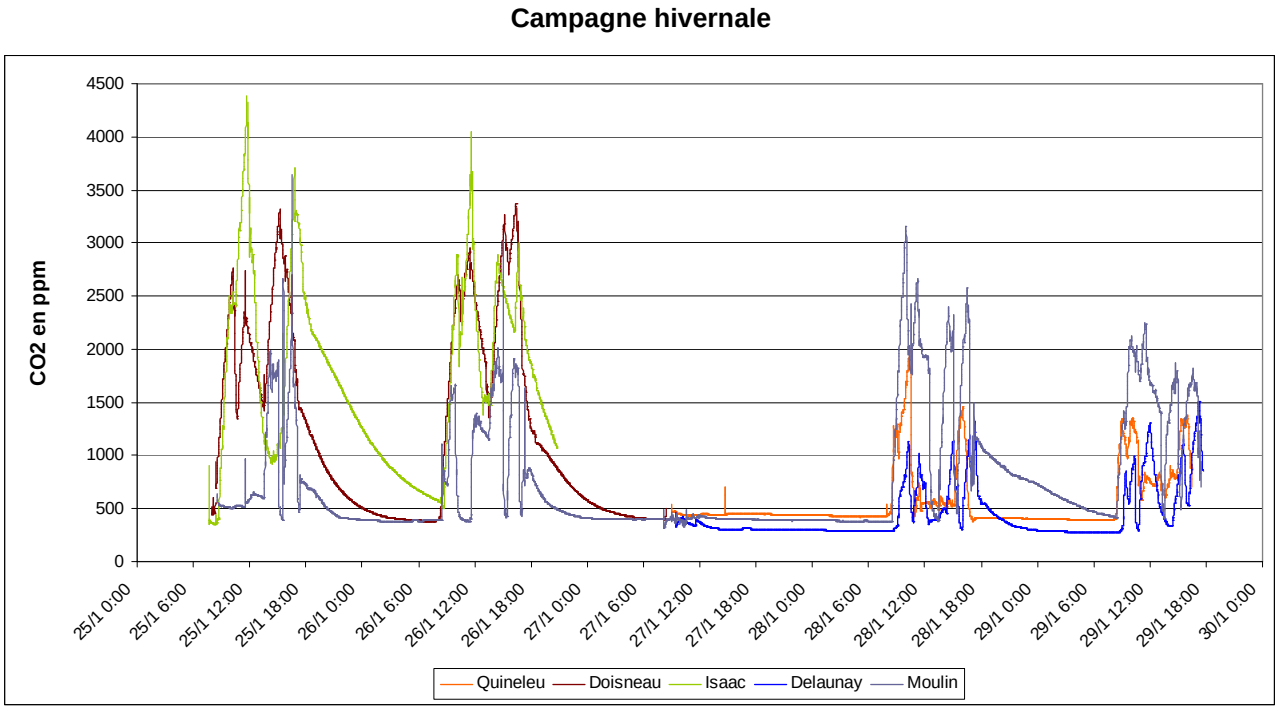


Fig. 9 : Evolution des concentrations de CO_2 dans les différentes écoles en été et en hiver

La valeur seuil imposée par le règlement sanitaire départemental (RSD) fixée à 1300 ppm est dépassée au moins une fois dans chaque école, en période estivale comme en période hivernale.

En admettant que les élèves sont présents en classe tous les jours (mercredi excepté) de 8h30 à 16h30, les pourcentages de dépassement de cette valeur durant leur présence dans chaque école sont de :

En période estivale :

30 % pour la maternelle Quineleu,

47 % pour l'école R. Doisneau,

57 % pour l'école J. Isaac,

5 % pour l'école S. Delaunay,

23 % pour l'école Jean Moulin,

En période hivernale :

16 % pour la maternelle Quineleu,

95 % pour l'école R. Doisneau,

78 % pour l'école J. Isaac,

0,3 % pour l'école S. Delaunay,

51 % pour l'école Jean Moulin,

IV.4. Les niveaux de monoxyde de carbone

Les mesures de monoxyde de carbone ont été réalisées en continu dans les classes, les niveaux moyens sont compris entre 0,08 et 0,45 mg/m^3 pour la période hivernale et entre 0,06 et 0,28 mg/m^3 pour la période estivale.

Pour les calculs et dans le but de ne considérer que le temps de présence des enfants caractéristique de leur exposition, la plage horaire prise en compte est de 8h30 à16h30 pour toutes les écoles, sauf pour

l'école Sonia Delaunay où elle est de 9h15 à 17h15.

Ecoles (en mg/m³)		Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum
Quineleu	Juin 2009	0,14	0,12	0,47	0
	Janvier 2010	0,08	0,12	0,35	0
Doisneau	Juin 2009	0,13	0,12	0,58	0
	Janvier 2010	0,45	0,47	0,82	0,12
Isaac	Juin 2009	0,08	0,12	0,47	0
	Janvier 2010	0,34	0,35	0,70	0,12
Delaunay	Juin 2009	0,06	0	0,12	0
	Janvier 2010	0,21	0,23	0,47	0,12
Moulin	Juin 2009	0,28	0,23	1,05	0
	Janvier 2010	0,11	0,12	0,35	0

Tab. 5 : Synthèse des résultats

La valeur maximale de la campagne est de 1,05 mg/m^3 (école Jean Moulin le mardi 8 juin à 9h11). L'ensemble des valeurs guides proposées par l'AFSSET est respecté, durant les deux campagnes de mesures.

IV.5. Evaluation du confinement à partir des concentrations en dioxyde de carbone

a. Méthodologie

Afin d'évaluer le taux de renouvellement d'air dans les classes, les concentrations en dioxyde de carbone, et plus particulièrement les phases de décroissance, vont être étudiées.

La loi de décroissance des concentrations en fonction du temps est la suivante :

$$\left(C_{\mathrm{int}(t)} - C_{ext}\right) / \left(C_{\mathrm{int}(0)} - C_{ext}\right) = e^{(-Nt)} \qquad [5]$$

Avec : $C_{int(t)}$ est la concentration intérieure de CO_2 à la fin de la phase de décroissance après un temps t
$C_{int(0)}$ est la concentration intérieure de CO_2 au début de la phase de décroissance
C_{ext} est la concentration de CO_2 à l'extérieur, soit la concentration minimum
N est le taux de renouvellement d'air du local (vol/h).

L'exploitation des séquences de décroissance va permettre de connaître le renouvellement d'air en période d'inoccupation de la classe. En période d'occupation, ce renouvellement est nécessairement moins important dans la mesure où les élèves et le professeur émettent du dioxyde de carbone par la respiration.

Conformément aux préconisations de l'OQAI, la concentration extérieure en CO_2 sera estimée à partir de la valeur minimale de CO_2 enregistrée lors d'une longue période d'inoccupation de la pièce (nuit).

Les phases de décroissance sont détaillées par écoles et par saison et sont sélectionnées en fonction des horaires de récréation, de repas ou de départ (soit 4 phases par jour). Le renouvellement d'air est ensuite calculé à partir de la loi de décroissance des concentrations.

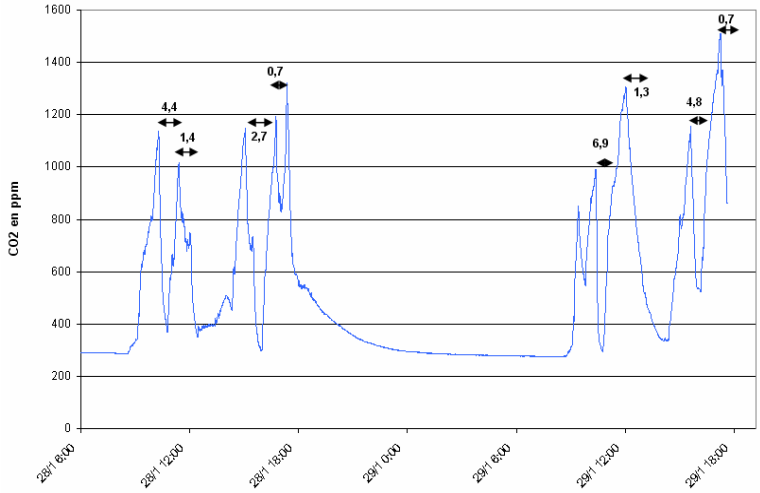


Fig. 10 : Evaluation du confinement par la méthode de décroissance, pour l'école Sonia Delaunay en période hivernale

Les calculs sont réalisés de la même façon pour toutes les écoles pendant les périodes estivale et hivernale, les résultats son présentés dans les tableaux en annexe.

Lors de certaines phases, le confinement n'a pas pu être calculé soit en raison de l'absence des élèves liée à des activités extérieures et donc à l'inexistence d'une phase de décroissance, soit en raison de l'ouverture de fenêtre engendrant un écart de concentration insuffisant entre le début et la fin de la phase.

Les taux de renouvellement d'air, calculés à l'aide de la méthode de décroissance, sont compris entre 0,17 vol/h et 8,59 vol/h l'hiver, et entre 0,26 vol/h et 7,90 vol/h l'été. Ils sont donc très variables et sont fortement dépendants de l'ouverture des fenêtres ou des portes. En effet, lorsque les fenêtres sont fermées, les taux sont pratiquement tous inférieurs à 1 vol/h.

L'école Jean Moulin, dans laquelle des consignes d'ouverture et de fermeture systématiques ont été données, est l'établissement dans lequel les renouvellements d'air sont les plus importants. L'étude des renouvellements d'air permet aussi d'observer que cette consigne a été respectée.

Conclusions - Perspectives

Cette campagne de mesure a permis d'étendre la caractérisation de la qualité de l'air à l'intérieur des établissements de la ville de Rennes qui avait débuté lors d'une étude réalisée en 2007-2008. Ces campagnes ont aussi permis d'observer l'influence d'une modification de l'aération dans les deux écoles ré-instrumentées et d'établir un point zéro dans des établissements dans lesquels des travaux seront réalisés, permettant à l'avenir d'étudier leurs impacts sur la qualité de l'air.

Les mesures réalisées concernaient les concentrations des aldéhydes dont le formaldéhyde, du CO, du CO_2 ainsi que les paramètres de confort (température et humidité relative).

Les résultats de mesure sont proches de ceux mesurés lors de la première campagne de mesure à Rennes ainsi que de ceux rencontrés dans d'autres établissements en France.

Il faut toutefois noter que les concentrations mesurées sont supérieures aux valeurs seuils ou valeurs réglementaires.

En effet, pour le formaldéhyde, les concentrations sont pratiquement toujours supérieures à la valeur guide pour une exposition à long terme fixée à 10 µg/m^3 par l'AFSSET, quelque soit la période de mesure (à l'exception de l'école Sonia Delaunay en période hivernale). Elles dépassent la valeur la valeur guide pour une exposition à court terme fixée à 50 µg/m^3 par l'AFSSET dans l'école Jules Isaac avec 71,5 µg/m^3 en période estivale.

Pour le CO_2, la valeur de référence du Règlement Sanitaire Départemental de 1300 ppm est très souvent dépassée dans la plupart des établissements, quelque soit la période. L'école Sonia Delaunay est le seul établissement dont les concentrations ne dépassent que très rarement cette valeur.

Le suivi de deux écoles ayant déjà participé à l'étude précédente a permis d'observer l'impact de différentes actions sur les concentrations en formaldéhyde. L'ouverture systématique des fenêtres aux récréations ainsi que le nettoyage des entrées d'air semblent faire diminuer la concentration dans la classe. En revanche, d'autres facteurs pouvant faire varier la concentration ne peuvent être maitrisés et empêchent donc de conclure catégoriquement.

L'impact de l'ouverture des fenêtres sur les concentrations en CO_2 a en revanche été démontré notamment à partir de l'étude des taux de renouvellement d'air, permettant ainsi de penser qu'elle agit de la même façon avec les autres polluants de l'air intérieur.

Bibliographie

[1] INRS – Fiches Toxicologiques

[2] AFSSET – Valeurs guides de qualité d'air intérieur – Document cadre et éléments méthodologiques – Juillet 2007

[3] MOSQUERON L., NEDELLEC V. – Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments - Actualisation des données sur la période 2001-2004 – Rapport OQAI - Paris – 2004 – 61 p.

[4] Air Breizh – Qualité de l'air intérieur en milieu scolaire – Avril 2009

[5] OQAI - Campagne nationale Logements – Etat de la qualité de l'air dans les logements français – Rapport Final – Novembre 2006

Annexe

Evaluation du confinement durant les campagnes estivale et hivernale :

- Pour la période estivale

Jour	Quineleu			Robert Doisneau			Jules Isaac			Sonia Delaunay			Jean Moulins		
	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Créneau	Durée (h)	N vol/h	Créneau	Durée (h)	N vol/h
08/06/2009	10h30	0,5	1,23	/	/	/	10h	0,5	1,68	/	/	/	10h05	0,5	4,84
	11h30	1,0	0,38	/	/	/	11h30	1	0,54	/	/	/	11h30	1	1,22
	15h	0,3	/	/	/	/	15h	0,25	0,31	/	/	/	15h05	0,25	7,90
	16h30	1,0	1,08	/	/	/	16h30	1	0,85	/	/	/	16h30	1	4,36
09/06/2009	10h30	0,5	4,89	/	/	/	10h	0,5	/	/	/	/	10h05	0,5	5,45
	11h30	1,0	0,26	/	/	/	11h30	1	/	/	/	/	11h30	1	0,56
	15h	0,3	/	/	/	/	15h	0,25	/	/	/	/	15h05	0,25	1,7
	16h30	1,0	0,77	/	/	/	16h30	1	2,45	/	/	/	16h30	1	1,49
11/06/2009	/	/	/	10h15	0,5	3,77	/	/	/	10h30	0,5	0,98	10h05	0,5	5,70
	/	/	/	11h30	1,0	1,54	/	/	/	12h	1	0,82	11h30	1	1,97
	/	/	/	15h15	0,3	7,40	/	/	/	15h15	0,25	/	15h05	0,25	1,82
	/	/	/	16h30	1,0	/	/	/	/	17h	1	/	16h30	1	1,17
12/06/2009	/	/	/	10h15	0,5	0,11	/	/	/	10h30	0,5	0,78	10h05	0,5	0,15
	/	/	/	11h30	1,0	0,27	/	/	/	12h	1	2,27	11h30	1	1,87
	/	/	/	15h15	0,3	/	/	/	/	15h15	0,25	2,81	15h05	0,25	/
	/	/	/	16h30	1,0	/	/	/	/	17h	1	/	16h30	1	1,43

- Pour la période hivernale

Jour	Quineleu			Robert Doisneau			Jules Isaac			Sonia Delaunay			Jean Moulins		
	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Heure du début	Durée (h)	N vol/h	Créneau	Durée (h)	N vol/h	Créneau	Durée (h)	N vol/h
25/01/2010	10h15	0,5	**3,27**	/	/	/	10h	0,5	***I***	/	/	/	10h05	0,5	/
	11h30	1,0	**1,99**	/	/	/	11h30	1	**0,44**	/	/	/	11h30	1	/
	15h	0,3	***I***	/	/	/	15h	0,25	***I***	/	/	/	15h05	0,25	8,59
	16h30	1,0	**2,92**	/	/	/	16h30	1	**0,62**	/	/	/	16h30	1	1,44
26/01/2010	10h15	0,5	**0,86**	/	/	/	10h	0,5	**0,82**	/	/	/	10h05	0,5	4,27
	11h30	1,0	**0,28**	/	/	/	11h30	1	**0,66**	/	/	/	11h30	1	0,17
	15h	0,3	/	/	/	/	15h	0,25	**0,18**	/	/	/	15h05	0,25	6,03
	16h30	1,0	/	/	/	/	16h30	1	**0,30**	/	/	/	16h30	1	0,98
28/01/2010	/	/	/	10h15	0,5	**1,60**	/	/	/	10h30	0,5	***I***	10h05	0,5	0,63
	/	/	/	11h30	1,0	**0,27**	/	/	/	12h	1	**1,40**	11h30	1	2,84
	/	/	/	15h15	0,3	**0,21**	/	/	/	15h15	0,25	**0,22**	15h05	0,25	4,77
	/	/	/	16h30	1,0	**0,62**	/	/	/	17h	1	**0,73**	16h30	1	3,16
29/01/2010	/	/	/	10h15	0,5	**0,57**	/	/	/	10h30	0,5	***I***	10h05	0,5	0,23
	/	/	/	11h30	1,0	**0,30**	/	/	/	12h	1	**1,35**	11h30	1	0,38
	/	/	/	15h15	0,3	**0,18**	/	/	/	15h15	0,25	***I***	15h05	0,25	5,77
	/	/	/	16h30	1,0	**0,92**	/	/	/	17h	1	**0,62**	16h30	1	1,59