



# évaluation de la qualité de l'air intérieur

dans 4 lycées de la région Pays de la Loire

mars 2010 – juin 2010 – rapport final



# sommaire

synthèse .....	2
introduction .....	8
air intérieur : polluants, sources, niveaux de pollution et effets sanitaires .....	9
les polluants à surveiller prioritairement .....	10
les sources de la pollution intérieure .....	11
les niveaux de pollution déjà mesurés dans les écoles et lycées .....	12
les effets sanitaires .....	15
<b>méthodologie .....</b>	<b>17</b>
objectif de la campagne .....	17
choix des établissements .....	17
périodes de mesure .....	18
dispositif de mesure .....	18
<b>les résultats .....</b>	<b>20</b>
exploitation des enquêtes sur les sources potentielles de pollution .....	21
suivi des paramètres de confort et de confinement .....	23
suivi des aldéhydes .....	28
suivi des BTEX .....	31
comparaison aux valeurs guides .....	33
préconisations visant à préserver et améliorer la qualité de l'air intérieur .....	34
préconisations générales .....	34
préconisations par lycée .....	40
<b>conclusions et perspectives .....</b>	<b>44</b>
<b>annexes .....</b>	<b>46</b>
annexe 1 : Air Pays de la Loire .....	47
annexe 2 : risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs .....	48
annexe 3 : principe d'échantillonnage par tubes passifs .....	49
annexe 4 : valeurs de référence de l'air intérieur .....	50
annexe 5 : informations issues des enquêtes dans les lycées .....	51
annexe 6 : diagramme des zones de confort .....	52
<b>bibliographie .....</b>	<b>53</b>
<b>glossaire .....</b>	<b>54</b>
abréviations .....	54

## contributions

Coordination de l'étude : Arnaud Rebours-Laurence Böhm- Rédaction : Laurence Böhm, Aurélie Sachot, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire, Validation : François Ducroz/ Luc Lavrilleux.

## conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2010 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org), etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

## remerciements

Air Pays de la Loire remercie le Conseil Régional des Pays de la Loire pour leur sollicitation dans la réalisation de cette étude dans 4 lycées de la région.

# synthèse

## contexte | **préserver la qualité de l'air intérieur : un enjeu de santé publique**

A la demande et avec le soutien financier de la Région des Pays de la Loire, Air Pays de la Loire a mis en œuvre une campagne de mesure de l'air intérieur dans 4 lycées de la région en 2010. Cette étude s'inscrit dans un contexte de prise en compte de la qualité de l'air intérieur comme enjeu de santé publique au niveau national et régional. La surveillance et la préservation de la qualité de l'air intérieur font en effet l'objet d'actions du Grenelle de l'environnement, du Plan national santé environnement (PNSE 2) et du Plan régional santé environnement (PRSE 2) des Pays de la Loire.

Dans ce cadre, Air Pays de la Loire place aujourd'hui la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans ses problématiques prioritaires. C'est ainsi que durant les années 2008 à 2010, quatre actions concernant la surveillance de l'air intérieur dans les établissements d'enseignement ont été engagées :

- t une étude expérimentale dans deux établissements d'enseignement nantais (lycée Clemenceau) ;
- t une participation à un programme national concernant 15 établissements "petite enfance" ;
- t une étude régionale dans 4 lycées des Pays de la Loire ;
- t une étude nationale « Indice fongique et indice de confinement 2010 ».

## objectifs | **évaluation de la qualité de l'air avec préconisations à destination des gestionnaires**

Les objectifs de l'étude dans les 4 lycées sont :

- évaluer les niveaux de polluants intérieurs (aldéhydes, BTEX<sup>1</sup>,...), de confinement (mesure du dioxyde de carbone) et de confort (température et humidité relative) dans les salles de cours ;
- recueillir des informations sur les sources potentielles de pollution de l'air intérieur ;
- proposer aux gestionnaires des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs et au confinement.

## moyens | **des mesures de polluants prioritaires et de confinement**

Deux groupes de mesure des composés organiques volatils (COV) ont été effectués dans quatre salles d'un même établissement : les aldéhydes et les BTEX, en particulier le formaldéhyde et le benzène considérés comme des polluants prioritaires en matière de surveillance par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses). La mesure de ces polluants a été réalisée selon les protocoles nationaux : protocoles de surveillance du formaldéhyde et du benzène. Un suivi continu du dioxyde de carbone, de la température et de l'humidité a également été effectué.

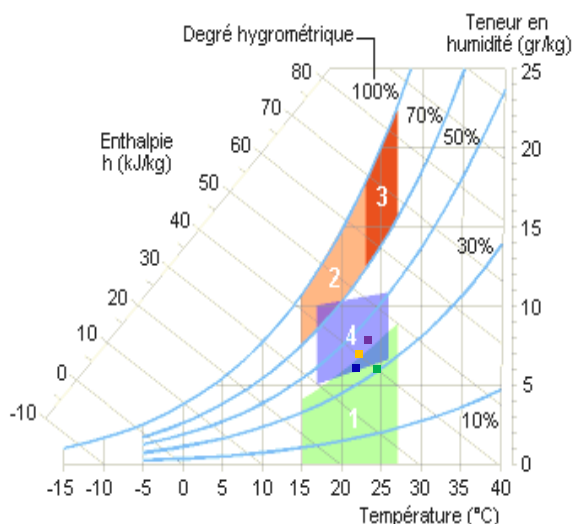
Les lycées ayant intégrés des démarches de développement durable ont été sélectionnés (Haute qualité environnementale, choix de matériaux écologiques, utilisation de produits d'entretien écologiques ...). La sélection a donc porté sur les lycées suivants :

- t Lycée d'enseignement général et technologique Lavoisier à Mayenne (53) ;
- t Lycée technologique Funay-Hélène Boucher au Mans (72) ;
- t Lycée d'enseignement général David d'Angers à Angers (49) ;
- t Lycée technologique Eric Tabarly aux Sables-d'Olonne (85) ;

---

<sup>1</sup> Benzène, toluène, éthylbenzène, m, p, o -xylène

résultats I un niveau de confinement ponctuellement élevé et des teneurs en polluants en dessous des valeurs de gestion des niveaux de température et humidité relative variables selon les établissements



- Lycée Lavoisier (Mayenne)
- Lycée Funay –Boucher (Le Mans)
- Lycée David d'Angers (Angers)
- Lycée Eric Tabarly (Sables d'O.)

diagramme de confort hygro-thermique (zone optimale: zone 4)

- 1 : zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2/3 : zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.
- 3 : zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : polygone de confort hygrothermique.

Source : ISELT P., ARNDT U., CAUCHEPIN J.L, *Manuel de l'humidification de l'air*, 1997 - 240 p., Paris

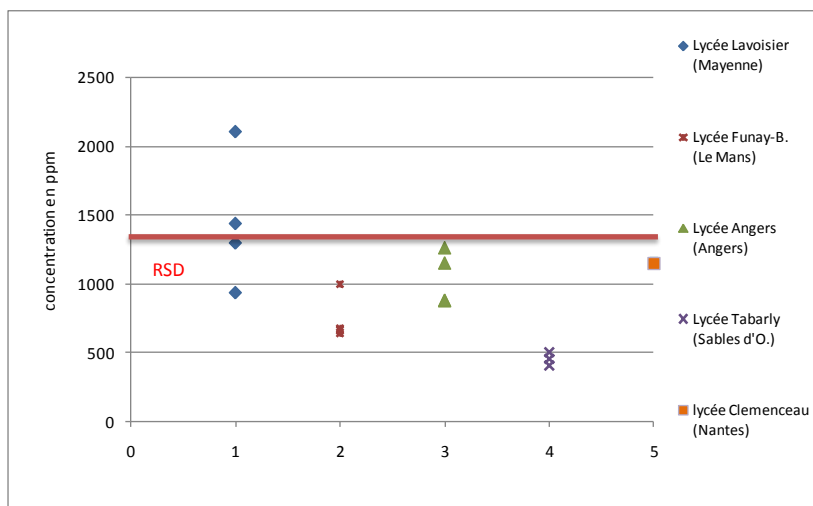
Sachant que la zone optimale de confort se situe entre 18 et 25°C pour la température et 35 et 70% pour l'humidité relative, il apparaît que les paramètres du lycée Funay-Boucher se situent hors de la zone optimale de confort (zone 4) en moyenne sur les deux périodes de mesure. Avec une humidité relative inférieure à 35%, l'atmosphère y apparaît trop sèche dans les salles de cours. Au lycée Lavoisier, l'humidité relative est aussi inférieure à 35%, en mars, mais la moyenne sur les deux périodes de mesure ramène les paramètres de confort en zone optimale.

Pour les 2 autres lycées, les valeurs moyennes en température et humidité relative sont optimales.

### un confinement élevé dans certaines salles de cours

Les résultats des mesures de dioxyde de carbone (CO2) montrent que les lycéens peuvent être exposés pendant plusieurs heures de la journée (jusqu'à 66%) à des concentrations en dioxyde de carbone dépassant le seuil à ne pas dépasser de 1300 ppm préconisé par le Règlement sanitaire départemental (RSD) (maximum de 5300 ppm enregistré). Or Il a été démontré que la performance des élèves, déclinée en termes de temps de réaction, absentéisme ou performance mentale, peut être affectée par une concentration en dioxyde de carbone élevée.

Avec des concentrations moyennes en mars variant de 1438 et 2109 ppm, deux salles du lycée Lavoisier à Mayenne (salles A16 et B8) sont considérées comme confinées. Les niveaux moyens en CO2 dans les salles de cours des autres lycées sont inférieurs au seuil du RSD, mais peuvent le dépasser ponctuellement en fin de matinée.

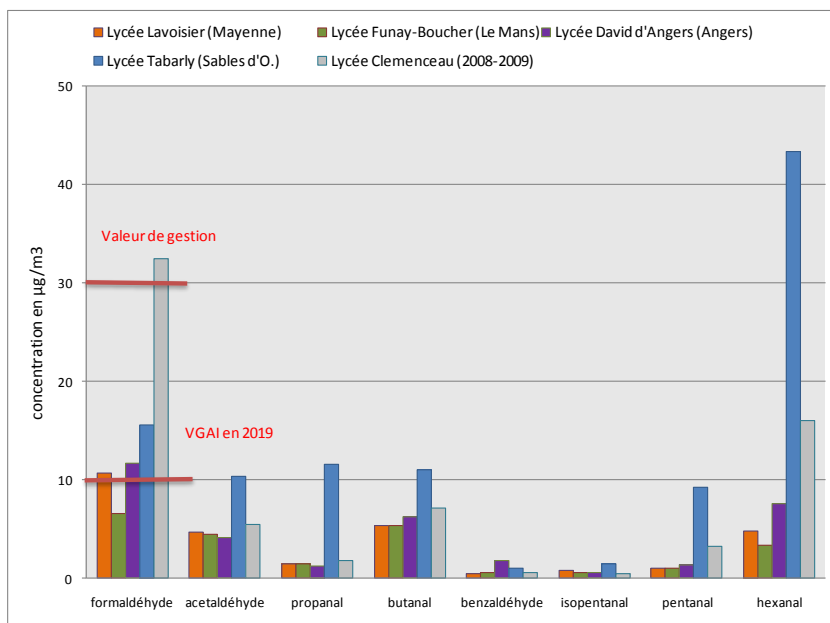


Concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les salles des 4 lycées en mars (et lycée Clemenceau à titre indicatif)

### des teneurs en formaldéhyde en dessous de la valeur de gestion du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP)

Les concentrations moyennes en aldéhydes mesurées dans les lycées sont comparables à la moyenne des valeurs enregistrées dans les études françaises (OQAI, AASQA), excepté au lycée Tabarly qui se distingue des autres lycées avec des teneurs en aldéhydes plus élevées (jusqu'à 50%). La livraison récente du bâtiment en septembre 2009 avec la présence de matériaux neufs peut expliquer ces taux d'aldéhydes plus importants.

Hormis au lycée Clemenceau (à titre indicatif), les valeurs moyennes retrouvées en formaldéhyde au sein des salles de cours des lycées sont comprises entre 6,6 et 15,1 µg/m<sup>3</sup> et n'excèdent donc pas la valeur de gestion<sup>2</sup> de 30 µg/m<sup>3</sup>, proposée par le Haut Conseil en Santé Publique (HCSP). Les valeurs moyennes de formaldéhyde dépassent la valeur guide de qualité de l'air intérieur<sup>3</sup> de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses) de 10 µg/m<sup>3</sup> à atteindre en 2019 sauf au lycée Funay-Boucher.



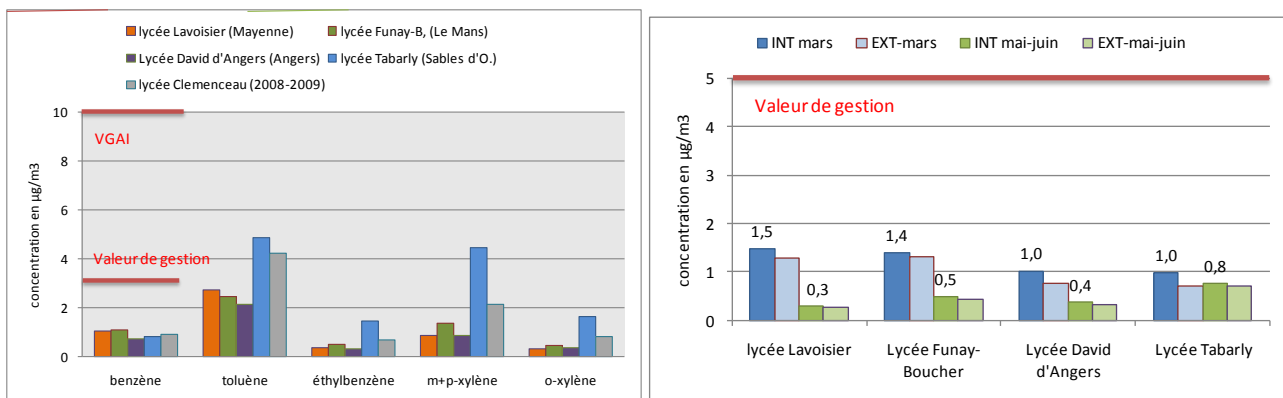
Concentrations moyennes en aldéhydes dans les 5 lycées

<sup>2</sup> Valeur de gestion (HCSP) : valeur en dessous de laquelle aucune action correctrice spécifique n'est spécifiée

<sup>3</sup> Valeur guide (Anses) : valeur à partir de laquelle des actions de protection de la santé doivent être mises en place

Au lycée Clemenceau, où la valeur moyenne annuelle en 2008-2009 en formaldéhyde était de  $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Il conviendra de profiter des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs.

### des teneurs en benzène en dessous de la valeur de gestion du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) et de la Valeur Guide Air Intérieur (VGAI)



Concentrations moyennes en BTEX et évolution des niveaux de benzène dans les lycées lors des deux périodes de mesure

Les niveaux moyens en benzène sont homogènes entre les lycées par comparaison à ceux de toluène, éthylbenzène et xylènes. Ces derniers sont mesurés en plus fortes concentrations au lycée Tabarly (50%), suggérant des émissions de COV plus importantes (mobilier neufs, cours de mécanique).

Globalement, les concentrations moyennes en benzène enregistrées demeurent inférieures aux valeurs de gestion du Haut Conseil en Santé Publique de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et à la valeur guide de qualité de l'air intérieur de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  proposée par l'Anses pour une exposition à long terme (vie entière).

## bilan et préconisations : des niveaux de polluants pouvant être réduits grâce à une meilleure aération des locaux et l'achat de matériaux et produits d'entretien peu émissifs en COV

Ces résultats du suivi de la qualité de l'air intérieur dans les quatre lycées ont mis en évidence :

- un niveau de confinement élevé à certaines heures de cours dans les salles de tous les lycées (sauf 2 salles au lycée Tabarly), avec des dépassements ponctuels du seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental (RSD) ;
- des concentrations moyennes en formaldéhyde en dessous de la valeur de gestion du Haut conseil en santé public (HCSP) dans les lycées hormis au lycée Clemenceau, valeur en dessous de laquelle aucune action correctrice spécifique n'est spécifiée ;
- des concentrations moyennes en benzène homogènes entre les établissements et en dessous des valeurs de gestion du Haut conseil en santé public ;
- des niveaux de certains aldéhydes et de Toluène, éthylbenzène et Xylènes plus élevés d'un facteur 2 au lycée Tabarly, liés aux matériaux récents du lycée.

En termes de **préconisations générales** pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur dans les locaux, des recommandations sont proposées sur l'utilisation de matériaux et les produits émettant moins de Composés organiques volatils (COV) et les habitudes comportementales dans les locaux.

- **constructif** : limiter les sources de COV lors de la rénovation, d'un réaménagement des intérieurs en choisissant des matériaux de construction, de décoration et produits associés peu émissifs en COV grâce aux labels et informations fournis par les industriels ;
- **meubler** : choisir du mobilier de type classement E1 ou EPFS (faibles émissions des panneaux de bois).
- **systèmes de ventilation** : entretenir régulièrement les systèmes de ventilation et compléter le renouvellement d'air pour ouverture des ouvrants ;
- **entretien** : poursuivre l'utilisation des produits peu émissifs en COV (Labels écologiques) en nombre limité et aérer les locaux pendant l'entretien ;
- **habitudes comportementales** : aérer les locaux aux intercourts et pendant certaines activités pouvant émettre des polluants (bricolage, dessin, mécanique, ...)

L'étiquetage d'ici 2012 des matériaux de construction devrait faciliter la décision des gestionnaires d'établissement dans le choix de matériaux peu émissifs. A titre indicatif et positif, l'approche expérimentale en matière d'aération et réduction des produits d'entretien menée dans le lycée Clemenceau en 2008-2009 a entraîné une baisse des niveaux de formaldéhyde de 30%.

En termes de **préconisations pour chaque lycée**, les propositions suivantes peuvent être faites :

Compte-tenu des niveaux plus importants d'aldéhydes et BTEX mesurés au lycée Tabarly, un maintien des débits de ventilation en vitesse maximale dans les salles de cours serait souhaitable afin que les concentrations en polluants atteignent un niveau plus faible. Il est aussi conseillé d'effectuer des activités de construction mécanique particulièrement polluantes dans les locaux adaptés (haut débit d'extraction d'air).

Au lycée Lavoisier, des niveaux de confinement importants ont pu être mesurés suggérant qu'une ouverture des fenêtres régulières serait souhaitable pendant les heures de cours, afin de faire baisser les niveaux de dioxyde de carbone.

Au lycée Funay-boucher et David d'Angers, une vérification du réglage des systèmes de ventilation serait nécessaire, associée à un renouvellement de l'air par ouverture des ouvrants, afin de diminuer le confinement ponctuel et améliorer les conditions climatiques des salles de cours du lycée Funay-Boucher. La mise en place de ces actions correctrices devait permettre de maintenir un air de bonne qualité dans les salles de cours.

En termes de **perspectives**, il serait intéressant de poursuivre ce suivi de la qualité de l'air intérieur au niveau du **lycée Tabarly**. Il permettrait d'évaluer la baisse des niveaux de COV liés aux émissions des produits de construction et du mobilier récents d'une part et d'autre part d'étudier l'impact des préconisations proposées.

Compte-tenu des niveaux de formaldéhyde mesurés **au lycée Clemenceau**, Il conviendra d'engager des actions de réduction des émissions lors de travaux de rénovation par le choix de matériaux moins émissifs, afin de **favoriser l'évolution progressive** des niveaux vers l'objectif de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Lors de cette étude, les 4 lycées ayant intégré une démarche de développement durable (HQE, choix de matériaux écologiques et de produits d'entretien écologiques ...) **présentent des niveaux de COV en dessous des valeurs de gestion**, n'engageant aucune action correctrice. La mise en place d'une **évaluation** de la **qualité de l'air** dans d'autres lycées de la région n'ayant pas mis en œuvre cette démarche pourrait permettre d'étendre le diagnostic et donner des éléments complémentaires de préconisations.

A titre de complément d'information, Air Pays a pour projet après avoir développé son expertise en matière de surveillance des environnements intérieurs (écoles, crèches, parkings, aérogare), de **l'étendre en menant** des études exploratoires relatives à la **quantification** des **émissions** de formaldéhyde par le mobilier et les produits de construction et de décoration.



# introduction

**A** la demande et avec le soutien financier de la Région des Pays de la Loire, Air Pays de la Loire a mis en œuvre une campagne de mesure de l'air intérieur dans 4 lycées de la région en 2010. Cette étude s'inscrit dans un contexte de prise en compte de la qualité de l'air intérieur comme enjeu de santé publique au niveau national et régional. La surveillance et la préservation de la qualité de l'air intérieur font en effet l'objet d'actions des Plans nationaux santé (PNSE1 et 2), du Grenelle de l'environnement et des Plans régionaux santé environnement (PRSE 1 et 2) des Pays de la Loire.

Dans ce cadre, Air Pays de la Loire place aujourd'hui la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans ses problématiques prioritaires. C'est ainsi que durant les années 2008 à 2010, quatre actions concernant la surveillance de l'air intérieur dans les établissements d'enseignement ont été engagées :

- t une étude expérimentale dans deux établissements d'enseignement nantais (lycée Clemenceau) ;
- t une participation à un programme national concernant 15 établissements "petite enfance" ;
- t une étude régionale dans 4 lycées des Pays de la Loire ;
- t une étude nationale « Indice fonctique et indice de confinement 2010 ».

# air intérieur : polluants, sources, niveaux de pollution et effets sanitaires

La pollution de l'air ne se limite pas à l'extérieur : elle concerne également la pollution à l'intérieur des locaux, dans lesquels nous passons 80 à 90% de notre temps. Des études ont en effet montré que certains polluants se retrouvent en plus grande quantité à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur et que des affections respiratoires trouvent leur origine dans des environnements clos (habitat, école, lieu de travail, etc.).

## les polluants à surveiller prioritairement

La problématique de la qualité de l'air intérieur est à l'origine de la création d'un Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) en 2001. Cet observatoire a pour objectif de mieux connaître la pollution intérieure, ses origines et ses dangers, notamment grâce à des campagnes de mesure, et d'apporter des solutions adaptées à sa prévention et à son contrôle.

En 2002, l'OQAI a publié un classement des polluants de l'air intérieur effectué sur des critères de toxicité à court et long terme, les niveaux d'exposition observés, la traçabilité de certaines sources ainsi que sur la fréquence d'apparition des polluants dans les logements. Cette hiérarchisation sanitaire des polluants mesurés dans les bâtiments a été réalisée selon une démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires. Les travaux ont abouti à une classification des substances en quatre classes :

- 7 substances « hautement prioritaires » (Groupe A) : formaldéhyde, benzène, acétaldéhyde, particules, radon, di-éthylhexyl-phtalate (DEHP) et dichlorvos ;
- 12 substances « très prioritaires » (Groupe B) : dioxyde d'azote, allergènes de chien, acariens, toluène, trichloréthylène, plomb, tétrachloroéthylène, dieldrine, allergènes de chat, aldrine, paraffines chlorées à chaîne courte et monoxyde de carbone ;
- 51 substances « prioritaires » (Groupe C) parmi lesquelles des biocides, les champs électromagnétiques très basse fréquence, des composés organiques volatils, des éthers de glycol, les endotoxines, des phtalates, des organoétains et les fibres minérales artificielles ;
- 22 substances « non prioritaires » (Groupe D) parmi lesquelles le 1,1,1-trichloroéthane, des biocides, des phtalates (DMP), des alkyls phénols et des organoétains ;
- 8 substances « inclassables » (Groupe I) parmi lesquels le 2-éthoxyéthylacétate, le 2-méthoxyéthanol, le 2-méthoxyéthyleacétate, l'alkyl phénol (4NP), des phtalates (DPP), l'endosulfan, le 2-éthoxyéthanol et l'oxadiazon.

### publication de valeurs guides de qualité de l'air intérieur

Pour répondre à l'enjeu sanitaire représenté par la qualité de l'air intérieur, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) a travaillé sur l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) pour des polluants jugés prioritaires. Les valeurs guides de qualité de l'air intérieur correspondent à des concentrations d'une substance chimique dans l'air en dessous desquelles aucun effet sanitaire, aucune nuisance ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale. Elles ont pour principal objectif de fournir une base pour protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air. Un groupe de travail mis en place en 2005 a permis d'identifier une liste de substances pour lesquelles l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur a été jugée prioritaire : formaldéhyde, benzène, monoxyde de carbone, particules PM10, naphthalène, Phtalate de di (2-ethylhexyle)(DEHP), dioxyde d'azote, acétaldéhyde, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène et ammoniac [1].

Des valeurs guides ont été proposées pour le formaldéhyde, le monoxyde de carbone en 2007, pour le benzène en 2008, le tétrachloroéthylène (perchloroéthylène), le trichloroéthylène, le naphthalène et les particules fines en 2010 (annexes 4). Seule la mesure en regard d'une valeur de référence long-terme a été retenue pour l'étude dans les lycées. Une valeur guide de qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a été proposée par l'Anses pour une exposition long terme [2]. La valeur guide de qualité de l'air pour le benzène est de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition long terme afin de protéger la population contre les effets hématologiques non cancérogènes [3].

Depuis 2009, un avis du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a proposé des valeurs-repères d'aide à la gestion pour le formaldéhyde dans l'air intérieur (annexe 4). Le HCSP propose 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , comme valeur-repère de qualité d'air, en dessous de laquelle, « aucune action corrective spécifique n'est préconisée ». Pour le benzène, la valeur repère de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a été proposée en 2010.

## les sources de la pollution intérieure

La pollution de l'air intérieur se caractérise par un ensemble de polluants biologiques (moisissures, acariens), physiques (fibres, particules) et chimiques provenant de sources multiples :

- matériaux de construction, mobilier ;
- produits de décoration ;
- activités humaines : cuisine, chauffage, tabagisme, entretien, bricolage ;
- plantes et animaux ;
- air extérieur.

### sélection des polluants mesurés dans les lycées

Lors de la campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur dans les lycées, deux familles de Composés Organiques Volatils (COV) sont mesurées : les aldéhydes et les BTEX<sup>4</sup>. Plusieurs polluants de ces deux familles sont considérés par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) comme devant faire l'objet d'une surveillance prioritaire : c'est le cas de l'acétaldéhyde, du formaldéhyde et du benzène. Ces deux derniers font l'objet de valeurs guides de qualité de l'air intérieur de l'Anses.

### origines des polluants mesurés

Les sources d'aldéhydes et de BTEX sont multiples comme le montrent les tableaux 1 et 2 :

Sources des aldéhydes	
Formaldéhyde	Produits de construction (panneaux de particules) et de décoration (peintures, colles urée-formol), ameublement (bois reconstitué), produits d'entretien et de traitement, ordinateur, réactivité chimique entre l'ozone et certains COV, sources de combustion (fumée de tabac, bougies, bâtonnets d'encens, cheminées à foyer ouvert, cuisinières à gaz, poêles à pétrole), produits d'hygiène corporelle et cosmétique.
Acétaldéhyde	Ordinateur, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules, photochimie, fumée de tabac,
Benzaldéhyde	Peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité
Hexaldéhyde (ou hexanal)	Panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, produit de traitement du bois (phase aqueuse), panneaux de bois brut
Isobutyraldéhyde (ou isobutanal)	Photocopieurs
Isovaléraldéhyde (ou Isopentanal)	Parquet traité, panneaux de particules
Valéraldéhyde (ou pentanal)	Emissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules

Tableau 1 : sources d'aldéhydes (OQAI modifié, 2010)

Sources des BTEX	
Benzène	Carburants, fumée de tabac, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration
Toluène	Peintures, vernis, colles, encres, calfatage siliconé, vapeurs d'essence, moquettes, tapis
éthylbenzène	Carburant, cires
m/p-xylène et o-xylène	Peintures, vernis, colles, insecticides

Tableau 2 : sources de BTEX (OQAI, 2010)

Ces espèces chimiques sont largement utilisées dans la fabrication de nombreux produits, matériaux de construction et de décoration. Elles sont également émises par des sources de combustion et par les activités d'entretien et de bricolage. Leur point commun est de s'évaporer plus ou moins rapidement à la température ambiante et de se retrouver ainsi dans l'air. Les COV sont souvent plus nombreux et plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur compte tenu de la multiplicité des sources intérieures.

<sup>4</sup> Benzène, Toluène, éthylbenzène, méta-ortho-para-Xylène

## les niveaux de pollution déjà mesurés dans les écoles et lycées

Une étude bibliographique des résultats de concentrations en aldéhydes, BTEX et dioxyde de carbone a été réalisée à partir d'études de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur et de campagnes de mesure réalisées par d'autres associations de surveillance de la qualité de l'air. Cette étude permet de mettre en perspective les résultats du suivi dans les 4 lycées.

### étude de l'OQAI dans 9 écoles [4]

En 2001, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur a mené une étude pilote sur 90 logements et 9 écoles dont les résultats pour les établissements d'enseignement sont présentés dans le tableau suivant.

	Mesures en intérieur		Mesures en extérieur	
	Moyenne (1 semaine) µg/m <sup>3</sup>	Maximum	Moyenne (1 semaine) µg/m <sup>3</sup>	Maximum
benzène	1,4	3,0	1,3	3,1
toluène	11,8	40,3	5,5	7,9
éthylbenzène	1,6	4,3	0,9	1,7
m+p xylène	3,9	11,4	2,3	3
formaldéhyde	38,4	66,8	2,9	4
acétaldéhyde	9,8	16,2	2,2	3
CO2 (ppm)	905	3092	-	-

Tableau 3 : concentrations moyennes et maximales dans les écoles mesurées lors de la campagne pilote de l'OQAI

*L'analyse des données de l'étude pilote de l'OQAI de 2001 par le bureau d'études SEPIA SANTE met en évidence que la plupart des COV (hors aldéhydes) sont liés à des indicateurs témoins d'un renouvellement d'air insuffisant : teneurs élevées en dioxyde de carbone, présence d'un double vitrage, absence d'accès direct sur l'extérieur et d'amenée d'air, ouverture insuffisante des fenêtres, salles de petit volume [5].*

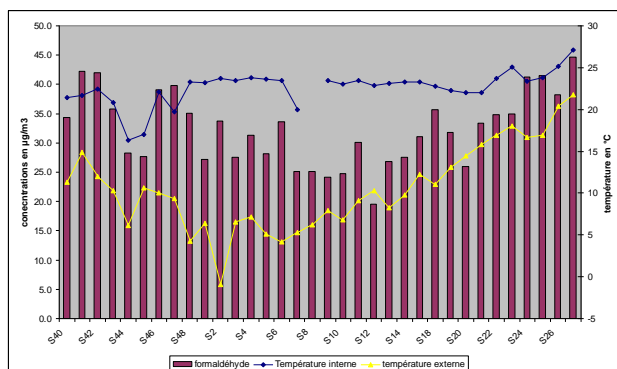
### suivi de la qualité de l'air intérieur au lycée Clemenceau pendant une année scolaire [6]

Cette étude réalisée par Air Pays de la Loire au lycée Clemenceau sur l'année scolaire 2008-2009 visait à faire un suivi de polluants chimiques (aldéhydes, BTEX<sup>5</sup>), des paramètres de confinement (dioxyde de carbone) et de confort (température et humidité relative), pendant une année scolaire avec un suivi annuel dans une salle de cours (graphique 1). Au cours de certaines journées, les résultats des mesures en dioxyde de carbone ont montré des niveaux de confinement pouvant être importants (jusqu'à 5100 ppm), dépassant largement la valeur seuil de 1300 ppm du règlement sanitaire départemental.

Les niveaux moyens de formaldéhyde (32,4 µg/m<sup>3</sup>) et de benzène (0,9 µg/m<sup>3</sup>) correspondent aux valeurs enregistrées dans les études françaises et se situent au dessus de la valeur de gestion du Haut Conseil en Santé publique (HCSP) pour le formaldéhyde et la Valeur Guide Air Intérieur (VGAI) pour le benzène. Compte tenu du niveau de formaldéhyde au lycée, il conviendra de profiter des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution progressive des niveaux vers l'objectif de 10 µg/m<sup>3</sup>.

Le suivi annuel a mis en évidence une corrélation entre la concentration en formaldéhyde et la température extérieure, montrant surtout que les températures élevées favorisent l'évaporation du polluant.

<sup>5</sup> Benzène, éthylbenzène, toluène, méta-ortho-para-xylène



Graphique 1 : suivi annuel des concentrations moyennes en formaldéhyde sur une année scolaire au lycée Clemenceau

*Une approche expérimentale en matière d'aération et de réduction de l'utilisation des produits d'entretien au lycée Clemenceau a conduit à une réduction des concentrations en formaldéhyde de 30% et du confinement de 16% (comparaison 1<sup>er</sup> et 3<sup>e</sup> trimestre).*

### études réalisées par les Aasqa

Plusieurs Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) ont mené des études sur l'évaluation de la qualité de l'air intérieur dans des établissements scolaires sur les paramètres aldéhydes, BTEX et dioxyde de carbone, en particulier l'ASCOPARG<sup>6</sup> et l'ASPA<sup>7</sup>.

### diagnostic de qualité de l'air intérieur dans 8 collèges de l'Isère [7]

Au cours de l'année scolaire 2007-2008, ASCOPARG a réalisé un diagnostic de qualité de l'air intérieur dans 8 collèges de l'Isère. Des campagnes de mesure des polluants les plus fréquemment rencontrés dans les établissements scolaires comme les aldéhydes et BTEX ont été mesurés dans 4 salles de chaque établissement (2 salles de cours, une salle de technologie, un centre de documentation) pendant les 3 trimestres scolaires sur une durée de 4,5 jours. Les niveaux de polluants sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Mesures en intérieur	
	Moyenne (4,5 jours) en µg/m <sup>3</sup>	Maximum en µg/m <sup>3</sup>
formaldéhyde	20,3 [3,6-53,7]	53,7
acétaldéhyde	4,9 [2,1-7,6]	7,6
benzène	1,7 [0,5-2,4]	2,4
toluène	9,7 [1,8-16,5]	16,5
CO2 (ppm)	-	5000

Tableau 4 : concentrations moyennes et maximales dans les collèges de l'Isère

Dans tous les établissements un défaut de renouvellement d'air a été constaté avec dépassement du seuil du règlement sanitaire départemental (RSD).

*Les concentrations les plus importantes en aldéhydes ont été relevées dans les centres de documentation (CDI) en lien avec les émissions des livres et revues. Des niveaux de polluants importants ont été mesurés dans des salles présentant des systèmes de ventilation (VMC), d'où la nécessité de compléter l'aération par ouverture des fenêtres pour diminuer ces niveaux de pollution intérieure.*

<sup>6</sup> Association pour le contrôle et la prévention de l'air la région grenobloise

<sup>7</sup> Association de surveillance de la pollution atmosphérique en Alsace

**campagne de mesure dans un collège « développement durable » en Alsace [8]**

L'ASPA a mis en œuvre en janvier 2009 une campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur dans un collège construit selon une démarche de développement durable (matériaux peu émissifs, VMC double flux) et dont la construction s'est achevée en 2008. L'objectif de la campagne était de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air intérieur de la construction récente. La campagne de mesure réalisée a permis d'estimer la pollution dans 10 salles (salles de cours, de restauration, CDI, etc.) en suivant notamment les aldéhydes, composés organiques volatils totaux et le confinement (CO2). Les résultats des mesures ont mis en évidence un confinement important dans certaines salles malgré la présence de VMC double Flux. Il s'est avéré que le système de ventilation était défaillant.

	Mesures en intérieur	
	Moyenne (4,5 jours) en µg/m <sup>3</sup>	Maximum en µg/m <sup>3</sup>
formaldéhyde	12,5 [5,8-16,9]	16,9
acétaldéhyde	6,25 [4,3-8,8]	8,8
benzène	3,2 [2,8-3,7]	3,7
toluène	5,0 [3,1-8,3]	8,3
CO2 (ppm)	-	3700

Tableau 5 : concentrations moyennes en polluants au collège d'Heiligenstein

*La démarche environnementale concernant le choix de matériaux peu émissifs s'avère efficace pour les aldéhydes et le formaldéhyde notamment. Pour les COV totaux, certaines salles présentent des excès de concentrations en polluants dont une origine pourrait être attribuée à l'utilisation de produits d'entretien émissifs en COV.*

**campagne de mesure dans un lycée HQE [9]**

Suite à une campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur dans le lycée de Pflixbourg (Alsace) construit selon une démarche de Haute qualité environnementale (HQE) réalisée en juin 2008, des niveaux importants de composés organiques volatils (COV) ont été relevés dans différents salles, avec des sources identifiées : produits d'entretiens, produits de protection du bois, colles pour revêtement du sol. Des travaux ont été réalisés afin de limiter ces niveaux de COV (suppression de panneaux de bois sur les murs et du mobilier).

En avril 2009, une nouvelle campagne a été réalisée, avec pour objectif de suivre les niveaux de pollution et de mieux cerner les sources d'émission, en particulier dans une salle (JEV3), où une suppression de panneaux de bois et du mobilier a été procédée.

	Mesures en intérieur		
	Moyenne (48h) en µg/m <sup>3</sup> 18-20 juin 2008	Moyenne (48h) en µg/m <sup>3</sup> 15-17 avril 2009 (suppression panneaux muraux)	Moyenne (48h) en µg/m <sup>3</sup> 27-29 avril 2009 (suppression mobilier)
formaldéhyde	149,1	71,8	24,9
acétaldéhyde	28,8	15,4	5,6
benzène	12,1	3,6	2,7
toluène	37	9,5	5,7

Tableau 6 : concentrations moyennes dans une salle (JEV3) lors de 3 phases de mesure du lycée du Pflixbourg

*Dans la salle JEV3, il se produit une baisse de 52% du niveau de formaldéhyde et 46% en benzène après suppression des panneaux muraux en bois, puis jusqu'à 80% pour les deux polluants après enlèvement du mobilier. Ces résultats sont à modérer du fait que les fenêtres étaient ouvertes en mode oscillo-battant lors de la deuxième période de mesure.*

*Un renforcement de l'aération a été proposé afin d'abaisser encore ces niveaux de polluants.*

## les effets sanitaires

L'air que nous respirons transporte un mélange complexe de polluants. Les effets sanitaires peuvent être immédiats ou retardés. Les manifestations varient selon la nature et la concentration des polluants, la durée d'exposition et la sensibilité de chaque individu. Ainsi, les personnes fragiles (enfants, personnes âgées, insuffisants respiratoires) sont les plus sensibles à la pollution de l'air.

### formaldéhyde et acétaldéhyde

Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde font partie des substances hautement prioritaires dans le cadre de la hiérarchisation sanitaire des polluants selon l'OQAI et des substances jugées prioritaires pour l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses). L'Anses a publié en 2008 une évaluation des risques sanitaires liés au formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs [9] (cf. annexe 3).

Le formaldéhyde est l'aldéhyde le plus fréquemment mesuré en air intérieur. Il est présent dans de nombreux produits de construction, décoration et aussi dans les produits d'entretien. C'est un irritant des muqueuses provoquant sécheresse et douleur au niveau des yeux, du nez et de la bouche. Cette irritation apparaît à des concentrations supérieures à 100 µg/m<sup>3</sup>, concentrations toutefois rarement observées.

Le formaldéhyde est classé cancérigène de catégorie 1 (cancérogène certain) par le CIRC<sup>8</sup> depuis 2004 sur la base des données observées sur les cancers du nasopharynx. Cependant, l'Anses précise que "le risque pour la population générale de développer un cancer du nasopharynx suite à l'inhalation du formaldéhyde seul semble négligeable au vu des niveaux mesurés actuellement dans l'air"[9].

Il est enfin de plus en plus suggéré que de faibles expositions au formaldéhyde pourraient accroître, à long terme, le risque de développer des pathologies asthmatiques et des sensibilisations allergiques [10].

Autre aldéhyde pouvant être mesuré en air intérieur, l'acétaldéhyde est classé cancérigène possible pour l'homme par le CIRC.

### benzène

Une exposition aiguë ou chronique au benzène est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé humaine. Les effets critiques observés liés aux expositions les plus faibles sont des effets hématologiques (maladie sanguine) ; toxicité sur les lymphocytes lors d'expositions aiguës ou intermédiaires (jusqu'à une année), diminution du nombre de cellules sanguines, anémie et leucémie dans le cas d'exposition chronique. Les données disponibles sont en faveur d'une relation causale entre exposition au benzène et apparition de leucémies, lors d'expositions professionnelles [3].

### paramètre de confinement

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) provient principalement de la respiration mais peut également être produit par combustion. En l'absence de source de combustion, une teneur de CO<sub>2</sub> supérieure à 1300 ppm est considérée comme une valeur indicatrice de confinement et de ventilation inadéquate. La limite de concentration de 1300 ppm de CO<sub>2</sub> à ne pas dépasser est couramment admise pour définir les débits de renouvellement d'air réglementaires selon le règlement sanitaire départemental type (RSDT).

Différents symptômes ont été associés à une concentration de CO<sub>2</sub> élevée : des maux de tête et une baisse de concentration ont été signalés à partir d'une teneur de 1000 ppm environ dans l'air [11].

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur a engagé en 2004 une étude sur l'impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air dans deux écoles primaires. Cette étude met en évidence que la performance des élèves, déclinée en termes de temps de réaction, notes obtenues, absentéisme ou performance mentale, est affectée par un taux de renouvellement d'air faible ou avec une concentration en dioxyde de carbone élevée [11].

---

<sup>8</sup> Institut international de recherche sur le cancer



## paramètres de confort

La température et l'humidité relative font partie des paramètres de confort. L'humidité et la chaleur générées par la respiration peuvent augmenter une sensation d'inconfort dans des lieux clos. La zone de confort optimale se situe entre 18 et 22°C pour la température et entre 35 et 60 % pour l'humidité relative [5]. Bien que ces zones de confort théoriques ont été déterminées, les plages de confort ne sont pas les mêmes pour tous. Les personnes âgées et les jeunes enfants sont plus sensibles aux températures froides et aux vagues de chaleur que les adultes.

Ces paramètres sont à l'origine de l'apparition de polluants (notamment prolifération des acariens et des moisissures), dont les effets sur le bâti et ses occupants peuvent être néfastes.

Une humidité relative supérieure à 60% peut favoriser les symptômes suivants :

- allergies respiratoires (asthme, rhinites, bronchites, pneumonies d'hypersensibilité) ;
- irritations de la peau, des yeux ;
- symptômes respiratoires (toux, irritation du nez et de la gorge, écoulement nasal, éternuements, difficultés respiratoires, douleurs thoraciques) ;
- effets généraux (fièvre, maux de tête, fatigue, déficience immunitaire).

# méthodologie

## objectif de la campagne

Un suivi de la qualité de l'air intérieur a été réalisé dans 4 lycées de la région des Pays de la Loire à raison d'une mesure lors de 2 saisons contrastées (hiver, printemps) dans quatre salles d'un même établissement selon les protocoles nationaux (protocoles de surveillance du formaldéhyde et du benzène LCSQA-CSTB<sup>9</sup>, protocole de surveillance du confinement du CSTB).

Les objectifs de l'étude dans les 4 lycées sont :

- évaluer les niveaux de polluants intérieurs (aldéhydes, BTEX<sup>10</sup>,...), de confinement (mesure du dioxyde de carbone) et de confort (température et humidité relative) dans les salles de cours ;
- recueillir des informations sur les sources potentielles de pollution de l'air intérieur ;
- proposer aux gestionnaires des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs et au confinement.

## choix des établissements

La sélection des lycées a été fixée d'un commun accord avec la Région en recherchant des lycées situés dans les départements de la Sarthe, la Mayenne, le Maine-et-Loire et la Vendée. Le département de Loire-Atlantique a déjà fait l'objet de telles mesures par la surveillance de l'air intérieur au lycée Clemenceau réalisée par Air Pays de la Loire lors de l'année scolaire 2008-2009.

Concernant le choix des 4 lycées, ceux ayant intégrés des démarches de développement durable ont été favorisés (HQE, choix de matériaux écologiques, utilisation de produits d'entretien écologiques ...). En collaboration avec le Conseil Régional, quatre établissements de configurations différentes ont ainsi été sélectionnés (constructions anciennes et récentes, bâtiment HQE, ...) :

- t lycée d'enseignement général et technologique Lavoisier à Mayenne (53) ;
- t lycée technologique Funay-Hélène Boucher au Mans (72) ;
- t lycée d'enseignement général David d'Angers à Angers (49) ;
- t lycée technologique Eric Tabarly aux Sables d'Olonne (85).



Carte 1 : localisation des établissements scolaires

<sup>9</sup> Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air et Centre scientifique et technique du bâtiment

<sup>10</sup> Benzène, toluène, éthylbenzène, m, p, o -xylène

## périodes de mesure

Comme le préconise les protocoles de surveillance du formaldéhyde et du benzène du LCSQA-CSTB, deux séries de mesure ont été réalisées lors de deux saisons contrastées : l'une en période dite froide (**mars 2010**) et une seconde en période chaude (**mai-juin**). Le protocole de surveillance du confinement du CSTB indique que les mesures doivent être réalisées qu'en période froide seulement. Cependant, afin d'avoir des informations sur le niveau de confinement en période plus chaude, des mesures ont été réalisées pendant une semaine dans les 2 salles les plus confinées de chaque lycée.

	Période froide	Période chaude
Lycée Lavoisier (Mayenne)	08/03/10 au 19/03/10	31/05/10 au 11/06/10
Lycée Funay-Boucher (Le Mans)	08/03/10 au 19/03/10	17/05/10 au 28/05/10
Lycée David d'Angers (Angers)	22/03/10 au 02/04/10	31/05/10 au 11/06/10
Lycée Tabarly (Les Sables d'Olonne)	22/03/10 au 02/04/10	03/05/10 au 12/05/10

## dispositif de mesure

Deux groupes de mesure des composés organiques volatils (COV) ont été effectués : les aldéhydes<sup>(1)</sup> et les BTEX<sup>(2)</sup>, en particulier le formaldéhyde et benzène considéré comme des polluants prioritaires en matière de surveillance par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses). La mesure est réalisée à l'aide de tubes à diffusion passive (photos 1 et 2), les tubes passifs ayant été exposés sur site du lundi matin au vendredi après-midi sur une durée de 4,5 jours. Un suivi continu du dioxyde de carbone, de la température et de l'humidité a également été effectué.

### mesure des composés organiques volatils (COV)

La mesure des COV se fait de manière hebdomadaire grâce à des tubes passifs Radiello® selon la norme ISO 16000-2 avec des adaptations (annexe 3) ; les tubes aldéhydes sont suspendus au plafond des deux salles au centre de la pièce à une hauteur d'environ 2 m, grâce à un système d'accrochage au faux-plafond.

Dans chaque salle est posé chaque semaine :

- un doublon de mesure des aldéhydes pour une pièce et un tube pour les 3 autres pièces (un blanc de site) ;
- un doublon de mesure des BTEX pour une pièce et un tube pour les 3 autres pièces (un blanc de site);

En parallèle, une mesure des concentrations extérieures en BTEX est effectuée dans la cour des établissements. Compte tenu des faibles niveaux de formaldéhyde mesurés en extérieur suite à l'étude au lycée Clemenceau, les aldéhydes n'ont pas été mesurés à l'extérieur.

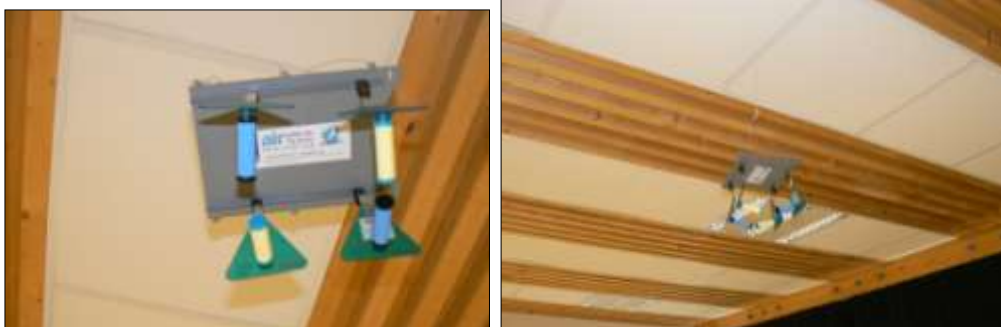


Photo 1 et Photo 2 : dispositif de mesure des aldéhydes et BTEX suspendu au plafond des salles instrumentées

### suivi du dioxyde de carbone, température, humidité

L'appareil Q-Track (photo 3) mesure simultanément le dioxyde de carbone, la température et l'humidité avec une seule sonde. L'appareil fournit des mesures en temps réel, enregistre des données sur de longues périodes à des pas de temps programmés (10 minutes).



Photo 3 et Photo 4 : appareil Q-Track mesurant le dioxyde de carbone, la température et l'humidité

### enquête sur les sources potentielles de polluants

Afin d'identifier les origines de la pollution de l'air intérieur, un recueil des caractéristiques des bâtiments (âge, caractéristiques des surfaces et du mobilier, ventilation,...), de l'environnement, et les activités dans les salles (entretien, type de cours, ..) a été réalisé lors d'une enquête sur le terrain et par questionnaire. L'analyse de ces informations a pour but d'accompagner les résultats des mesures et de mieux apprécier l'impact de ces sources potentielles sur la qualité de l'air intérieur. L'objectif final est de pouvoir proposer aux gestionnaires des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs et au confinement.

# les résultats

Les résultats de la campagne de mesure de l'air intérieur dans les 4 lycées concernent :

- l'exploitation des enquêtes sur les sources potentielles de pollution ;
- le suivi des paramètres de confort et de confinement ;
- le suivi des Composés organiques volatils (aldéhydes et BTEX).

## exploitation des enquêtes sur les sources potentielles de pollution

Deux types de questionnaires ont été élaborés pour la campagne de mesure afin de pouvoir identifier les causes éventuelles de la pollution intérieure. Ils visent à recueillir des informations générales sur les lycées, des informations plus détaillées sur les quatre pièces instrumentées ainsi que la description des activités réalisées dans ces pièces.

Ces questionnaires ont été remplis suite à l'interview de différentes personnes :

- pour la partie description du bâtiment : un correspondant des services techniques d'appui (STA) du conseil Régional basés dans les départements ;
- pour la partie « produit d'entretien » : le responsable technique du lycée et/ou le personnel de l'entretien.

Les informations recueillies par questionnaires (détail en annexe 5) sont des éléments indispensables dans les campagnes de mesure pour interpréter les données chimiques quantitatives recueillies. Le tableau 7 résume les principales informations concernant les 4 établissements d'enseignement instrumentés et le lycée Clemenceau à titre indicatif.

### description des bâtiments

Hormis le lycée Tabarly de construction récente, les établissements ont été construits à différentes périodes (19<sup>e</sup> siècle pour le lycée David d'Angers aux années 70 pour les lycées Lavoisier et Funay-Boucher) et rénovés dans les années 90. Ils sont de configurations différentes en termes de revêtement du sol, de mur et de plafond, types de menuiseries. Le mobilier des salles est constitué de contre-plaqué mélaminé dans tous les lycées.

La majorité des salles sont pourvues de VMC mis à part 3 salles du lycée Lavoisier (et lycée Clemenceau).



Photo 5 : présence de VMC double flux au lycée Tabarly



Photo 6 : présence de VMC simple flux au lycée David d'Angers



Photo 7 : présence de VMC simple flux salle C6 au lycée Lavoisier

### description des activités

Les salles de cours des lycées sont occupées à partir de 8h00 du matin jusqu'à 18h00 selon les salles. Les effectifs moyens les plus importants se trouvent au niveau du lycée David d'Angers et Lavoisier.

### description de l'entretien

Les activités d'entretien peuvent constituer des sources de composés organiques volatils correspondant à des productions instantanées qui disparaissent plus ou moins rapidement en fonction du mode de ventilation et de leur interaction entre eux et avec les matériaux.

Alors que la campagne de mesure de l'air intérieur au lycée Clemenceau avait mis en évidence, l'utilisation de produits d'entretien fortement puissants de type industriel, ceux utilisés dans les 4 lycées sont généralement « éco-labélisés », donc moins émissifs en COV.

L'entretien des salles de cours se fait de manière quotidienne avec un temps de nettoyage variant de 8 à 20 minutes. Les fenêtres ne sont pas systématiquement ouvertes pendant le nettoyage.





















	Lavoisier	Funay – Boucher	David d'Angers	Eric Tabarly	Clemenceau
ventilation	 Pas de VMC dans 3 salles	 VMC simple flux	 VMC simple flux	 VMC double flux	 Pas de VMC
meubler	 Contre-plaqué mélaminé	 Contre-plaqué mélaminé	 Contre-plaqué mélaminé	 Contre-plaqué mélaminé	 Contre-plaqué mélaminé
effectif moyen par salle de cours	 20 à 34	 16 à 20	 20 à 31	 14 à 16	 2-34
entretien	 Produits éco-labélisés	 Produits éco-labélisés	 Produits éco-labélisés	 Produits éco-labélisés	 Produits industriels

Tableau 7 : bilan des informations recueillies dans les lycées suite aux enquêtes

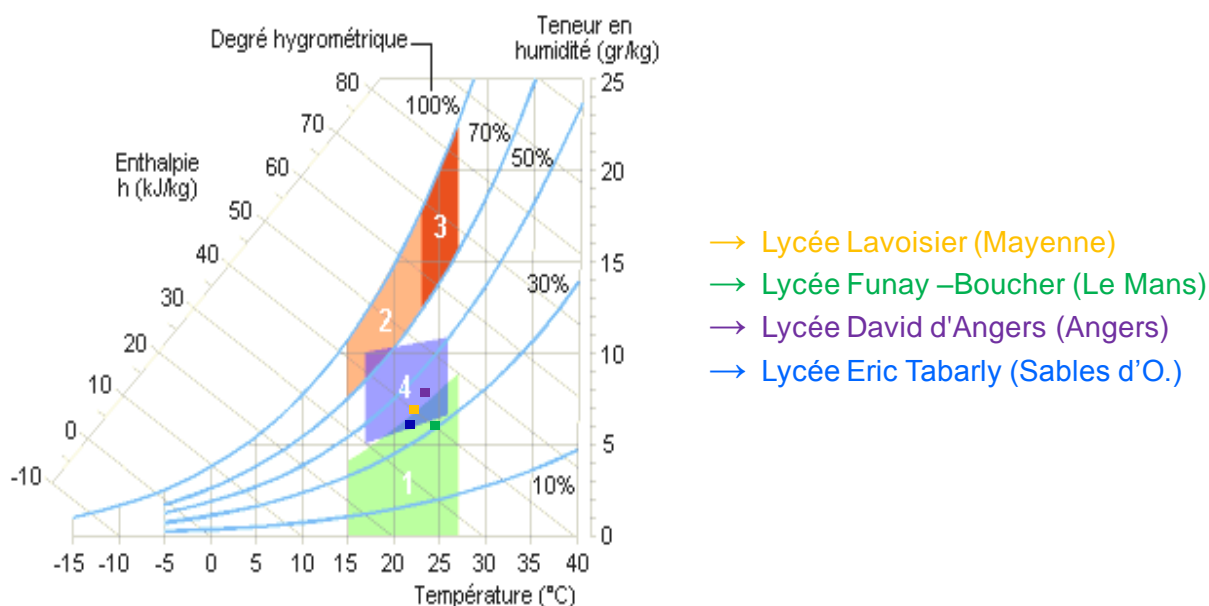
## suivi des paramètres de confort et de confinement

### suivi des paramètres de confort

La température (T) et l'humidité relative (HR) font partie des paramètres de confort. Ils ont été mesurés en continu avec des pas de temps de 10 minutes afin d'estimer le niveau de confort dans les 4 salles investiguées dans chaque lycée. Les niveaux moyens en température et humidité relative des salles de cours pendant les deux périodes sont représentés sur le diagramme de confort ci-dessous.

D'après le diagramme de confort hygro-thermique, la zone optimale de confort se situe entre 18 et 25°C pour la température et 30 et 70 % pour l'humidité relative (graphique 2). La représentation de la température et de l'humidité relative moyennes pour les deux périodes de mesure des lycées met en évidence que 3 lycées (Lavoisier, David d'Angers et Eric Tabarly) se situent dans la zone de confort et que celui du Mans (Funay-Boucher) se trouve en dehors.

Il apparaît en effet que la température moyenne et l'humidité relative sont hors de cette zone de confort au lycée Funay-Boucher. Dans ce lycée, les valeurs moyennes en humidité relative sont inférieures à 35% significatif, d'une atmosphère trop sèche dans les salles de cours. Cette atmosphère trop sèche peut provoquer des irritations respiratoires chez les occupants des salles de cours. Au lycée Lavoisier, l'humidité relative est aussi inférieure à 35%, en mars, mais la moyenne sur les deux périodes de mesure ramène les paramètres de confort en zone optimale.



Graphique 2 : diagramme de confort hygro-thermique (zone optimale: zone 4- voir explications en annexe 6)

- 1 : zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2/3 : zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.
- 5 : zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 6 : polygone de confort hygrothermique.

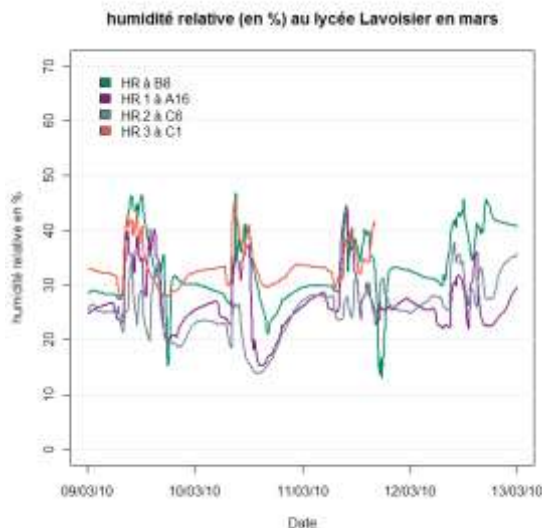
Source : ISELT P., ARNDT U., CAUCHEPIN J.L, *Manuel de l'humidification de l'air*, 1997 - 240 p., Paris

Les valeurs maximales en température enregistrées (jusqu'à 29,7°C) et humidité relative (jusqu'à 83%) sont défavorables au bien-être des occupants des salles de cours. Une humidité relative trop importante peut-être à l'origine de relargage plus important de polluants issus des matériaux.

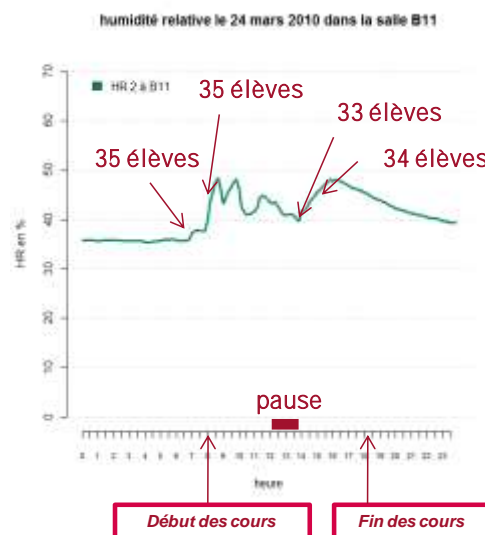
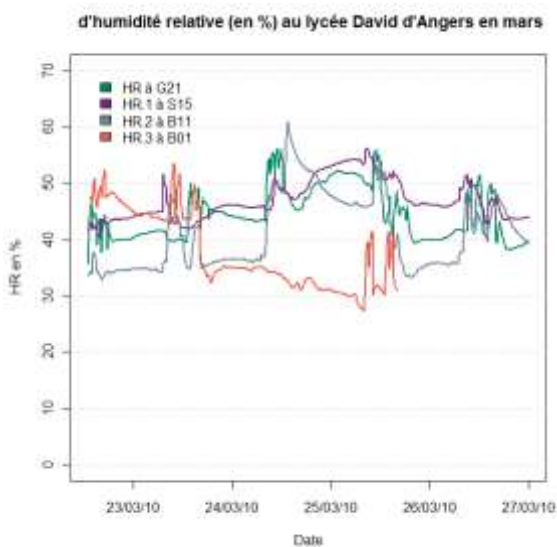
L'évolution de la température moyenne à l'intérieur des salles de cours des lycées entre mars et mai met en évidence une augmentation de 2 à 3°C entre les deux périodes de mesure dans tous les lycées sauf au lycée Tabarly qui a connu début mai des conditions météorologiques aussi fraîches qu'en mars (temp. ext. de 10,9°C). Pour l'humidité relative, celle-ci apparaît aussi en hausse lors de la deuxième période de mesure (d'un facteur 2 au lycée Lavoisier).



L'humidité relative dans les salles de cours est dépendante de l'effectif en élèves dans celles-ci. La représentation graphique de l'humidité relative sur une semaine montre que l'humidité dans les salles de cours augmente en période d'occupation des élèves (graphiques 3 et 5. Sur une journée, l'augmentation de l'humidité relative est proportionnelle au nombre d'élèves présents dans la salle de cours (graphiques 4 et 6).



Graphique 3 et Graphique 4 : profil temporel de l'humidité relative aux heures de cours au lycée Lavoisier sur une semaine (9 au 13 mars) et sur une journée (9 mars)

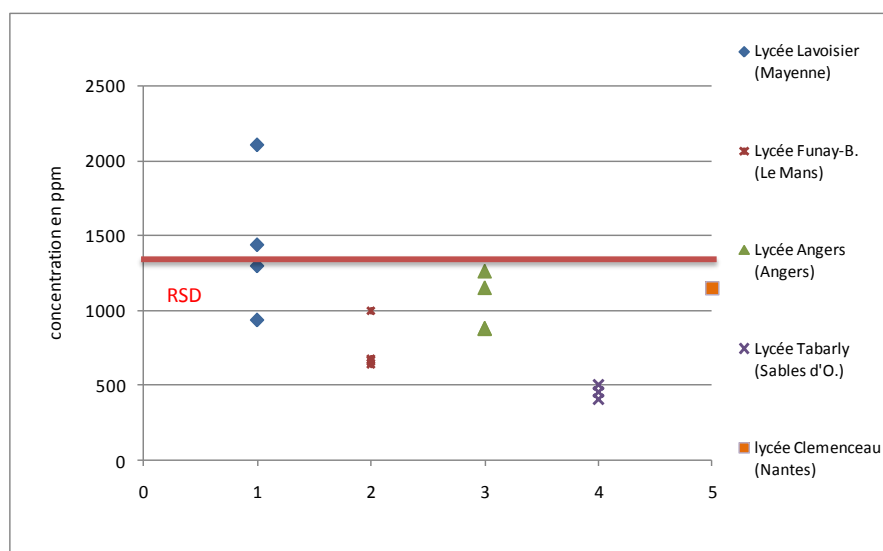


Graphique 5 et Graphique 6 : profil temporel de l'humidité relative aux heures de cours au lycée David d'Angers sur une semaine (22 au 27 mars) et sur une journée (24 mars).

Sachant que la zone optimale de confort se situe entre 18 et 25°C pour la température et 30 et 70% pour l'humidité relative, il apparaît que lycée Funay-Boucher se situe en moyenne hors de cette zone de confort, avec une humidité relative inférieures à 35% significatif d'une atmosphère trop sèche dans les salles de cours.

## suivi des paramètres de confinement

Le dioxyde de carbone (CO2) est un témoin du confinement et un indicateur de la qualité de la ventilation ou de l'aération des locaux. La recommandation du règlement sanitaire départemental (RSD) recommande de ne pas dépasser 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer. Il a été démontré que la performance des élèves, déclinée en termes de temps de réaction, absentéisme ou performance mentale, peut être affectée par une concentration en dioxyde de carbone élevée. Les concentrations moyennes dans les salles de cours des lycées sont présentées sur le graphique 7.



Graphique 7 : niveaux moyens en dioxyde de carbone aux heures de cours dans les 5 lycées en mars

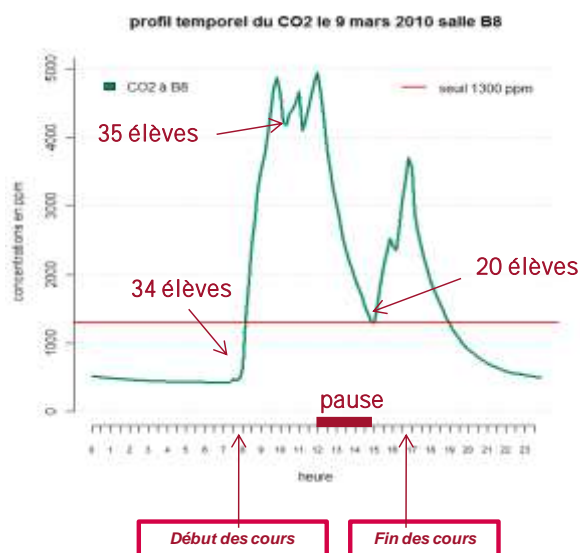
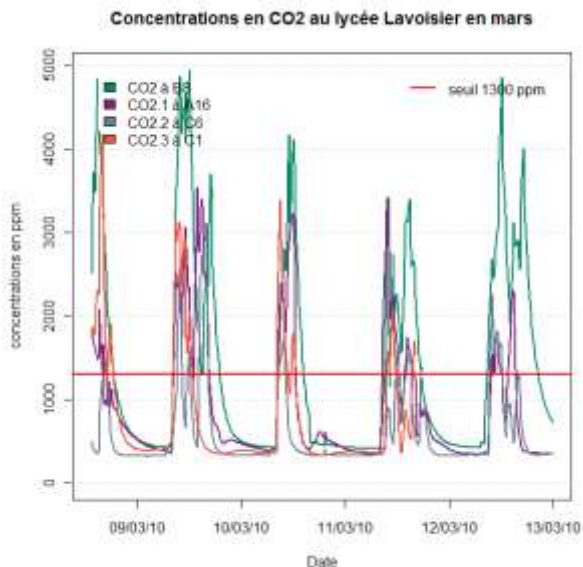
La concentration moyenne en CO2 dans les salles de cours aux heures de cours varie de 405,2 ppm dans une salle du lycée Tabarly à 2190 ppm au lycée Lavoisier. Ces niveaux moyens sont inférieurs au seuil du règlement sanitaire départemental de 1300 ppm mis à part au lycée Lavoisier pendant le mois de mars dans deux salles (salle B8 et A16).

Les concentrations maximales en CO2 mesurées sur 10 minutes varient de 1142 à 5330 ppm, témoignant d'un confinement ponctuel dans les salles de cours.

Les concentrations moyennes et maximales en dioxyde de carbone dans les établissements sont comparables à celles mesurées pendant la campagne pilote de l'OQAI dans 9 écoles où la concentration moyenne était de 902 ppm et la concentration maximale de 3092 ppm pendant les heures de cours. A titre indicatif, au lycée Clemenceau, une concentration moyenne annuelle de 1151 ppm et maximale de 5100 ppm ont été enregistrées.

Il est possible d'observer un effet saisonnier sur les niveaux des mesures car ceux-ci sont plus importants au mois de mars en saison hivernale moins propice à l'aération des locaux, excepté au lycée Tabarly (températures extérieures du début de mois de mai de 10,9°C).

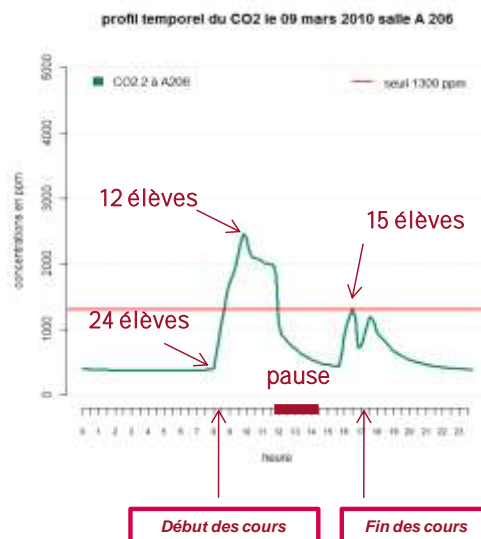
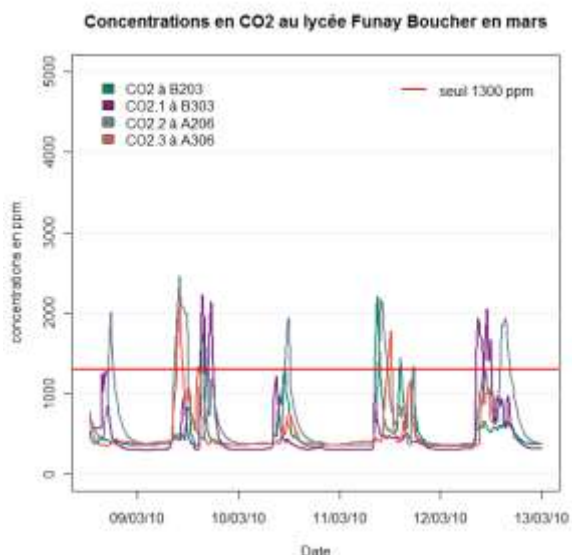
Les séries chronologiques des concentrations en dioxyde de carbone dans les lycées mettent en évidence de nombreux pics de dioxyde de carbone dépassant le seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental dans les lycées. En l'absence des élèves, les niveaux de dioxyde de carbone redescendent à environ 340 ppm (niveau de bruit de fond extérieur).



Graphique 8 et Graphique 9 : séries chronologiques de la concentration en CO2 aux heures de cours au lycée Lavoisier pendant une semaine (9-13 mars) et pendant la journée du 9 mars dans la salle B8 (Salle de cours la plus confinée)

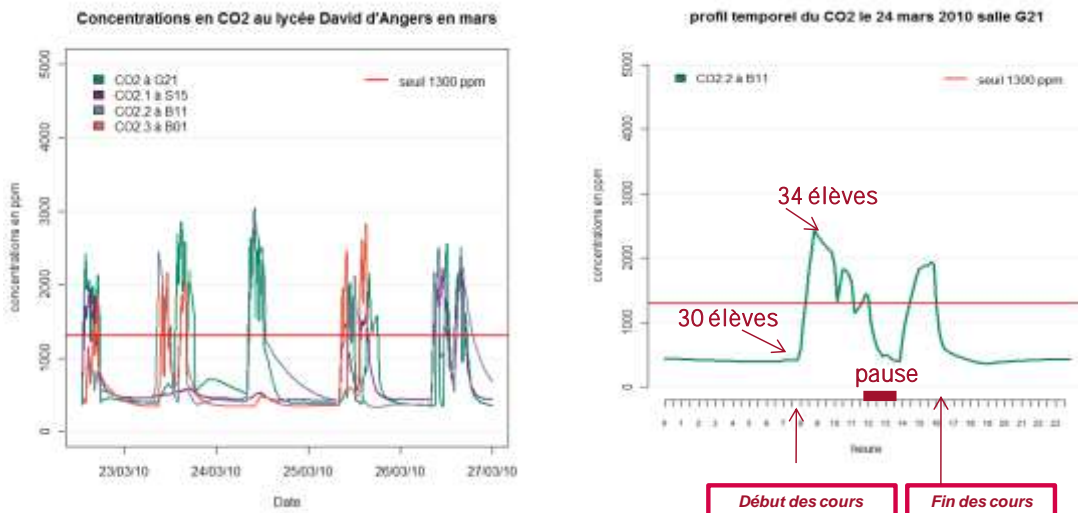
La représentation graphique des concentrations en dioxyde de carbone sur une semaine **au lycée Lavoisier** (graphique 8) laisse apparaître les fréquents dépassements du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD). Lors de la journée du 9 mars (graphique 9), dès le début des cours à 8h00, il se produit une augmentation rapide des niveaux de CO2 avec un maximum atteint en fin de matinée. Les décroissances relevées correspondent aux intercourses dont la durée n'est pas suffisante pour réduire les niveaux de CO2 en dessous du seuil du RSD. Ces légères décroissances témoignent du défaut de renouvellement d'air dans la salle. L'effectif moyen dans la salle B8 est de 21 élèves (entre 20 à 34 élèves le 9 mars).

Avec des concentrations moyennes en mars de 1438 et 2109 ppm, les salles A16 et B8 apparaissent comme confinées. En mai, les niveaux moyens de toutes les salles sont en dessous du seuil du RSD. Les salles A16, B8 et C1 ne sont pas équipées de VMC ce qui favorise le confinement.



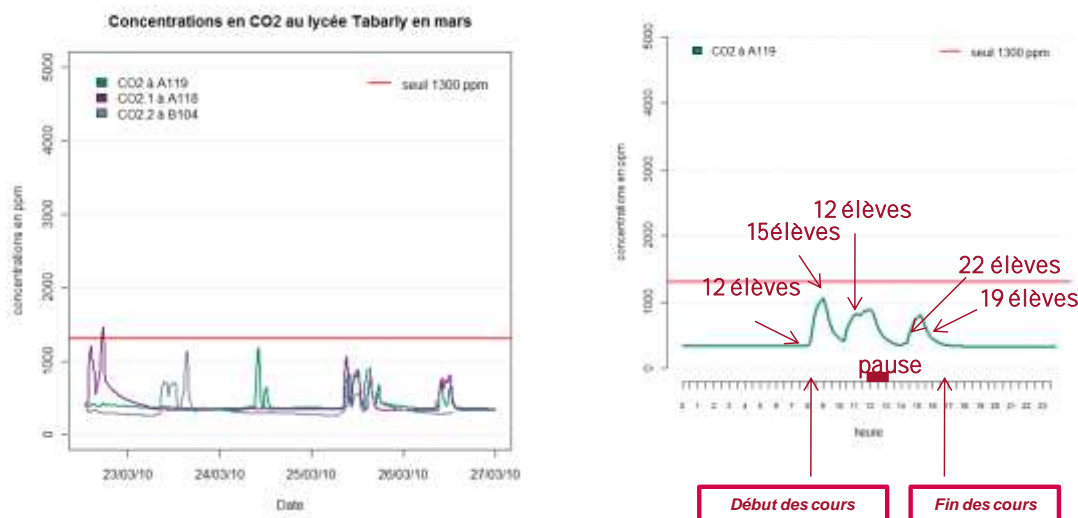
Graphique 10 et Graphique 11 : séries chronologiques de la concentration en CO2 aux heures de cours au lycée Funay-Boucher pendant une semaine (9-13 mars) et pendant la journée du 9 mars dans la salle A206

Au lycée Funay –Boucher, quelques dépassements du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD) sont observables dans toutes les salles, dont dans la salle A206 en fin de matinée (graphique 11). Les concentrations moyennes en CO2 restent toutefois inférieures au seuil du RSD dans les salles, en mars et en mai. Les salles de cours sont équipées de VMC favorisant un **renouvellement d'air. Afin d'éviter le confinement en fin de matinée**, une ouverture de fenêtre aux intercourrs serait nécessaire.



Graphique 12 et Graphique 13 : séries chronologiques de la concentration en CO2 aux heures de cours au lycée David d'Angers pendant une semaine (22-27 mars) et pendant la journée du 26 mars dans la salle B11

Au lycée David d'Angers, il se produit aussi des dépassements ponctuels du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD) dans les salles de cours. Les concentrations moyennes en CO2 sont inférieures au seuil du RSD dans les salles, en mars et en mai, du fait que les salles sont équipées de VMC. Mais **une ouverture aux intercourrs pourrait éviter les confinements ponctuels observés dans les salles de cours du lycée.**



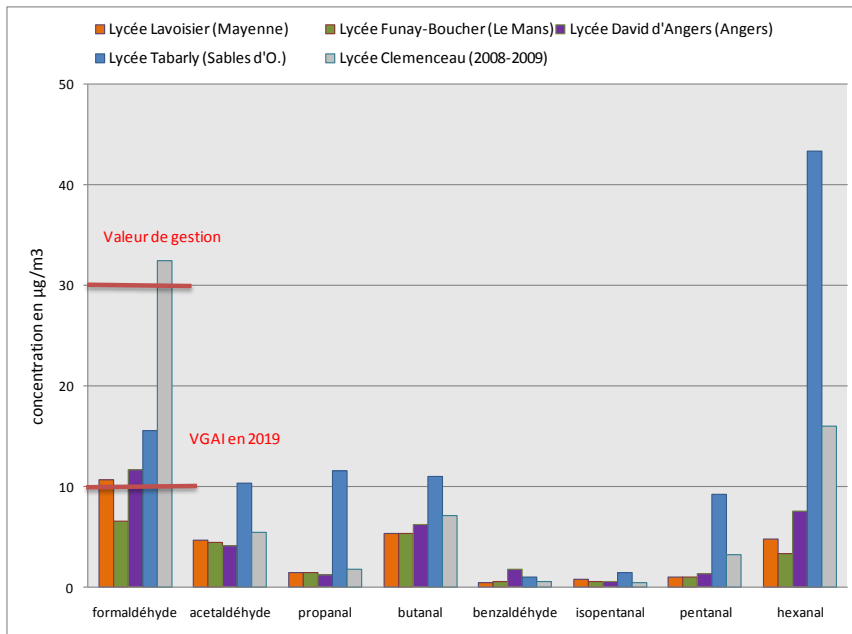
Graphique 14 et Graphique 15 : séries chronologiques de la concentration en CO2 aux heures de cours au lycée Eric Tabarly pendant une semaine (22-27 mars) et pendant la journée du 25 mars dans la salle A119

**Enfin au lycée Tabarly, les dépassements sur seuils du RSD sont infimes montrant l'efficacité du système de ventilation double flux.**

Ces résultats montrent que les lycéens peuvent être exposés pendant de longues périodes (jusqu'à 66% du temps) à des concentrations en dioxyde de carbone dépassant le seuil du Règlement Sanitaire Départemental de 1300 ppm. Avec des concentrations moyennes de CO2 de 1438 et 2109 ppm en mars, les salles A16 et B8 du lycée Lavoisier apparaissent comme confinées. En mai, les niveaux moyens de toutes les salles sont en dessous du seuil du RSD. L'amplitude des niveaux de CO2 enregistrés dépend de l'effectif présent dans la salle de cours.

## suivi des aldéhydes

Les résultats des concentrations moyennes en aldéhydes à l'intérieur et à l'extérieur de la classe dans les deux établissements scolaires sont représentés sur le graphique 16.



Graphique 16 : concentrations moyennes en aldéhydes dans les 5 lycées

Classé comme polluant prioritaire par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses), le formaldéhyde présente des concentrations moyennes variant de 6,6 µg/m<sup>3</sup> au lycée Funay-Boucher à 15,1 µg/m<sup>3</sup> au lycée Tabarly. Au lycée Clemenceau, la concentration moyenne annuelle en formaldéhyde était de 32,4 µg/m<sup>3</sup> à l'intérieur de la salle de cours et nettement inférieure à l'extérieur : 2,1 µg/m<sup>3</sup>. Ces faibles concentrations enregistrées à l'extérieur comparées à celles de l'intérieur des salles de cours confirment l'origine interne du formaldéhyde.

Ces concentrations mesurées dans les 4 lycées sont comparables à la moyenne des valeurs enregistrées dans les études françaises, excepté au lycée Tabarly qui se distingue des autres lycées avec des teneurs en aldéhydes plus élevées d'un facteur 2. La livraison récente du bâtiment en septembre 2009 avec la présence de matériaux neufs peut expliquer ces taux de COV plus importants que dans les autres lycées.

Au cours de la campagne pilote de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) de 2001, des concentrations moyennes de 38,4 µg/m<sup>3</sup> ont été mesurées dans les établissements scolaires (9 écoles). Les mesures réalisées en Alsace et en Isère présentaient des niveaux moyens en formaldéhyde de 12,5 µg/m<sup>3</sup> à 24,9 µg/m<sup>3</sup>.

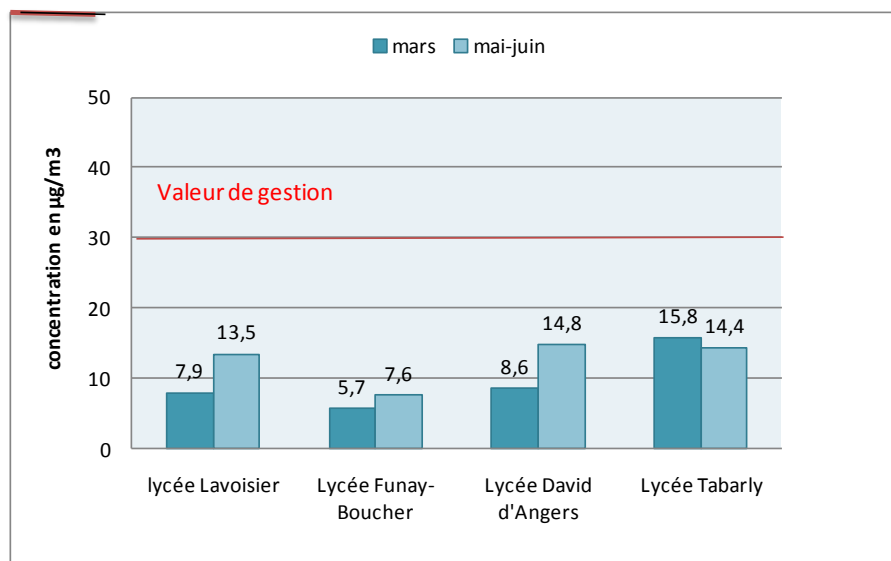
Concernant les autres aldéhydes, c'est le butanal et l'hexanal qui sont mesurés avec de plus forts niveaux : concentrations moyennes de 5,3 à 11 µg/m<sup>3</sup> pour le butanal et de 3,4 à 47 µg/m<sup>3</sup> pour l'hexanal (influence des émissions du bois cf. page 40). Ensuite, l'acétaldéhyde a été mesuré avec des concentrations moyennes s'échelonnant autour entre 4,1 et 10,3 µg/m<sup>3</sup>. Les autres aldéhydes ont des concentrations moyennes inférieures à 2 µg/m<sup>3</sup>.

L'analyse des données recueillies lors de l'étude pilote de l'OQAI menée dans les 9 écoles en 2001 a montré que les concentrations en aldéhydes apparaissaient liées à des facteurs en faveur du confinement.

Au lycée Clemenceau, un confinement important et l'utilisation de produits d'entretien émissifs en COV ont été identifiés comme déterminants de ces fortes concentrations en formaldéhyde. L'expérimentation en matière d'aération et non utilisation de produit d'entretien pendant un mois a provoqué une réduction de 30% du niveau moyen de formaldéhyde.

Une étude de corrélation entre les paramètres de confinement et de confort et les concentrations hebdomadaires de certains aldéhydes a montré une corrélation positive entre l'humidité relative et le formaldéhyde, entre la température interne et le butanal. Il apparaît aussi une bonne corrélation entre l'humidité relative et l'acétaldéhyde.

Les histogrammes du graphique 17 permettent de visualiser les niveaux moyens de formaldéhyde dans les 4 lycées pendant les deux périodes de mesure. Alors que le niveau moyen en formaldéhyde baisse en mai au lycée Tabarly, il augmente dans les autres lycées, du fait probablement de conditions climatiques plus favorables aux émissions de COV (températures et humidité relative en hausse aux mois de mai et juin). Au lycée Tabarly, il faut remarquer que le relargage des COV des matériaux peut s'atténuer avec le temps, ce qui peut expliquer la baisse de concentration entre les deux périodes de mesure.



Graphique 17 : concentrations moyennes en formaldéhyde dans les 4 lycées lors des deux périodes de mesure

## comparaison aux valeurs guides air intérieur

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a proposé en 2000 une valeur guide de la concentration en formaldéhyde dans l'air ambiant de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur une durée de 30 minutes. Elle correspond à la plus faible concentration associée à une irritation du nez et de la gorge chez l'homme en population générale identifiée dans la littérature. Sachant que les prélèvements réalisés pour cette étude durent 4,5 jours, les concentrations mesurées correspondent à des teneurs moyennes sur 4,5 jours et de ce fait ne peuvent pas être comparées à cette valeur guide OMS.

Les valeurs moyennes retrouvées au sein des salles de cours des 4 lycées **n'excèdent pas la valeur de gestion de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , proposée par le Haut Conseil en Santé Publique (HCSP), valeur en dessous de laquelle aucune action correctrice n'est spécifiée.

Au lycée Clemenceau, où la valeur moyenne annuelle en formaldéhyde était de  $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Il conviendra de profiter des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs.

Toutefois, les concentrations en formaldéhyde mesurées particulièrement en période chaude dans les lycées Lavoisier, David d'Angers et Tabarly devraient évoluer progressivement vers l'objectif de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (valeur guide à atteindre en 2019), en veillant à ne pas introduire de sources polluantes, et en préservant une ventilation adéquate. En particulier, la diminution du mécanisme de "relargage" des polluants par les matériaux neufs au lycée Tabarly devrait atteindre cet objectif à l'avenir.

Cette comparaison avec la valeur guide de qualité de l'air intérieur doit être menée avec précaution du fait que les périodes de mesures sont courtes (2 fois 4,5 jours) et par conséquent non représentatives d'une exposition à long terme.

*Les concentrations moyennes en aldéhydes mesurées dans les lycées sont comparables à la moyenne des valeurs enregistrées dans les études françaises (OQAI, AASQA), excepté au lycée Tabarly qui se distingue des autres lycées avec des teneurs en aldéhydes plus élevées (jusqu' à 50%). La livraison récente du bâtiment en septembre 2009 avec la présence de matériaux neufs peut expliquer ces taux d'aldéhydes plus importants. Les valeurs moyennes retrouvées en formaldéhyde au sein des salles de cours des 4 lycées sont comprises entre 6,6 et  $15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et n'excèdent donc pas la valeur de gestion<sup>11</sup> de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , proposée par le Haut Conseil en Santé Publique (HCSP). Hormis au lycée Funay-Boucher, les valeurs moyennes de formaldéhyde dépassent la valeur guide de qualité de l'air intérieur<sup>12</sup> de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses) de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à atteindre en 2019.*

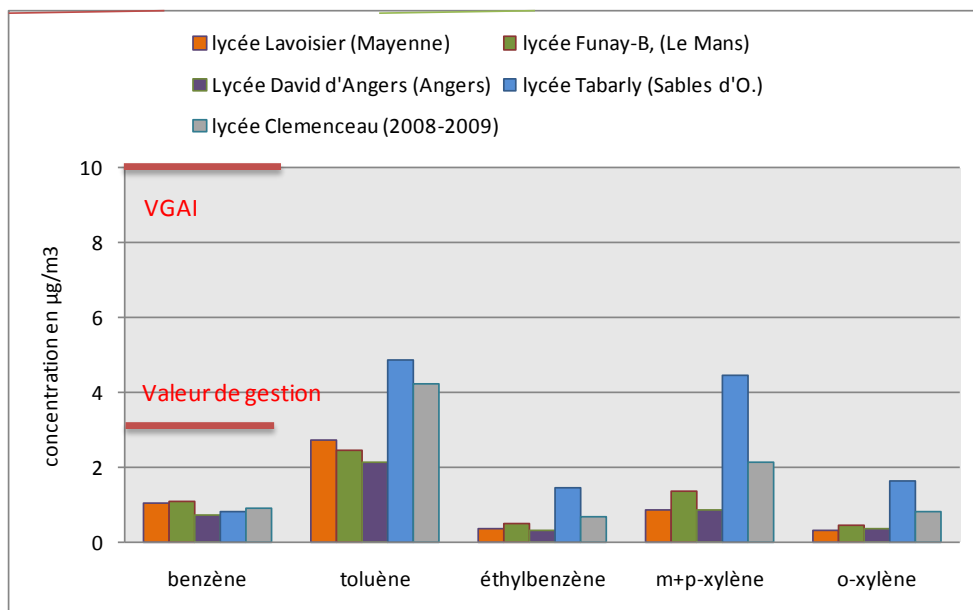
<sup>11</sup> Valeur de gestion (HCSP):valeur en dessous de laquelle aucune action correctrice spécifique n'est spécifiée

<sup>12</sup> Valeur guide (Anses) : valeur à partir de laquelle des actions de protection de la santé doivent être mises en place

## suivi des BTEX

Les résultats des concentrations moyennes dans les salles de cours des BTEX<sup>13</sup> sont représentés sur le graphique 18. Une attention particulière sera consacrée au benzène, cancérigène reconnu dont la surveillance est classée prioritaire par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses).

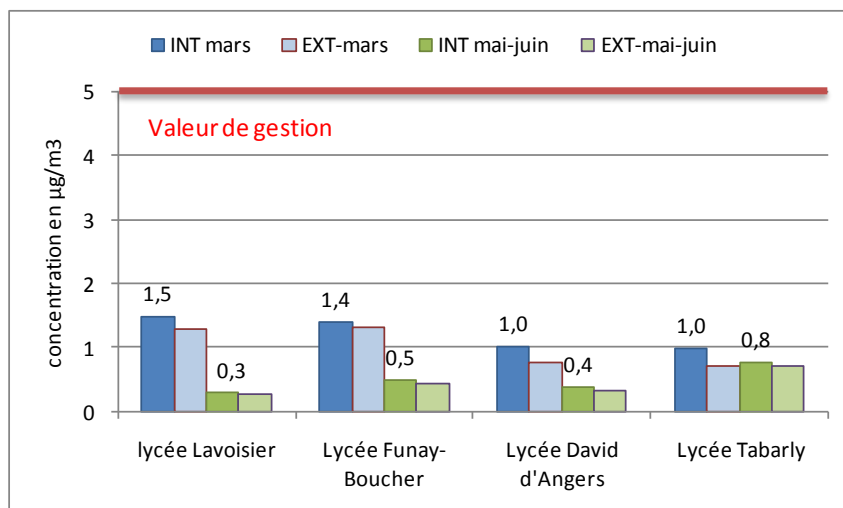
Les niveaux moyens en benzène sont homogènes entre les lycées, comparés au toluène, éthylbenzène et xylènes dont les niveaux présentent plus de variations. Ces derniers sont plus élevés (50%) dans les salles de cours du lycée Tabarly.



Graphique 18 : Concentrations moyennes en BTEX dans les 5 lycées

La concentration moyenne en benzène varie de 0,7 µg/m<sup>3</sup> au Lycée David d'Angers à 1,1 µg/m<sup>3</sup> au lycée Funay-Boucher. Lors de la campagne de mesure de l'air intérieur réalisée au lycée Clemenceau, une concentration moyenne de 0,9 µg/m<sup>3</sup> avait été mesurée. Ces valeurs sont inférieures à aux moyennes des études françaises (1,4 µg/m<sup>3</sup> pour l'étude OQAI, 3,2 µg/m<sup>3</sup> pour l'étude du collège d'Alsace et 1,7 dans les collèges de l'Isère).

L'évolution des concentrations moyennes en benzène dans des lycées au cours des 2 périodes de mesure permet de voir l'influence des concentrations mesurées en air extérieur sur l'air intérieur.



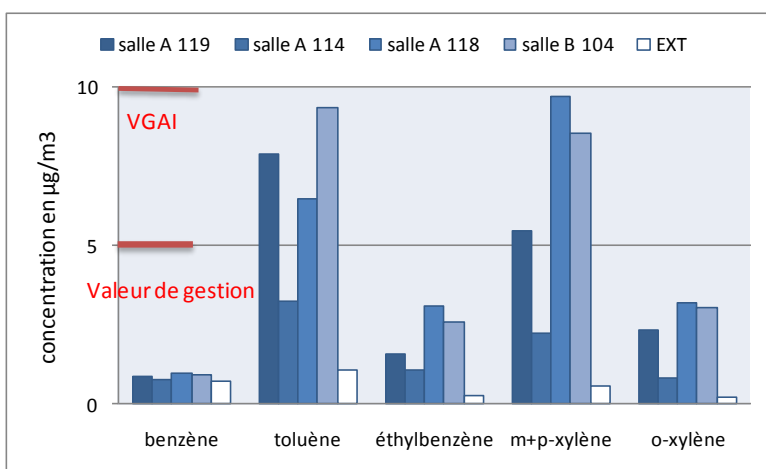
Graphique 19 : concentrations moyennes en benzène dans les 4 lycées lors des deux périodes de mesure

<sup>13</sup> Benzène, toluène, éthylbenzène, ortho, méta et para xylène



Le graphique monte aussi une diminution des concentrations en BTEX dans tous les lycées en air intérieur et extérieur entre mars et juin. Cette baisse est normale en période printanière au niveau de l'air ambiant : les concentrations hebdomadaires en benzène sont en général plus élevées en période froide (mars) en lien avec des émissions hivernales plus importantes et des conditions météorologiques plus propices à l'accumulation des polluants.

Les concentrations moyennes les plus importantes en toluène, éthylbenzène et m,p,o-xylène sont enregistrées au lycée Eric Tabarly, dont les concentrations par salles de cours sont présentées sur le graphique 20. Elles sont supérieures à celles mesurées à l'extérieur. Ces résultats montrent que ces polluants apparaissent comme des indicateurs de pollution intérieure, auxquelles peuvent s'ajouter des sources extérieures. Les niveaux de concentration sont très hétérogènes et varient d'un facteur 2 entre certaines salles de cours (A114 et les autres).



Graphique 20 : Concentrations moyennes internes et externes en BTEX au lycée Tabarly

## comparaison aux valeurs guides

### BENZENE

Le Haut Conseil en Santé Publique (HCSP) a proposé comme valeur de gestion en 2010 la valeur de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  comme valeur repère de qualité d'air en dessous de laquelle aucune action corrective spécifique n'est préconisée aujourd'hui.  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  représente la valeur cible à atteindre en 5 ans dans tous les espaces clos habités ou accueillant du public.

Les niveaux moyens mesurés dans les classes des 4 lycées sont inférieurs aux 2 valeurs de gestion du Haut Conseil en Santé Publique indiquant qu'aucune action corrective spécifique n'est nécessaire.

Les concentrations moyennes sont aussi inférieures à la valeur guide de qualité de l'air intérieur pour une exposition à long termes de l'Anses fixée à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mais toute comparaison à cette valeur guide doit être réalisée à titre indicatif du fait que les périodes de mesure sont courtes.

### TOLUENE

Les concentrations moyennes du toluène varient de 2,1 à  $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les lycées. Ces teneurs sont moins élevées que celles enregistrées dans les études françaises ( $11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'étude OQAI). L'OMS a fixé à  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la valeur guide en toluène (moyenne sur une semaine). Les concentrations relevées dans les salles de cours sont donc très en deçà de la valeur recommandée.

*Les niveaux moyens en benzène sont homogènes entre les lycées par comparaison à ceux de toluène, éthylbenzène et xylènes. Ces derniers sont mesurés en plus fortes concentrations au lycée Tabarly (50%), suggérant des émissions de COV plus importantes (mobilier neufs, cours de mécanique).*

*Ces concentrations moyennes enregistrées dans les lycées sont inférieures aux valeurs de gestion du Haut Conseil en Santé Publique et à la valeur guide de qualité de l'air intérieur de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en air intérieur proposée par l'Anses pour une exposition à long terme.*

## préconisations visant à préserver et améliorer la qualité de l'air intérieur

L'analyse des résultats de mesures et des déterminants de l'air intérieur a pour objectif final de pouvoir proposer aux gestionnaires des établissements, des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs sous forme de préconisations, afin de préserver, voire améliorer la qualité sanitaire des locaux.

Dans un premier temps, seront abordées, des préconisations générales portant sur les produits de construction, l'équipement (mobilier, systèmes de ventilation), l'entretien et le comportement dans les locaux.

Dans un deuxième temps, des préconisations par lycées seront apportées à la perspective des conclusions issues de l'analyse des résultats des mesures.

### préconisations générales

#### sur les produits de construction

Il apparaît important de limiter les sources de composés organiques volatils (COV) lors de la construction de bâtiments, de rénovations, d'un réaménagement des intérieurs en choisissant des matériaux de construction, de décoration et produits associés peu émissifs en COV.

#### contexte réglementaire

Aujourd'hui, il apparaît souvent difficile d'obtenir de l'information sur les émissions des matériaux. Cependant, il existe deux textes officiels pouvant aider à cette évaluation :

#### 1- la Directive Européenne 89/106/CEE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres concernant les produits de construction.

Cette directive assure que les produits de construction mis sur le marché communautaire sont aptes à l'usage prévu. Pour cela, ils doivent satisfaire aux 6 exigences essentielles dont celle intitulée « Hygiène, santé et environnement » (exigence essentielle n°3) qui fait état de caractéristiques sanitaires d'évaluation. Les données de l'exigence essentielle n°3 permettent de comparer les produits de construction entre eux grâce aux indications suivantes :

- les émissions de composés organiques volatils et de formaldéhyde ;
- l'odeur ;
- le comportement face aux micro-organismes ;
- les émissions radioactives naturelles.

#### 2- la Convention d'engagement volontaire du 23 mars 2009 pour l'affichage environnemental et sanitaire des produits de construction, élaborée dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

Elle a pour objet de préciser la mise en œuvre d'un étiquetage environnemental et sanitaire obligatoire pour les produits de construction et de décoration et d'interdire des substances classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction de catégories 1 et 2 (CMR 1 et CMR 2) au sens de la réglementation européenne.

Au vue de l'exigence croissante concernant les produits plus respectueux de l'environnement et de la santé, les industriels commencent à y répondre en adaptant petit à petit leurs gammes de produits pour anticiper le futur étiquetage sanitaire des matériaux.

Il est d'ailleurs possible d'obtenir des informations sur les émissions de polluants à partir des matériaux de construction sur différents documents fournis par les fabricants.

## informations sur le produit

### le document du fabricant

Ce document fourni par le fabricant a pour objectif de mettre en valeur le produit. Il peut se **présenter sous différentes formes**. Il **s'agit souvent d'une fiche technique récapitulant l'ensemble** des caractéristiques du matériau. Il peut également être communiqué sous forme de brochure détaillant les avantages du produit.

### la Fiche de Données de Sécurité (FDS)

Depuis le 1<sup>er</sup> avril 1988, la fourniture des FDS a été rendue obligatoire par le ministère du travail pour toute mise sur le marché de produits chimiques dangereux à usage professionnel. Ces Fiches **complètent l'étiquetage réglementaire** des produits dangereux sur les risques pour la santé, **l'environnement, sur les moyens de protection et mesures à prendre en cas d'urgence**. Bien qu'elles donnent des informations sur la composition du produit, le fabricant n'a pas d'obligation à communiquer sur les substances classées « sensibilisants » ainsi que sur les substances de dégradation de son produit. **Aussi, aucune information n'est inscrite à propos de l'exposition des occupants aux substances émises par le matériau concerné.**

### l'avis technique (AT)

Un matériau commercialisé possédant un avis technique est par définition contrôlé et légalisé. **L'avis technique est une procédure qui s'appuie sur une analyse exhaustive** des capacités du produit (ou du procédé), en particulier sur des justifications accumulées dans les premières années d'existence et sur des résultats d'essais. Cet avis permet habituellement d'atteindre un niveau de sécurisation et de qualité comparable à celui de produits et procédés traditionnels. Pour l'emploi d'un produit ou composant relevant du marquage CE, l'avis est formulé dans un Document Technique d'Application (DTA).

### la Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)

Pour être valide, une FDES doit être conforme à la norme AFNOR P01 010 (décembre 2004). Cependant, une révision complète des données sanitaires est en pourparler. Actuellement, 30 % des produits de construction possèdent une FDES. Ces fiches sont consultables sur le site internet <http://www.inies.fr/>

### l'étiquetage du produit

Le Plan National Santé Environnement 2009-2013, prévoit de mettre *progressivement* en place **l'étiquetage** obligatoire des matériaux relatifs aux émissions (notamment COV dont le formaldéhyde) des produits de construction et de décoration dès 2011.

### labels et certificats européens

Les prescripteurs ont aussi accès à un grand nombre **d'informations fournies par le fabricant**, au travers des exigences des labels européens. Pour chaque renseignement apporté par le fabricant sur un produit, les certificats et labels associés attestant de la conformité des performances. Le tableau ci-dessous résume les critères d'attribution des différents labels.

NOM	M1	ICL	GEV-EMICODE	GUT	AgBB
Produits	Produits de construction et de décoration	Produits de construction et de décoration	Produits de mise en œuvre des revêtements de sol	Revêtement de sols textiles	Certains types de revêtement de sol
Origine	Finlande	Danemark	Allemagne	Allemagne	Allemagne
Statut	Volontaire (privé)	Volontaire (privé)	Volontaire (privé)	Volontaire (privé)	Réglementaire
Durée de l'essai	28 jours	Temps nécessaire pour COV < seuil odeur ou irritation	10 jours	3 jours	28 jours
Mesure d'odeur	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Limite COV totaux	200 µg/m <sup>3</sup>	Limite COV individuels /seuil odeur ou irritation	100 à 500 µg/m <sup>3</sup> selon type de produits	300 µg/m <sup>3</sup>	1000 µg/m <sup>3</sup>
Limite Formaldéhyde	50 µg/m <sup>3</sup>	Limite /seuil odeur ou irritation	50 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	Non
Limite CMR	C1 (IARC) < 5 µg/m <sup>3</sup>	C1 < limite de détection	5 composés cibles	C1, C2 < limite de détection	C1 +C2 < Limite de détection
Source	<a href="http://www.rts.fi/englis_h.htm">www.rts.fi/englis_h.htm</a>	<a href="http://www.indeklimamaerket.dk">www.indeklimamaerket.dk</a>	<a href="http://www.emicode.de">www.emicode.de</a>	<a href="http://www.gut-ev.de">www.gut-ev.de</a>	<a href="http://www.umweltbundesamt.de/building-products/agbb.htm">www.umweltbundesamt.de/building-products/agbb.htm</a>

Le matériau idéal n'existe pas, l'exercice délicat est de trouver le meilleur compromis entre les enjeux sanitaires, environnementaux et les intérêts économiques du projet étudié.

→ limiter les sources de composés organiques volatils (COV) lors de la construction de bâtiments, de rénovations, d'un réaménagement des intérieurs en choisissant des matériaux et produits associés peu émissifs en COV grâce aux labels et informations fournis par les industriels.

### sur le mobilier

Le mobilier est omniprésent dans les salles de cours et est généralement constitué de bois reconstitué, source d'émissions importantes de COV. A minima, le mobilier constitué de bois doit posséder un enrobage de tous ses champs usinés, ce qui évite des émissions trop élevées en formaldéhyde.

Il est aussi conseillé de s'orienter vers des panneaux de bois respectant le classement E1 (émission inférieure ou égale à 8 mg pour 100 g de panneaux), voire le classement «EPFS » ou E05 (émission inférieure ou égale à 4 mg/100 g de panneau). Les colles peu émettrices en formaldéhyde, telle que la colle PMDI (polymeric diphenylmethane diisocyanate), permettent de réduire considérablement les émissions dans l'air intérieur.

→ Choisir du mobilier peu émissif en COV de type classement E1 ou EPFS

## sur les systèmes de ventilation

La qualité de l'air est fortement dépendante d'un système de ventilation mis en œuvre et entretenu correctement pendant toute la durée de vie.

La ventilation permet de renouveler en permanence l'air d'une pièce empêchant ainsi l'accumulation des polluants à l'intérieur des classes. L'aération, par ouverture des fenêtres, permet également de renouveler l'air d'une pièce avec un débit plus important que la ventilation, en faisant entrer de l'air frais pendant quelques minutes. C'est un complément à la ventilation, en particulier si cette dernière est défectueuse. Elle devient nécessaire lorsque le système de ventilation est inexistant : sur les 20 salles de cours étudiées en intégrant le lycée Clemenceau, 4 n'ont aucun système de ventilation, 3 classes ont une ventilation naturelle via un système de grilles, 13 possèdent une ventilation mécanique contrôlée simple ou double flux.

La réglementation en matière d'hygiène et de santé [« *Règlement Sanitaire Départemental Type* » - *Circulaire du 9 août 1978 relative à la révision du RSDT, J.O. du 13/09/78*] fixe des débits minimums d'air neuf pour les occupants des locaux d'enseignement secondaire à 18 m<sup>3</sup> par heure et par élève. Si nous prenons l'exemple d'une salle de cours composé de 25 élèves, il faudrait un débit d'air minimum de 450 m<sup>3</sup>/h. Or les débits des systèmes de ventilation des salles de cours sont inférieurs dans le lycée David d'Angers d'où l'importance d'un complément d'aération.

L'entretien des systèmes de ventilation est aussi important. Le fonctionnement permanent d'une installation accompagnée d'un nettoyage, d'un dépoussiérage et d'une désinfection régulière, sont des opérations indispensables pour assurer de bonnes conditions d'hygiène aéraulique et une économie d'énergie via un flux d'air maîtrisé.

Un système de ventilation adéquat se traduit par :

- un bon équilibre entre les dépenses énergétiques et la bonne qualité de l'air intérieur
- une conception adaptée aux besoins
- une installation par un professionnel
- une facilité d'utilisation via des trappes de visite
- un entretien et une surveillance de l'état des composants (filtres, ventilateurs, batterie,...) :
  - t - une fois par trimestre, pour les bouches d'extraction des salles de cours
  - t - une fois par an, pour les filtres d'insufflation et d'extraction des VMC double-flux
  - t - dépoussiérez régulièrement les grilles d'entrée d'air frais

Avec ou sans système de ventilation, l'aération des classes par ouverture des fenêtres est fortement conseillée dans les cas suivants :

1. après chaque activité nécessitant l'utilisation de colle, de peinture et de feutres
2. après le nettoyage des classes.

En dehors de la saison hivernale, et si les fenêtres sont de types oscillo-battantes ou à soufflet, il est alors préférable de laisser les fenêtres entrebâillées sur leur partie haute, pendant toute la durée de l'activité.

Cependant l'aération des salles de cours par ouverture des fenêtres est en outre pénalisé au niveau des déperditions dans les nouveaux calculs réglementaires (RT2005, voire RT2020) car il occasionne des pertes d'énergies importantes

→ *Entretien régulièrement les systèmes de ventilation, avec vérification de débits, et compléter le renouvellement d'air par ouverture des ouvrants*

## sur l'entretien des locaux

### limiter le nombre de produits **d'entretien**

Au vu du nombre de produits d'entretien utilisés dans les 4 lycées, il est conseillé de restreindre leur nombre au strict minimum afin d'en réduire les effets sanitaires et les effets cumulatifs des molécules. La diversité et le mélange de produits peut produire une réaction chimique inattendue et donner lieu à un dégagement de vapeurs toxiques (ex produits ammoniacés avec eau de javel).

### privilégier les produits à labels écologiques

Une lecture attentive des composants des produits conventionnels (décapants, dégraissants ménagers multi-usages, nettoyeurs pour vitres) permet de se rendre compte de la multitude des substances chimiques présentes. Entre autre, les molécules odorantes ajoutées aux produits d'entretien, telles que les aldéhydes, les terpènes, etc. sont souvent irritantes ou allergisantes.

- t Additifs (épaississants, parfums de synthèse, colorants) → allergisants
- t Solvants (formaldéhyde, toluène, trichloroéthylène, solvants chlorhydrique, sulfurique, phosphorique) → multiples effets sur la santé
- t Éthers de glycols → reprotoxique (ex: DEGME)

Le choix de labels écologiques pour des produits d'entretien moins émissifs en COV permet de préserver une meilleure qualité de l'air intérieur. Les labels suivants pour les produits d'entretien sont disponible sur le marché : l'Eco-label Européen, l'Eco-label Scandinave (Nordic Swan), l'Eco-label Anglais (Green Seal) et pour les textiles : l'Eco-label allemand (Ange bleu).

Lors de l'enquête dans les lycées, il a été constaté que les lycées utilisent des produits écologiques.

### utiliser un système de dosage

L'utilisation d'une centrale de dosage avec postes de dilution permet d'éviter un contact direct avec la main de l'utilisateur, ainsi que les surdosages, souvent à l'origine d'émissions importantes de COV.

### **consacrer un temps suffisant pour l'entretien d'une salle**

Privilégier un entretien régulier car un entretien plus espacé nécessite généralement des produits plus agressifs. Ce temps de nettoyage adapté par classe permet d'éviter les produits vendus sous l'effigie « sans rincer, sans froter », renfermant souvent des formules chimiques non souhaitables pour la santé. L'action mécanique de nettoyage, même si elle n'est pas toujours suffisante, reste essentielle, l'action chimique ne devant être, lors du nettoyage quotidien, que complémentaire.

### **aérer les salles de cours pendant et après l'entretien (au moins 1 heure)**

De nombreuses études montrent que les produits d'entretiens sont eux même émetteurs de pollution. Des tests effectués en laboratoire ont montré que le formaldéhyde contenu dans les produits d'entretien ayant une concentration initiale de 25 µg/m<sup>3</sup> mettait 4 heures pour atteindre une concentration nulle. Une organisation du travail associant une formation du personnel d'entretien est donc à envisager afin de concilier temps de travail et l'efficacité sanitaire attendue.

→ **Poursuivre l'utilisation des produits peu émissifs en COV (Labels) en nombre limité sans surdosage et aérer les locaux pendant les périodes d'entretien**

## sur les habitudes comportementales

### aérer les salles de cours pendant les inter**cou**rs et lors d'**acti**vités émettant des polluants

Les niveaux de dioxyde de carbone mesurés dans 13 salles de cours sur les 16 investiguées dépassent ponctuellement le seuil du règlement sanitaire départemental, surtout en fin de matinée.

Dans les salles dépourvues de VMC, un renouvellement régulier de l'air par ouverture des ouvrants aux intercou**rs** (10 minutes) s'avère nécessaire dans ces salles. Pour les salles disposant d'un système de ventilation, une aération est conseillée en fin de matinée.

Par ailleurs, une aération des locaux est nécessaire pendant toute activité provoquant des émissions de polluants : arts plastiques, technologie, mécanique, sciences appliquées.

→ **Aérer les locaux aux intercou**rs** et lors d'**acti**vités provoquant de la pollution**

## conclusion

D'une manière générale, les matériaux et les produits émettant le moins de COV doivent être privilégiés, pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur.

L'élimination, ou la réduction, des sources permanentes de COV (ameublement, des matériaux de construction) ne peut se faire qu'en engageant des travaux de rénovation et/ou de changement d'ameublement et en choisissant des matériaux moins émissifs.

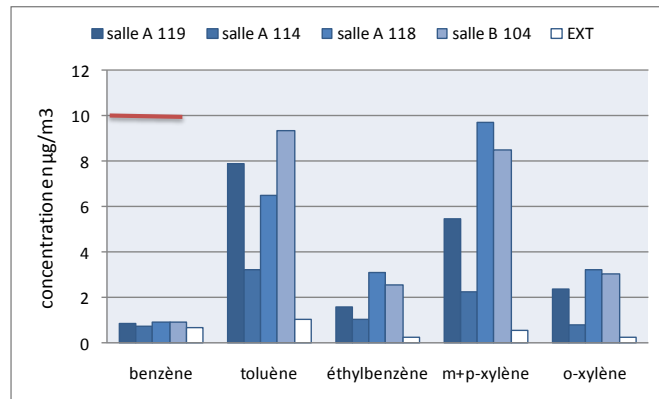
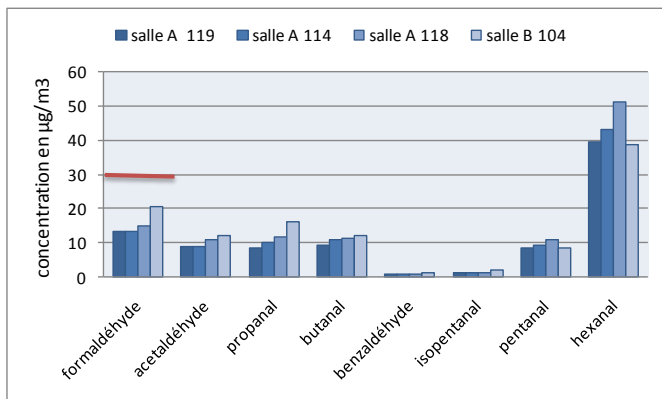
Les émissions à court terme issues de l'activité des occupants peuvent, quant à elles être éliminées ou à défaut réduites, en choisissant des produits ne contenant pas ou peu de COV.



## préconisations par lycée

### lycée Tabarly (Les Sables d'Olonne)

Au lycée Tabarly, les facteurs climatiques des salles de cours se situent dans la zone de confort et les concentrations moyennes en dioxyde de carbone n'indiquent pas de confinement (dépassement ponctuel du seuil du RSD dans la salle A118).



Graphique 21 et Graphique 22 : concentrations moyennes en aldéhydes et BTEX dans les salles de cours au lycée Tabarly

Bien que le lycée soit ouvert depuis une année, nous retrouvons des concentrations en COV (aldéhydes et BTEX) supérieures à la concentration habituellement retrouvée dans des lycées plus anciens. Les émissions en COV mesurées dans les salles de cours proviennent essentiellement des produits et matériaux récemment mise en place.

**C'est pourquoi, les débits d'air des systèmes de ventilation devraient être plus élevés les premiers mois après livraison, voir les premières années afin d'évacuer ces émissions** plus importantes de substances chimiques.

La réduction des concentrations en COV dans les salles de cours du lycée Eric Tabarly peut aussi se faire, en agissant sur les facteurs qui conditionnent le comportement des ces composés volatils à l'intérieur des classes (température, humidité, ...). Le maintien de facteurs climatiques peu favorable aux émissions de COV (forte température et humidité relative) permettrait de diminuer sensiblement les concentrations en COV.

Nous pouvons également observer une concentration élevée en Hexanal (jusqu'à 50 µg/m<sup>3</sup>) dans toutes les classes du lycée Eric Tabarly. Ce taux peut s'expliquer par la présence de bois massif à l'intérieur des classes, qui n'était pas sec au moment de sa pose. Lors de son séchage au sein des classes, des COV, dont l'hexanal a été émis dans l'air intérieur.

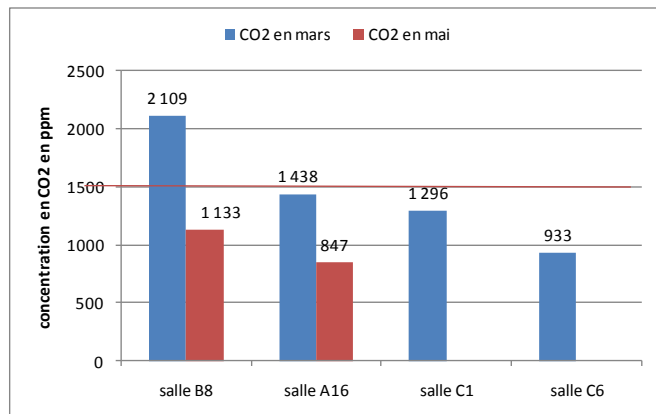
Les concentrations des BTEX dans les salles de cours du lycée Tabarly sont légèrement supérieures à la moyenne des autres lycées. Dans la **salle de cours B104**, le taux plus élevé en toluène, éthylbenzène et xylènes est du à une activité spécifique de travaux pratiques de construction mécanique, induisant la présence de moteurs et de produits chimiques (essences, solvant, colles, peintures, vernis,...). Nous pouvons noter également un taux plus élevé en formaldéhyde et en acétaldéhyde dans cette salle, qui est équipée d'une dizaine de postes informatiques. Une étude de NAKAGAWA en 2003, a montré que les ordinateurs étaient source de formaldéhyde et d'acétaldéhyde, ce qui pourrait expliquer les valeurs légèrement plus élevées dans cette salle que les 3 autres.

En moindre concentration, les salles A 119 et A 118 présentent également une pollution spécifique en BTEX. Bien que des cours généralistes y soient dispensés, les élèves présents suivent des cours techniques (plasturgie, Bois, Mécanique) et peuvent transporter une pollution par leurs vêtements et accessoires à l'intérieur des locaux.

*Un maintien des débits d'air en vitesse maximale dans les salles de cours serait souhaitable en permanence afin que les concentrations en aldéhydes et BTEX atteignent un niveau plus faible. Il est aussi conseillé d'effectuer des activités de construction mécanique particulièrement polluantes dans des locaux adaptés (haut débit d'extraction d'air).*

## lycée Lavoisier (Mayenne)

Le lycée Lavoisier apparait comme le lycée le plus confiné, aussi un examen du confinement par salle de cours est présenté sur le graphique 23.

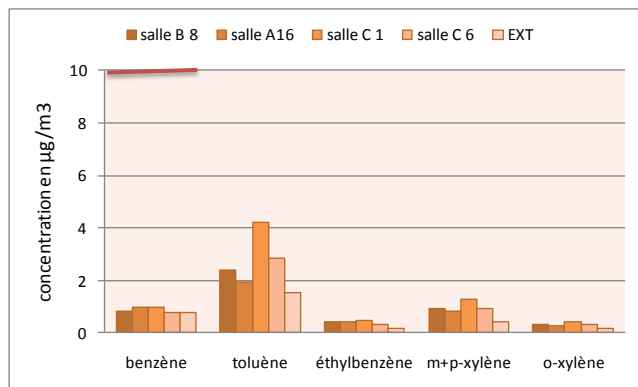
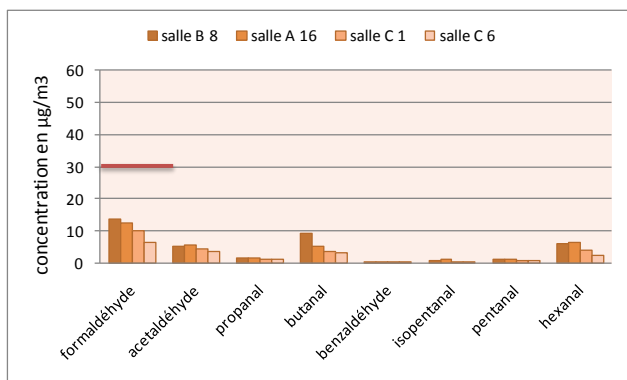


Graphique 23 : concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les salles de cours au lycée Lavoisier

Avec des concentrations moyennes en mars de 1438 et 2109 ppm, les salles A16 et B8 apparaissent confinées, dépassant le seuil de 1300 ppm du règlement sanitaires départemental.

En mai, les niveaux moyens de toutes les salles sont en dessous du seuil du RSD. Les salles A16, B8 et C1 ne sont pas équipées de VMC ce qui favorise le confinement.

Les concentrations en formaldéhyde dans les salles de cours sont en dessous de la valeur de gestion du Haut conseil en santé publique (HCSP) de 30 µg/m<sup>3</sup> mais en dessus de la valeur guide air intérieur (VGAI) de 10 µg/m<sup>3</sup> à atteindre en 2019. Les valeurs moyennes en benzène sont en dessous des valeurs de gestion du HCSP de 5 µg/m<sup>3</sup> et de la VGAI.

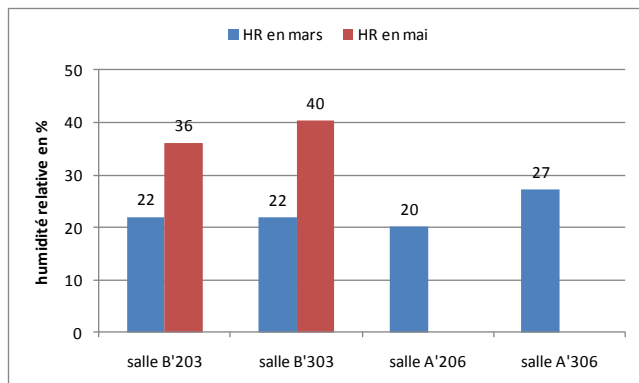


Graphique 24 et Graphique 25 : concentrations moyennes en aldéhydes et BTEX dans les salles de cours au lycée Lavoisier

*Au vu du niveau de confinement dans les salles A16 et B8, un renouvellement régulier de l'air par ouverture des ouvrants aux intercourts (10 minutes) s'avère nécessaire dans ces salles.*

## lycée Funay-Boucher (Le Mans)

Dans ce lycée, les valeurs moyennes en humidité relative en mars sont inférieures à 35% significatif, d'une atmosphère trop sèche dans les salles de cours.

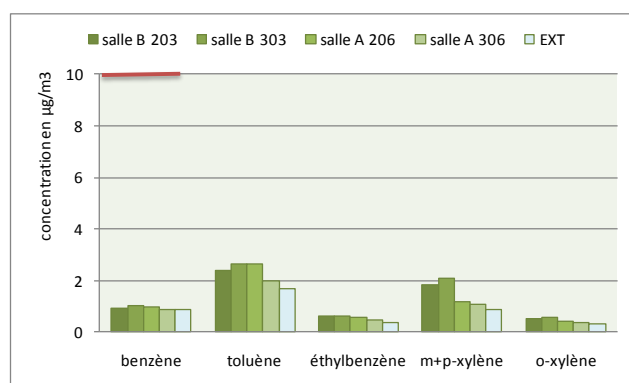
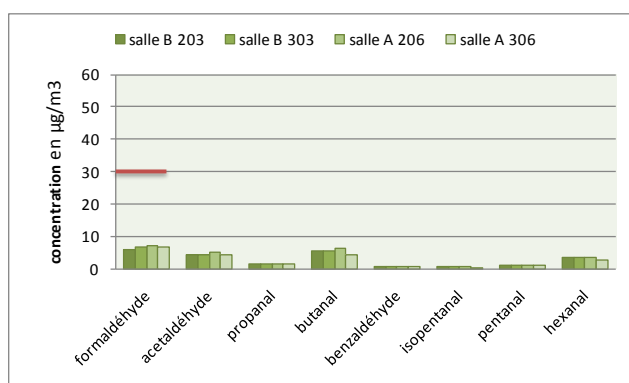


Graphique 26 : concentrations moyennes en humidité relative dans les salles de cours au lycée Funay-Boucher

Les concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les salles de cours sont en dessous du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD). Un confinement ponctuel à certaines heures de cours a été enregistré dans toutes les salles du lycée.

Le Règlement Sanitaire Départemental Type fixe les débits minimums d'air neuf pour les occupants des locaux d'enseignement secondaire à 18 m<sup>3</sup> par heure et par élève. Avec un effectif moyen de 16 à 20 élèves par salles de cours, il serait conseillé d'avoir un débit d'air minimum variant de 288 à 360 m<sup>3</sup>/h. Le réglage actuel des VMC communiqué semble correctement assurer le renouvellement d'air dans les salles de cours. Cependant une ouverture des fenêtres aux intercour permettrait d'éviter le confinement ponctuel enregistré en fin de matinée.

Les concentrations en formaldéhyde et en benzène dans les salles de cours sont en dessous des valeurs de gestion du Haut conseil en santé publique (HCSP) et de la VGAI.



Graphique 27 et Graphique 28 : concentrations moyennes en aldéhydes et BTEX dans les salles de cours au lycée Funay-Boucher

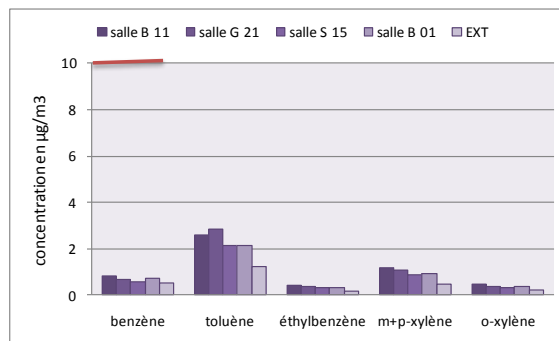
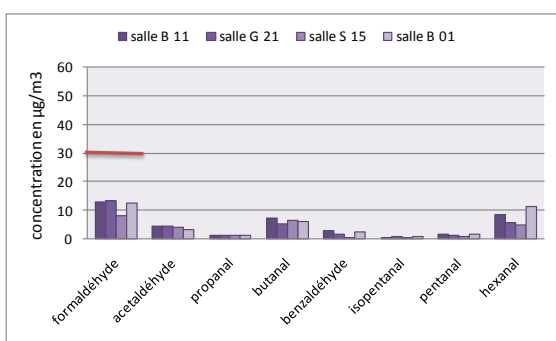
*Compte tenu du faible niveau d'humidité relative enregistrée dans les salles de cours en mars, une vérification du réglage du système de chauffage serait nécessaire. Un renouvellement de l'air par ouverture des ouvrants permettrait de diminuer le confinement ponctuel enregistré dans les salles et permettrait aussi d'augmenter l'humidité relative interne.*

## lycée David d'Angers (Angers)

Les paramètres de confort au lycée David d'Angers se situent dans la zone de confort quelque soit la période de mesure.

Les concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les salles de cours sont en dessous du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD), mais du confinement ponctuel a été enregistré dans les salles de cours. Avec un effectif moyen variant de 15 à 34 25 élèves par salles de cours, il serait nécessaire d'avoir un débit d'air minimum variant de 270 m<sup>3</sup>/h à 612 m<sup>3</sup>/h selon les salles. L'absence de communication des débits des VMC par le lycée n'a pas permis de vérifier ces niveaux. Une vérification des niveaux de débits serait donc souhaitable.

Les concentrations en formaldéhyde et en benzène dans les salles de cours sont en dessous des valeurs de gestion du Haut conseil en santé publique (HCSP) et des VGAI.



Graphique 29 et Graphique 30 : concentrations moyennes en aldéhydes et BTEX dans les salles de cours au lycée David d'Angers

*Une vérification du réglage (débit) des systèmes de ventilation serait nécessaire, associée à un renouvellement de l'air par ouverture des ouvrants, afin de diminuer le confinement ponctuel sans les salles de cours.*

# conclusions et perspectives

Ces résultats du suivi de la qualité de l'air intérieur dans les quatre lycées ont mis en évidence :

- un niveau de confinement élevé à certaines heures de cours dans les salles des établissements, avec des dépassements ponctuels du seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental (RSD) ;
- des concentrations moyennes en formaldéhyde en dessous de la valeur de gestion du Haut conseil en santé public (HCSP) hormis au lycée Clemenceau, valeur en dessous de laquelle aucune action correctrice spécifique n'est spécifiée ;
- des concentrations moyennes en benzène homogènes entre les établissements et en dessous des valeurs de gestion du Haut conseil en santé public ;
- des niveaux de certains aldéhydes (hexanal notamment) et de Toluène, éthylbenzène et Xylènes plus élevés d'un facteur 2 au lycée Tabarly liés aux matériaux récents du lycée.

En termes de **préconisations générales** pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur dans les locaux, **des recommandations sont proposées sur l'utilisation de matériaux** et les produits émettant moins de COV et les habitudes comportementales dans les locaux.

- **constructif** : limiter les sources de composés organiques volatils (COV) lors de la rénovation, d'un réaménagement des intérieurs en choisissant des matériaux de construction, de décoration et produits associés peu émissifs en COV grâce aux labels et informations fournis par les industriels ;
- **meubler** : choisir du mobilier de type classement E1 ou EPFS (faibles émissions des panneaux de bois).
- **systèmes de ventilation** : entretenir régulièrement les systèmes de ventilation et compléter le renouvellement d'air pour ouverture des ouvrants ;
- **entretien** : poursuivre l'utilisation des produits peu émissifs en COV (Labels écologiques) en nombre limité et aérer les locaux pendant l'entretien ;
- **habitude comportementales** : aérer les locaux aux intercourts et pendant certaines activités pouvant émettre des polluants (bricolage, mécanique, ...)

L'étiquetage d'ici 2012 des matériaux de construction devrait faciliter la décision des gestionnaires d'établissement dans le choix de matériaux peu émissifs. A titre indicatif l'approche expérimentale en matière d'aération et réduction des produits d'entretien menée dans le lycée Clemenceau en 2008-2009 a entraîné une baisse des niveaux de formaldéhyde de 30%.

En termes de préconisations pour chaque lycée, les propositions suivantes peuvent être faites :

Compte-tenu des niveaux plus importants d'aldéhydes et BTEX mesurés au lycée Tabarly, une augmentation du débit de ventilation dans les salles de cours serait souhaitable afin que les concentrations en polluants atteignent un niveau plus faible. Il est aussi conseillé d'effectuer des activités de construction mécanique particulièrement polluantes dans les locaux adaptés (haut débit d'extraction d'air).

Au **lycée Lavoisier**, des niveaux de confinement importants ont pu être mesurés suggérant qu'une ouverture des fenêtres régulières serait souhaitable pendant les heures de cours, afin de faire baisser les niveaux de dioxyde de carbone.

Au **lycée Funay-boucher et David d'Angers**, une vérification du réglage des systèmes de ventilation serait nécessaire, associée à un renouvellement de l'air par ouverture des ouvrants, afin de diminuer le confinement ponctuel et améliorer les conditions climatiques des salles de cours du lycée Funay-Boucher. La mise en place de ces actions correctrices devait permettre de maintenir un air de bonne qualité dans les salles de cours.

Au **lycée Clemenceau**, où la valeur moyenne annuelle en formaldéhyde était de  $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Il conviendra de profiter des travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution progressive vers l'objectif de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En termes de **perspectives**, il serait intéressant de poursuivre ce suivi de la qualité de l'air intérieur au niveau du **lycée Tabarly**. Il permettrait d'évaluer la baisse des niveaux de COV liés aux émissions des produits de construction et du mobilier récents d'une part et d'autre part d'étudier l'impact des préconisations proposées.

Compte-tenu des niveaux de formaldéhyde mesurés au **lycée Clemenceau**, Il conviendra d'engager des actions de réduction des émissions lors de travaux de rénovation par le choix de matériaux moins émissifs, afin de favoriser l'évolution progressive des niveaux vers l'objectif de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Lors de cette étude, les 4 lycées ayant intégré une démarche de développement durable (HQE, choix de matériaux écologiques et de produits d'entretien écologiques ...) **présentent des niveaux de COV en dessous des valeurs de gestion, n'engageant aucune action correctrice**. La mise en place d'une **évaluation** de la **qualité de l'air** dans d'autres lycées de la région n'ayant pas mis en oeuvre cette démarche pourrait permettre d'étendre le diagnostic et donner des éléments complémentaires de préconisations.

A titre de complément d'information, Air Pays a pour projet après avoir développé son expertise en matière de surveillance des environnements intérieurs (écoles, crèches, parkings, aérogare), de l'étendre en menant des études exploratoires relatives à la **quantification** des **émissions** de formaldéhyde par le mobilier et les produits de construction et de décoration.

# annexes

- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs
- annexe 3 : principe d'échantillonnage par tubes passifs
- annexe 4 : valeurs **de référence de l'air intérieur**
- annexe 5 : informations issues des enquêtes dans les lycées
- annexe 6 : diagramme des zones de confort

## annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

### surveiller pour savoir et comprendre



#### l'air de la région sous haute surveillance

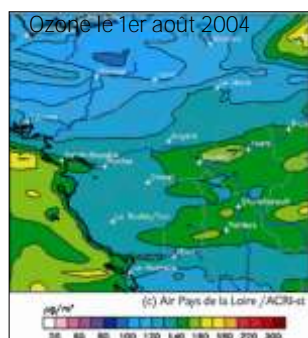
Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une quarantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

#### mesurer où et quand c'est nécessaire

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

#### la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.



#### simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.



#### prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités politiques ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à sa plateforme IRIS.

### informer pour prévenir



#### pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités publiques et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

#### sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

Le site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org) donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air (Atmo, IQA), les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

#### des publications largement diffusées

Tous les trois mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin trimestriel d'information *Au fil de l'air*. Un rapport annuel dresse par ailleurs un état très complet de la qualité de l'air.



## annexe 2 : risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs

L'avis de l'Anses se base pour les aspects scientifiques sur les rapports finaux issus d'une expertise collective :

- un rapport Anses « Toxicité du formaldéhyde. État des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) » rédigé par le groupe de travail « Formaldéhyde » ;
- « Evaluation des risques sanitaires liés aux expositions de la population française au formaldéhyde dans l'air » rédigé par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

L'expertise a suivi la démarche méthodologique pour une évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition pour la population générale, comprenant les étapes d'identification des dangers, caractérisation des relations dose-effet, quantification de l'exposition et caractérisation des risques sanitaires.

Suite à une expertise collective, L'Agence a mis en évidence les points suivants :

- une exposition aiguë au formaldéhyde liée à l'utilisation normale de produits de consommation courantes (produits nettoyeurs,...), peut conduire à des irritations oculaires et nasales, qu'il s'agisse d'expositions au formaldéhyde émis ou formé secondairement (conclusions valables pour les produits testés dans le cadre de l'étude).
- lors d'exposition chronique au formaldéhyde, dans les environnements intérieurs :
  - t la majorité de la population française est exposée à un risque de survenue d'irritations oculaires et nasales liées à la présence de formaldéhyde dans le logement. Les mesures d'exposition réalisées attestent d'un dépassement des VTR chroniques protégeant de ces irritations. La fréquence de survenue et la sévérité des effets irritants restent inconnues ;
  - t l'exposition des enfants dans les crèches ou écoles doit être prise en compte. Même si ces lieux considérés individuellement ne conduisent pas à mettre en évidence un risque, ils contribuent à l'exposition cumulée au formaldéhyde dans une journée ;
  - t pour les bureaux et les lieux de loisir, les données disponibles ne montrent pas un dépassement de la VTR. Toutefois, certains lieux peuvent contribuer à l'exposition au formaldéhyde de la population qui les fréquente régulièrement et ne doivent pas être exclus ;
  - t concernant le risque cancérigène, malgré la méconnaissance de la relation dose-réponse, les concentrations maximales estimées restent largement inférieures aux seuils mentionnés dans la littérature considérée comme protecteurs de l'apparition du cancer du nasopharynx. Le risque pour la population générale de développer un cancer du nasopharynx suite à l'inhalation de formaldéhyde seul semble négligeable au vu des niveaux de concentration mesurés actuellement dans l'air. Toutefois, l'effet combiné du formaldéhyde à d'autres composés n'a pas été étudié.

## annexe 3 : principe d'échantillonnage par tubes passifs

Les tubes passifs mesurant les aldéhydes sont composés d'un corps diffusif à l'intérieur duquel sont introduites des cartouches composées de filet acier inoxydable rempli de Florisil™ et revêtu de 2,4-dinitrophényldrazine (2,4-DNPH). Les aldéhydes sont transportés dans l'échantillonneur par diffusion moléculaire jusqu'à la cartouche chimiadsorbante. Ils réagissent avec le 2,4-DNPH de la cartouche, formant le correspondant 2,4-dinitrophényldrazone. Les 2,4-dinitrophényldrazones sont extraits et sont analysés par HPLC<sup>14</sup> en phase inversée et détecteur UV.

Les neuf aldéhydes mesurés sont le formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, propanal, butanal, benzaldéhyde, isopentanal, pentanal et hexanal.



Les cartouches mesurant les BTEX sont composées d'un tube de filet acier inoxydable à maille, rempli de charbon graphité. Les COV sont piégés par absorption puis désorbés par désorption thermique et sont ensuite analysés par Chromatographie gazeuse capillaire détecteur FID ou MS.

Photo 3 : symétrie du tube radiello (extrait du protocole de surveillance du formaldéhyde-LCSQA)

Les tubes étant exposés durant 4.5 jours du lundi au vendredi les teneurs mesurées correspondent à des concentrations moyennes sur cette période.

<sup>14</sup> Chromatographie en phase liquide à haute performance

## annexe 4 : valeurs de référence de l'air intérieur

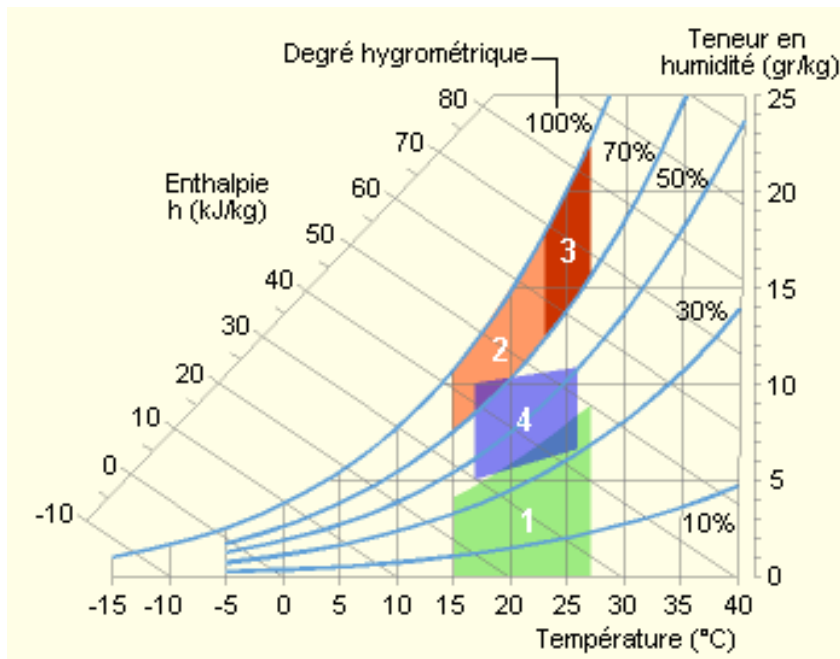
Avant la publication de valeur de qualité de l'air intérieur de l'Anses, des valeurs de recommandations sur des polluants de l'air intérieur existent déjà comme les valeurs guides pour la qualité de l'air de l'OMS (*Air quality guidelines, 2005*) ou celles issues du groupe de travail de la Direction générale de la santé et de la protection du consommateur de la Commission européenne (GT INDEX pour *Indoor Exposure Limits*).

Formaldéhyde	<p>Valeur de gestion (HCSP)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur cible à atteindre en 10 ans (2019) ;</li> <li>• 30 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur repère en dessous de laquelle aucune action corrective spécifique <b>n'est spécifiée</b>. Au-delà, profiter des travaux de rénovation ou de <b>changement d'ameublement pour choisir des matériaux moins émissifs</b> ;</li> <li>• 50 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur valeur d'information et de recommandation. Au-delà, identifier les sources principales et engager des actions appropriées ;</li> <li>• 100 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur d'action rapide. <b>Neutraliser les sources de pollution.</b></li> </ul> <p>Valeurs guides <b>de qualité de l'air intérieur (Anses)</b></p> <p>VGAI long terme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur repère de protection des populations sensibles sur une exposition à long terme application de cette valeur en 2012 pour tous bâtiments neufs (Anses)</li> </ul>
Benzène	<p>Valeur de gestion (HCSP)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur cible à atteindre en 5 ans (2015) ;</li> <li>• 5 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur repère en dessous de laquelle, <b>aucune action spécifique n'est préconisée</b>. Au delà de cette valeur, identifier les sources intérieures en cause et <b>d'engager des actions de réduction des émissions (ventilation)</b> ;</li> <li>• 10 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur d'action immédiate. Neutraliser les sources de pollution.</li> </ul> <p>Valeurs guides <b>de qualité de l'air intérieur (Anses)</b></p> <p>VGAI long terme (Anses):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> pour les effets chroniques non cancérogènes pour une durée <b>d'exposition supérieure à un an</b>.</li> <li>• 2 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> : valeur pour les effets chroniques cancérogènes et une durée <b>d'exposition vie entière, correspondant à un excès de risque de <math>10^{-5}</math></b>.</li> </ul> <p>VGAI intermédiaire (Anses) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> en moyenne sur un an pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène (8 heures).</li> </ul> <p>VGAI court terme (Anses) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène.</li> </ul>
Toluène	<p>Valeur Guide (OMS) :</p> <p>260 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (moyenne sur une semaine applicable en air extérieur).</p>
Dioxyde de carbone	<p>Recommandation (RDS) :</p> <p>Seuil : 1300 ppm</p>
Particules	<p>Valeurs guides de qualité de <b>l'air intérieur (Anses)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{PM}_{2.5}</math> : 25 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> sur 24 heures, 10 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> sur le long terme</li> <li>• <math>\text{PM}_{10}</math> : 50 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> sur 24 heures, 20 <math>\mu\text{g.m}^{-3}</math> sur le long terme</li> </ul>

## annexe 5 : informations issues des enquêtes dans les lycées

	Lavolsier (Mayenne)	Funay-Hélène Boucher (Le Mans)	David d'Angers (Angers)	Eric tabarly (Sable d'Olonne)	Clemenceau (Nantes)
Année de rénovation de la salle	1995 ( peinture, isolation intérieure)	Restructuration entre 1996 et 1999	renovation complète en 1997 (peinture, mobilier, isolation)	Année de construction 2009	1999 (peinture, plafond, huisseries)
Type de VMC	VMC dans salle C6	VMC simple Flux	VMC simple Flux	VMC double flux	absence de VMC
Débit d'air extrait (m <sup>3</sup> /h)	données non disponibles	Pas de variation de débit Salle B'203 : 300 Salle B'303 :300 Salle A'206 : 420 Salle A'306 : 420	données non disponibles	Salle A114 : 625 Salle A118 : 600 Salle A119 : 750 Salle B104 : 425	
Revêtement sol	Carrelage	PVC, carrelage	Linoléum	Linoléum	Parquet bois massif
Revêtement mur	toile de verre peints/peinture glycérophthalique	Toile de verre	Peinture	Peinture acrylique Panneaux de fibres vernis bicouche en polyuréthane	Papier verre peint + frise en bois reconstitué
Revêtement plafond	Dalle de faux plafond	Dalle de faux plafond	Dalle de faux plafond	dalle de plafond et bois	Fibre minérale projetée peinte + faux plafond
Mobiliers	Contre-plaqué mélaminé	Contre-plaqué mélaminé	Contre-plaqué mélaminé	Contre-plaqué mélaminé	Contre-plaqué mélaminé
Type de menuiserie	Aluminium double vitrage avec entrées d'air	aluminium double vitrage avec entrées d'air	bois et aluminium double vitrage avec entrée d'air	bois exotique double vitrage avec entrées d'air	Fenêtres en bois, double vitrage sans entrées d'air
Tableau	Tableau blanc	Tableau blanc	Tableau craie	Tableau blanc	Tableau blanc
Volume (en m <sup>3</sup> )	Salle B8 : 142 Salle A16 : 144 Salle C1 : 158 Salle C6 : 158	Salle B'203 : 114,6 Salle B'303 : 114,4 Salle A'206 : 219,3 Salle A'306 : 153,5	Salle B11 : 213 Salle G21 : 159 Salle S15 : 178 Salle B01 : 191	Salle A114 : 153 Salle A118 : 138 Salle A119 : 164 Salle B104 : 182 169	196
effectifs moyens	Salle B8 : 21 Salle A16 : 24 Salle C1 : 20 Salle C6 : 20	Salle B'203 : 16 Salle B'303 : 18 Salle A'206 : 20 Salle A'306 : 19	Salle B11 : 34 Salle G21 : 31 Salle S15 : 20 Salle B01 : 30	Salle A114 : 14 Salle A118 : 13 Salle A119 : 14 Salle B104 : 16	salle N102: 20
Produits d'entretien	<b>Sol</b> : Nettoyant sol auto-laveuse (VegeClean avec label européen) <b>Surface</b> : Argos cleanpuissant agent de nettoyage	<b>Sol</b> : Asset et Procur (sols Thermoplastiques) Lavage à plat avec microfibre humidifié. <b>Surface et vitres</b> : Magister et cyclone (IPC bio) ++ en cours de test avec Adisco vendome diffusion	<b>Surface</b> (tables) : cyclone bio et cyclone bio zen de Cap vert par IPC (nettoyant dégraissant bactéricide, fongicide et désodorisant, prêt à l'emploi Base comprenant : Propanol, alcool éthylique <b>Sols, tableau, murs</b> : Brial +	<b>Surface</b> : Tablefit de Kiehl <b>Sol</b> : Es'pass de PFC : nettoyant sols écologique (écolabels européen) <b>Vitres</b> : Téry, nettoyant multi-usages écologique (écolabels européen) et nettoyant vitre alcool sans traces	<b>Sol</b> : détergent puissant <b>Surface</b> : spay déthacant
Temps de passage	20 minutes par salle	10 minutes par salle	20 minutes par salle	10 minutes par salle	8 minutes par salle
fréquence de nettoyage	hebdomadaire	quotidiennement 12h/13h	variable : équipe de matin ou soir	variable : équipe de matin ou soir	quotidiennement

## annexe 6 : diagramme des zones de confort



Zone de confort admissible en fonction du degré hygrométrique et de la température

- 1 : zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2/3 : zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.
- 3 : zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : polygone de confort hygrothermique

A noter enfin que les limites d'humidité imposées en Suisse par la SIA V382/1 sont beaucoup moins exigeantes : on admet une humidité située en permanence entre 30 et 65 % HR, avec des pointes entre 20 et 75 % HR durant quelques jours par an. De tels taux momentanés sont supportables physiologiquement, sans qu'il ne soit nécessaire de recourir à une humidification artificielle.

Source : ISELT P., ARNDT U., CAUCHEPIN J.L., *Manuel de l'humidification de l'air*, 1997 - 240 p., Paris

# bibliographie

- [1] ANSES (2007) - Valeurs Guide de qualité d'Air Intérieur - Document cadre et éléments méthodologiques (juillet 2007).
- [2] ANSES (2007) - Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur- le formaldéhyde. (juillet 2007) Avis de l'ANSES relatif à la proposition de valeur guide de l'air intérieur pour le formaldéhyde. Auto-saisine ANSES (2004).
- [3] ANSES (2008) - Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur- Le benzène (mai 2008) Avis de l'ANSES relatif à la proposition de valeur guide de l'air intérieur pour le benzène. Auto-saisine ANSES (2004).
- [4] Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2004) - Campagne pilote : 90 logements et 9 écoles Rapport final.
- [5] Sépia-Santé (2006) - Ré-analyse des données recueillies par l'OQAI sur l'air intérieur de neuf écoles primaires et maternelles.
- [6] Evaluation de la qualité de l'air intérieur dans deux établissements scolaires nantais, septembre 2008-juillet 2009. Air Pays de la Loire
- [7] Ascoparg, Sup'AIR (2009) Diagnostic qualité de l'air intérieur dans les collèges de l'Isère. Partenariat qualité de l'air dans les collèges avec le Conseil Général de l'Isère.
- [8] ASPA (2009) - Campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur dans les locaux du Collège d'Heiligenstein. Rapport relatif à la campagne de mesure qui s'est déroulée du 26 au 30 janvier 2009. Réf ASPA 09032601-ID.
- [9] ASPA (2009) - Campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur dans les locaux du lycée du Pflixbourg Rapport relatif à la campagne de mesure qui s'est déroulée du 17-17 avril 2009 et 27-29 avril 2009 . Réf ASPA 09061806-ID.
- [9] ANSES (2006) - Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs (mai 2008).
- [10] Squinazi F. les polluants physico-chimiques de l'air intérieur : sources et impact sanitaires, Environnement, risques et santé-vol.7, n°6, novembre-décembre 2008.
- [11] Jedor B. (2005) - qualité de l'air intérieur dans les écoles primaires maternelles et primaires : spécificité de la problématique et implications en terme d'évaluation et de gestion des risques sanitaires. ENSP-Mémoire IGS 2005.

# glossaire

## abréviations

Aasqa	Association agréée de 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 de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ASCOPARG	Association pour le contrôle et la prévention de l'air la région grenobloise
Aspa	Association de surveillance de la pollution atmosphérique en Alsace
BTEX	benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes
CIRC	institut international de recherche sur le cancer
CO2	dioxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
HCSP	Haut Conseil de la Santé Publique
HQE	Haute qualité environnementale
HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance
MEEDDM	Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
RSD	Règlement sanitaire départemental
ppm	Parties par million
µg	microgramme (= 1 millionième de gramme)
VGAI	Valeur guide de qualité de l'air intérieur

# airpays de la Loire

7, allée Pierre de Fermat – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 28 22 02 02

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

[contact@airpl.org](mailto:contact@airpl.org)

