

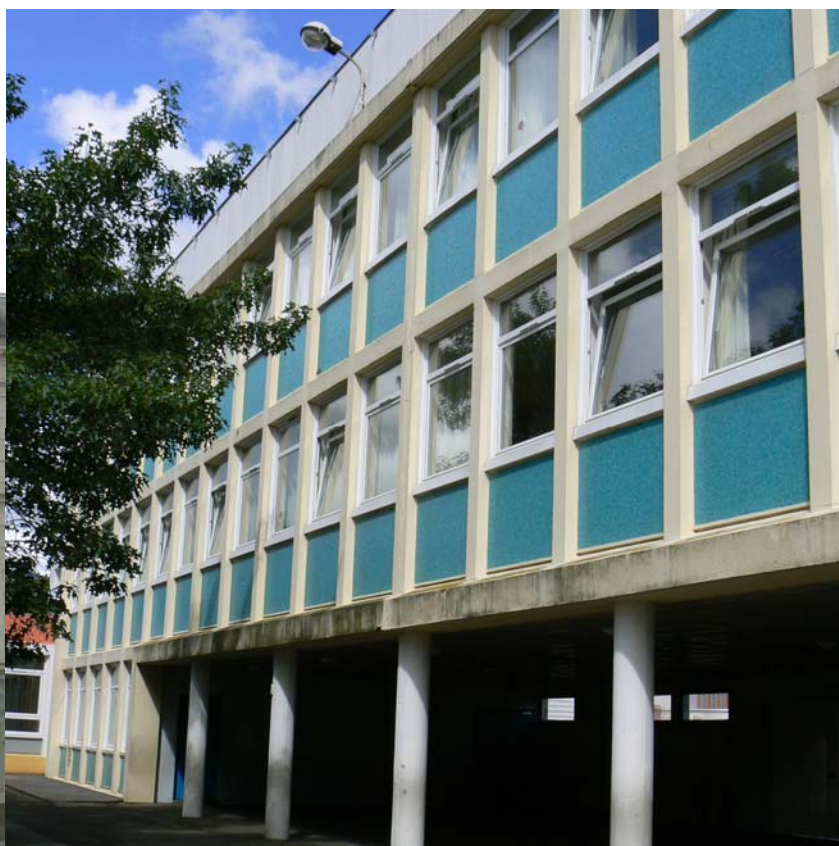
évaluation de la qualité de l'air intérieur



dans deux établissements scolaires nantais

septembre 2008 – juillet 2009

octobre 2009



sommaire

synthèse	1
introduction	5
air intérieur : polluants, sources, niveaux de pollution et effets sanitaires	6
les polluants à surveiller prioritairement	7
les sources de la pollution intérieure	8
les niveaux de pollution déjà mesurés dans des établissements scolaires	9
les effets sanitaires	11
méthodologie	13
sélection des deux établissements	13
présentation des deux établissements.....	13
période et fréquence de mesure.....	14
dispositif de mesure	14
les résultats	16
les questionnaires	17
le suivi des paramètres de confort	20
le suivi des paramètres de confinement	22
le suivi des aldéhydes	26
le suivi des BTEX.....	31
conclusions et perspectives	37
annexes	38
annexe 1 : Air Pays de la Loire	39
annexe 2 : techniques d'évaluation.....	40
annexe 3 : risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieur et extérieurs [6] ..	41
annexe 4 : valeurs guides de l'air intérieur (VGAI) et recommandation de RSD	42
annexe 5 : seuils de qualité de l'air extérieur 2008.....	43
annexe 6 : emploi du temps et effectif de la salle N102 du lycée Clemenceau	44
bibliographie	45
glossaire	46
abréviations	46

contributions

Coordination de l'étude et Rédaction : Laurence Böhm, Exploitation statistique : Guillaume Malherbe et Frédéric Penven, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire, Validation : Arnaud Rebours et 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 1^{er} août 2007 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, 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, le proviseur (M. Pilet) et l'intendant (M. Baladi) du Lycée Clemenceau, la ville de Nantes (Mme Daviaud et Mme Martinet) ainsi que la directrice de l'école Alain Fournier (Mme Gonard) pour avoir permis la mise en œuvre de cette campagne de mesure de l'air intérieur dans leurs établissements scolaires.

synthèse

contexte → préserver la qualité de l'air intérieur : un enjeu de santé publique

A la demande et avec le soutien financier de la DRASS des Pays de la Loire, Air Pays de la Loire a mis en œuvre une campagne de suivi de l'air intérieur dans deux établissements scolaires de l'agglomération nantaise à la rentrée 2008 pendant la durée de l'année scolaire. Le lycée Clemenceau et l'école élémentaire Alain Fournier ont été choisis pour accueillir le dispositif de mesure de la campagne.

Cette campagne s'inscrit dans un contexte de prise en compte de la qualité de l'air intérieur comme enjeu de santé publique tant au niveau national (PNSE, Grenelle de l'environnement), que régional (PRSE). Elle rentre aussi dans le cadre de la mise en place d'un groupe de travail national en 2008 visant à définir une stratégie de surveillance en air intérieur, notamment en vue de vérifier le respect des valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) pour le formaldéhyde et le benzène.

objectifs → évaluer la qualité de l'air intérieur dans deux établissements scolaires

La campagne 2008-2009 vise à faire un suivi de polluants chimiques (composés organiques volatils : aldéhydes, BTEX¹), de paramètres de confinement (dioxyde de carbone) et de confort (température et humidité relative), pendant une année scolaire. Le formaldéhyde, acétaldéhyde et le benzène sont des polluants prioritaires à surveiller selon l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) et l'Afsset.

Les objectifs du suivi de ces paramètres en continu sont de :

- recueillir les déterminants de la qualité de l'air intérieur (description du bâti, activité dans la classe, entretien) par le biais de questionnaires ;
- obtenir des indications sur le confinement dans les classes (CO₂, t°, HR) ;
- déterminer la variation temporelle de la concentration en polluants sur une année ;
- pouvoir comparer les résultats avec des valeurs guides d'exposition à long terme ;
- alimenter les travaux du groupe de travail LCSQA-CSTB² visant à élaborer des protocoles de surveillance de l'air intérieur ;
- élaborer des techniques statistiques visant à proposer un suivi plus léger pour les prochaines campagnes.

¹ Benzène, toluène, éthylbenzène, méta-ortho-paraxylène

² Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air et Centre scientifique et technique du bâtiment

moyens → des mesures hebdomadaires pendant une année scolaire

La mesure des paramètres est réalisée de manière hebdomadaire (pose et dépose) selon une méthodologie, déjà expérimentée par l'OQAI et certaines Aasqa³ :

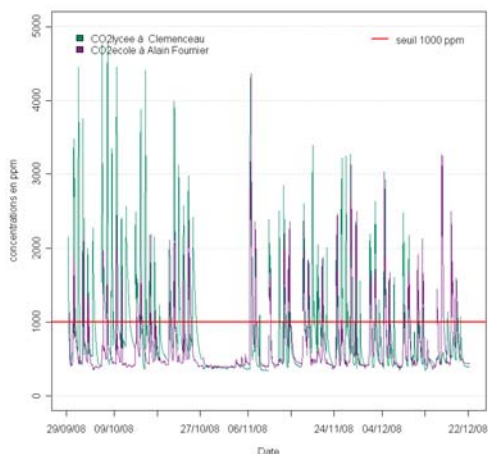
- mesure des aldéhydes et BTEX par tubes passifs Radiello® selon la norme ISO 16000-2 ;
- mesure du dioxyde de carbone, de la température et de l'humidité par appareil Q-Track ;
- accompagnement des mesures par un questionnaire soumis aux gestionnaires des établissements visant à évaluer les sources intérieures de polluants et les pratiques des occupants de nature à avoir une incidence sur la qualité de l'air dans les salles de cours.

résultats → un niveau de confinement élevé et des teneurs en polluants différenciées selon les établissements

un niveau de confinement élevé dans les salles de classe

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un témoin du confinement et un indicateur de la qualité de la ventilation ou de l'aération. La recommandation du règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser 1000 ppm, avec une tolérance jusqu'à 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer.

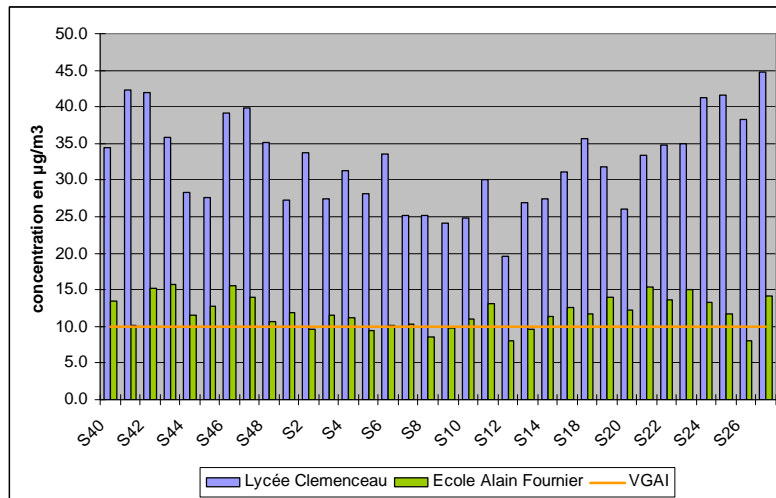
La série chronologique ci-dessous, enregistrée de septembre à décembre 2008, met en évidence de nombreux pics de dioxyde de carbone dépassant le seuil de 1000 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental. La concentration moyenne en CO₂ pendant les heures de cours est de 1151 ppm au lycée Clemenceau et de 1060 ppm à l'école Alain Fournier. Les concentrations médianes sont respectivement de 894 ppm et 976 ppm. Au lycée comme à l'école, près de la moitié des niveaux de dioxyde de carbone dépassent le seuil du règlement sanitaire départemental de 1000 ppm, témoignant du niveau de confinement élevé des salles de classe.



Série chronologique des concentrations en dioxyde de carbone enregistrées au lycée et à l'école de septembre à décembre 2008

³ Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

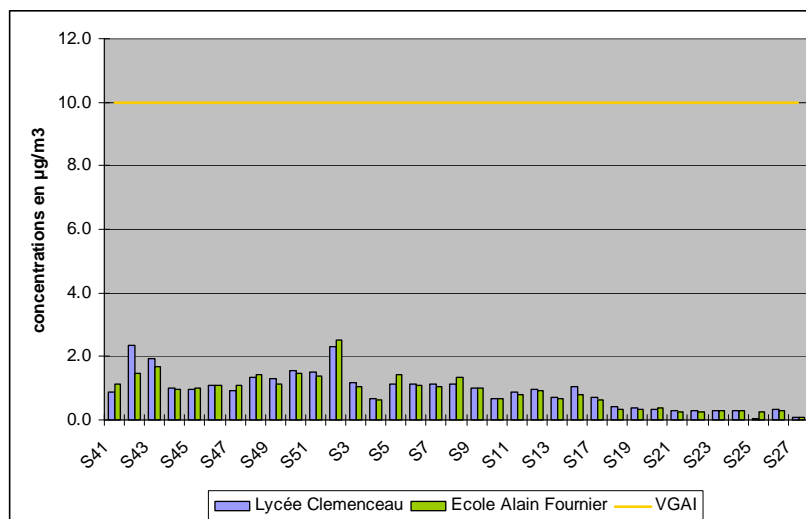
des niveaux de formaldéhyde dans la moyenne des études françaises et au dessus de la VGAI⁴ pour une exposition long terme



Concentrations moyennes en formaldéhyde dans les deux établissements scolaires

La concentration moyenne en formaldéhyde est de $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée Clemenceau et $11,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'école Alain Fournier. Cette concentration moyenne moins importante à l'école peut s'expliquer en partie par le confinement légèrement moins important lié à une meilleure aération de la salle de classe. À l'extérieur, les concentrations moyennes en formaldéhyde sont de $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces concentrations intérieures correspondent aux valeurs enregistrées dans les études françaises : dans la moyenne pour le lycée Clemenceau et dans le bas de la fourchette pour l'école Alain Fournier. Par contre, elles dépassent la Valeur guide air intérieur (VGAI) du formaldéhyde fixée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition à long terme. Cette valeur guide n'est que faiblement dépassée à l'école.

des teneurs en benzène inférieures à la VGAI (exposition long terme)



Concentrations moyennes en benzène dans les deux établissements scolaires

La concentration moyenne en benzène est de $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier. Elles sont du même ordre de grandeur que celles de l'extérieur s'élevant respectivement à 1 et $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs moyennes de benzène enregistrées au Lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier sont nettement au dessous de la VGAI du benzène pour une exposition à long terme ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et correspondent aux résultats des études françaises.

⁴ Valeur guide de qualité de l'air intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)

approche expérimentale pour améliorer la qualité de l'air

Une approche expérimentale en matière d'aération a été proposée aux gestionnaires des établissements afin d'assurer un meilleur renouvellement d'air dans les salles étudiées.

Sachant qu'en cas d'absence de système de ventilation, l'aération doit se faire par les ouvrants, il a été proposé de procéder à des ouvertures de fenêtres aux interours. En parallèle, une réduction de l'utilisation des produits d'entretien est pratiquée dans les salles de cours. L'exploitation des résultats des mesures des paramètres de confinement, de confort et polluants pendant cette période d'expérimentation et leur comparaison avec les concentrations relevées antérieurement a permis d'en évaluer l'impact.

Le bilan de l'approche expérimentale dans la salle de cours du lycée met en évidence une légère diminution des niveaux de dioxyde de carbone dans la salle instrumentée avec 1141 ppm en moyenne (1366 ppm au 1^e trimestre scolaire 2008-2009) mais ces niveaux continuent à dépasser le seuil du règlement sanitaire départemental. A l'école Alain Fournier, la baisse des niveaux de dioxyde de carbone est plus significative avec 888 ppm en moyenne (1441 ppm au 1^e trimestre scolaire), descendant en dessous du seuil du règlement sanitaire départemental.

Concernant l'expérimentation sur la réduction de l'utilisation des produits d'entretien, une diminution des niveaux de formaldéhyde (24,6 µg/m³ en moyenne) et de benzène (0,9 µg/m³ en moyenne) a été enregistrée pendant les quatre semaines d'expérimentation au lycée Clemenceau. A l'école Alain Fournier, une baisse très importante du benzène (0,3 µg/m³) a été enregistrée du fait surtout de la diminution des teneurs extérieures (normale en période estivale). Concernant le formaldéhyde, les niveaux ont été abaissés lors deux dernières semaines de l'expérimentation (9,9 µg/m³), les deux premières semaines étant influencées par des activités manuelles émissives de Composés organiques volatils (COV).

conclusions et perspectives un confinement et des niveaux de polluants pouvant être réduits grâce à une meilleure aération des locaux

Les résultats de la campagne de mesure de l'air intérieur dans deux établissements scolaires nantais ont mis en évidence :

- un niveau de confinement élevé dans les deux établissements scolaires, avec dépassement pendant les heures de présence des élèves du seuil de 1000 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental ;
- des concentrations moyennes en formaldéhyde plus importantes au lycée et un dépassement de la valeur guide air intérieur (VGAI) dans les deux établissements (faiblement dépassée à l'école) ;
- des concentrations moyennes en benzène équivalentes dans les deux établissements et en dessous de la valeur guide air intérieur pour le benzène.

Le bilan d'une approche expérimentale montre l'importance d'une bonne aération afin de réduire les niveaux des polluants dans l'air intérieur, au même titre que la réduction de l'utilisation de produits d'entretien émissifs en composés organiques volatils.

Cette campagne de mesure en continu a permis d'apprécier la variation temporelle de la concentration en polluants sur une année scolaire. L'utilisation de techniques statistiques va être effectuée dans le cadre d'une étude complémentaire afin de proposer un suivi plus léger pour des prochaines campagnes.

Enfin, une campagne de mesure de 150 écoles en France est en cours de réalisation à l'initiative du Ministère de l'écologie (Meeddm). Dans les Pays de la Loire, ce sont 15 établissements qui sont étudiés par Air Pays de la Loire depuis septembre 2009 sur des paramètres équivalents à la présente étude selon une approche saisonnière. Cette étude permettra de faire un premier état des lieux régional de la pollution de l'air intérieur dans des établissements de taille et de typologie variables.

introduction

La surveillance de la qualité de l'air intérieur est une préoccupation majeure de santé publique, car l'ensemble de la population est concerné, et plus particulièrement les personnes sensibles et fragiles (enfants, personnes âgées,...).

A la demande et avec le soutien financier de la DRASS des Pays de la Loire, Air Pays de la Loire a mis en œuvre une campagne de suivi de l'air intérieur dans deux établissements d'enseignement de l'agglomération nantaise à la rentrée 2008 et sur une année scolaire. Le lycée Clemenceau et l'école élémentaire Alain Fournier ont été sélectionnés pour accueillir les systèmes de mesure.

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 l'amélioration de qualité de l'air intérieur font en effet l'objet d'actions du Plan national santé environnement (PNSE 2004-2008) et du Plan régional santé environnement (PRSE 2005-2008) des Pays de la Loire, dont une action vise à « veiller à la qualité des bâtiments accueillant des enfants ».

Les résultats de cette étude alimentent également les réflexions d'un groupe de travail national visant à définir une stratégie de surveillance en air intérieur, notamment en vue de vérifier le respect des valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) pour le formaldéhyde et le benzène.

Les objectifs de cette étude sont de :

- recueillir les déterminants de la qualité de l'air intérieur (description du bâti, activité dans la classe, entretien) par le biais de questionnaires ;
- obtenir des indications sur le confinement et le confort dans les classes (mesure du dioxyde de carbone, de la température et de l'humidité) ;
- apprécier la variation temporelle de la concentration en polluants sur une année (mesure des aldéhydes, du benzène, du toluène,...) ;
- comparer les résultats avec des valeurs guides d'exposition à long terme ;
- élaborer des techniques statistiques visant à proposer un suivi plus léger pour les prochaines campagnes.

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 la majorité 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, un classement des polluants de l'air intérieur a été 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.

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

Lors de la campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur 2008-2009 dans les deux établissements scolaires à Nantes, deux familles de Composés organiques volatils (COV) sont mesurées : les aldéhydes et les BTEX. Plusieurs polluants de ces deux familles sont considérés par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) comme devant faire l'objet d'une surveillance prioritaire : c'est le cas du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde, du benzène et du toluène.

origines des polluants mesurés

Les sources des aldéhydes et des BTEX sont multiples comme le montrent les tableaux 1 et 2 ci-dessous :

Sources des aldéhydes	
Formaldéhyde	produits de construction (panneaux de particules) et de décoration (peintures, colles urée-formol), ameublement (bois reconstitué), sources de combustion (fumée de tabac, bougies, bâtonnets d'encens, cheminées à foyer ouvert, cuisinières à gaz, poêles à pétrole), produits d'entretien et de traitement, produits d'hygiène corporelle et cosmétique, réactivité chimique entre l'ozone et certains COV.
Acétaldéhyde	Photochimie, fumée de tabac, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules
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 isobutanol)	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, 2008)

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

Tableau 2 : sources de BTEX (OQAI, 2008)

Ces tableaux montrent que les espèces chimiques mesurées 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.

les niveaux de pollution déjà mesurés dans des établissements scolaires

Une étude bibliographique des résultats de concentrations en aldéhydes, BTEX et dioxyde de carbone a été réalisée à partir des campagnes menées par l'OQAI et les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa). Cette étude permet de mettre en perspective les résultats du suivi des établissements scolaires de la ville de Nantes.

étude de l'OQAI sur 9 écoles [1]

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) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum	Moyenne (1 semaine) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum
benzène	1,4	3,0	1,3	3,1
toluène	11,8	40,3	5,5	7,9
ethylbenzène	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 [1]

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 [2].

études réalisées par les Aasqa

Plusieurs Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air 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'ASPA et Atmo Rhône-Alpes.

campagne de mesure dans 111 écoles à Strasbourg réalisée par l'ASPA (2005) [3]

Une étude a été réalisée par l'ASPA à Strasbourg dans 111 écoles en 2003. Les concentrations moyennes en formaldéhyde sur 48 h d'échantillonnage se sont élevées à $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les écoles maternelles et $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les écoles élémentaires. Des relations positives ont été mises en évidence entre les teneurs élevées en formaldéhydes et l'âge de mobilier, la présence de boiserie sur les plafonds et les murs et l'existence de travaux récents.

campagne de mesure dans 14 groupes scolaires à Mulhouse de l'ASPA (2005) [4]

En 2005, L'ASPA a procédé à des mesures sur 14 groupes scolaires et sur d'autres sites (lieux culturels, bureaux, crèches, parkings sous-terrain). La campagne de mesure a porté sur de nombreux polluants dont les BTEX et aldéhydes. Les principaux résultats sont résumés dans le tableau 4.

	Mesures en intérieur		Mesures en extérieur	
	Moyenne (2 semaines) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum	Moyenne (1 semaine) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum
benzène	2,1	4,1	3,8	4,9
toluène	13	79,8	4,6	6,5
ethylbenzène	2,56	24,3	1	1,4
m+p xylène	9,25	76	3,4	4,7
formaldéhyde	20	112	-	-

Tableau 4 : concentrations mesurées lors d'une campagne de l'ASPA sur 14 écoles [4]

campagne d'ATMO Rhône Alpes dans 22 écoles (2007) [5]

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement, Atmo Rhône-Alpes a été sollicité pour réaliser une étude des concentrations en aldéhydes sur un échantillon de 22 crèches et 28 écoles maternelles de la région.

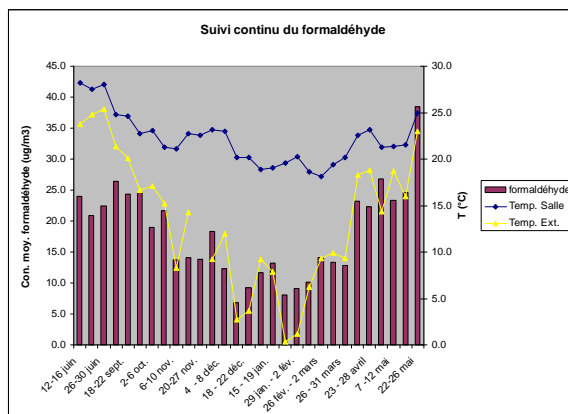
Pendant quatre périodes de mesure (juin, octobre, décembre, mars), les mesures ont été réalisées dans tous les établissements du lundi matin au vendredi après-midi (4,5 jours).

	Mesures en intérieur		Mesures en extérieur	
	Moyenne (4,5 jours) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum	Moyenne (4,5 jours) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum
formaldéhyde	21.6	49,2	2,1	3,8
acétaldéhyde	7,2	-	5	5

Tableau 5 : concentrations mesurées lors d'une campagne d'ATMO Rhône-Alpes dans 28 écoles [5]

En complément, Atmo Rhône-Alpes a réalisé un suivi annuel en continu d'une salle de classe pour évaluer la représentativité temporelle des campagnes. Dans cette classe, la moyenne des quatre périodes est de $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que la moyenne annuelle est de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'écart, proche de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, est faible et montre qu'une approche par sondages est suffisante pour approcher l'exposition annuelle.

Les concentrations en formaldéhyde sont plus élevées en période estivale qu'en période hivernale. Cette situation est liée à l'augmentation de la température favorisant l'évaporation des composés organiques volatils en période estivale. Atmo Rhône-Alpes a aussi mis en évidence une bonne corrélation entre la concentration en formaldéhyde et celle de l'ozone et de la température extérieure.



Graphique 1 : suivi annuel des concentrations moyennes en formaldéhyde sur une année scolaire (source ATMO Rhône-Alpes)

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 enfants, les personnes âgées ou les insuffisants respiratoires sont les plus sensibles à la pollution de l'air.

aldéhydes

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 guide air intérieur (VGAi) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset). L'Afsset a publié en 2008 une évaluation des risques sanitaires liés au formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs [6] (cf. annexe 3).

Le formaldéhyde est l'aldéhyde le plus fréquemment retrouvé en air intérieur. 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 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [7], concentrations toutefois rarement observées.

Le formaldéhyde est classé cancérigène de catégorie 1 (cancérogène certain) par le CIRC⁵ depuis 2004 sur la base des données observées sur les cancers du nasopharynx. Cependant, l'Afsset 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".

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 [8].

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

le 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 [9].

Le benzène est soumis à la réglementation française concernant l'air extérieur avec une valeur limite (moyenne annuelle) en 2008 de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et en 2009 de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur limite n'a jamais été atteinte depuis les premières mesures du benzène en 2000 dans les Pays de la Loire.

⁵ Institut international de recherche sur le cancer

paramètre de confinement

Le dioxyde de carbone (CO₂) provient principalement de la respiration mais peut également être produit par une combustion incomplète. En l'absence de source de combustion, une teneur de CO₂ supérieure à 1000 ppm est considérée comme une valeur indicatrice de confinement et de ventilation inadéquate. La limite de concentration de 1000 ppm de CO₂ 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 CO₂ 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 [10].

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].

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 35 et 60% pour l'humidité relative [2].

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. [11].

Une humidité relative supérieure à 60% favorise le développement des moisissures et des acariens, et les symptômes suivants peuvent apparaître :

- 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).

élaboration de valeurs guides

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*). Pour répondre à l'enjeu sanitaire représenté par la qualité de l'air intérieur, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) a travaillé sur l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI).

Les valeurs guides de qualité d'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 d'air intérieur a été jugée prioritaire : **formaldéhyde, benzène, monoxyde de carbone, particules PM₁₀, naphtalène, Phtalate de di(2-ethylhexyle)(DEHP), dioxyde d'azote, acétaldéhyde, trichloréthylène, tétracholoéthylène et ammoniac** [8].

Des valeurs guides ont été proposées pour le formaldéhyde, le monoxyde de carbone en 2007 et pour le benzène en 2008 (annexes 4). Seule la mesure en regard d'une valeur de référence long-terme a été retenue pour l'étude dans les deux établissements scolaires. Une valeur guide de qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde de 10 µg/m³ a été proposée par l'Afsset pour une exposition long terme [12]. La valeur guide de qualité de l'air pour le benzène est de 10 µg/m³ pour une exposition long terme afin de protéger la population contre les effets hématologiques non cancérogènes [9].

Ces valeurs guides serviront de base pour établir des valeurs de gestion de qualité de l'air intérieur en cours d'élaboration par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP). Les valeurs de gestion sont assimilables à des valeurs cibles qui seront supérieures aux VGAI et seront amenées à évoluer pour atteindre progressivement les VGAI.

méthodologie

sélection des deux établissements

Durant l'organisation de la campagne de mesure, Air Pays de la Loire a bénéficié du soutien de la DRASS et de son réseau de contacts. En particulier, le Conseil Régional des Pays de la Loire a été sollicité et a proposé que soit étudiée une salle du lycée Clemenceau, ce lycée étant caractérisé par un bâti ancien et rénové.

L'école Alain Fournier a été choisie par des médecins du service de santé scolaire de la ville de Nantes. La ville de Nantes et les enseignants sont sensibilisés aux problématiques santé-environnement car le quartier a notamment fait l'objet d'une campagne de mesure du radon en 2007.

Il est à noter que ces deux établissements ne présentent pas de problèmes sanitaires particuliers.

La salle instrumentée dans chaque établissement est tout à fait représentative (en terme de volume, d'effectif, de mobilier, de décoration,...) des autres salles. La qualité de l'air intérieur est mesurée dans la salle de classe de CM2 de la directrice de l'école Alain Fournier et dans une salle de cours de langue pour le lycée.

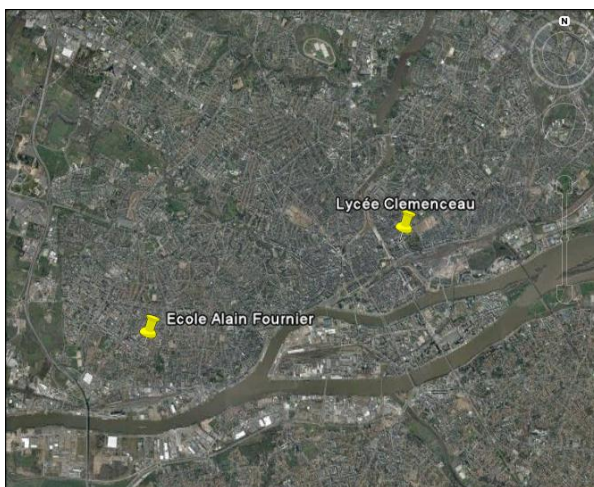
présentation des deux établissements

lycée Clemenceau

Ouvert en 1808, le lycée Clemenceau est situé au centre de la ville de Nantes, il propose un enseignement général et technologique (enseignement secondaire), des classes préparatoires aux grandes écoles.

école Alain Fournier

L'école Alain Fournier est classée en zone d'éducation prioritaire entre les quartiers Chantenay et Bellevue. C'est une école des années 70, bâtie en préfabriqué lourd avec des parties rénovées. Le site est représentatif des nombreuses écoles construites dans les années 70 et présentes à la périphérie du centre ville (Bellevue, Malakof, Dervallières,...).



Carte 1 : localisation des établissements scolaires

période et fréquence de mesure

La campagne de mesure vise à faire un suivi en continu des polluants, des paramètres de confort et de confinement pendant une année scolaire de septembre 2008 à juillet 2009. Un suivi hebdomadaire du dioxyde de carbone, température, humidité relative et des composés organiques volatils est effectué dans une salle de cours du lycée Clemenceau et une salle de classe de l'école Alain Fournier.

Les objectifs de ce suivi en continu sont de :

- documenter la variation temporelle de la concentration en polluants et en dioxyde de carbone sur une année scolaire ;
- obtenir des résultats comparables aux valeurs guides d'exposition à long terme ;
- de traiter les séries chronologiques pour dégager une stratégie d'échantillonnage pour de futures campagnes sur des périodes plus courtes, permettant d'obtenir des résultats comparables à une surveillance en continu. Les techniques de traitement statistique par reconstitution des données manquantes utilisées pour l'air extérieur seront mises en œuvre par Air Pays de la Loire avec prise en compte de paramètres d'influence (température extérieure ou intérieure, concentration en ozone,...).

Une étude statistique réalisée par Air Pays de la Loire sur les données d'ATMO Rhône-Alpes a mis en évidence qu'un échantillonnage sur 2 saisons permet d'avoir une bonne représentativité des mesures en terme d'incertitude. L'étude par plans de sondage a mis aussi en évidence :

- qu'un prélèvement aléatoire effectué par saison (été et hiver) fournit une incertitude statistique sur la moyenne annuelle d'environ 30 % ;
- si deux prélèvements sont effectués par saison, cette incertitude est ramenée à environ 20 %.

dispositif de mesure

suivi du dioxyde de carbone, température, humidité

L'appareil Q-Track 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 (15 minutes). Les enregistrements sont lancés sur les sites de mesure directement sur l'appareil.



Photo 1 : appareil Q-Track mesurant le dioxyde de carbone, la température et l'humidité

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 : les tubes aldéhydes sont suspendus au plafond de la salle de cours ou de classe, 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 ;
- un doublon de mesure des BTEX.

En parallèle, une mesure des concentrations extérieures en COV est effectuée :

- mesure des BTEX une fois par semaine ;
- mesure des aldéhydes une fois par mois compte tenu des faibles taux de ce polluant à l'extérieur.



Photo 2 : tubes passifs suspendus au plafond à l'école Alain Fournier

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 FlorisilTM et revêtu de 2,4-dinitrophényldrazine (2,4-DNPH). Les aldéhydes sont transportés dans l'échantillonneur par diffusion moléculaire jusqu'à la cartouche chimisorbante. 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 HPLC⁶ 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)

⁶ Chromatographie en phase liquide à haute performance

les résultats

Les résultats de la campagne de mesure de l'air intérieur dans deux établissements scolaires nantais concernent :

- l'exploitation des questionnaires ;
- le suivi des paramètres de confort ;
- le suivi des paramètres de confinement ;
- le suivi des Composés organiques volatils (aldéhydes et BTEX).

les questionnaires

Trois types de questionnaires ont été élaborés pour la campagne de mesure afin de pouvoir identifier les déterminants de la pollution intérieure. Ils se basent sur la norme XP X 43-407⁷ et le questionnaire descriptif des écoles de l'OQAI utilisé lors de campagne pilote de 2001. Le bureau d'études Sépia Santé, partenaire de l'OQAI lors de cette campagne pilote, a été sollicité et a validé les questionnaires d'Air Pays de la Loire.

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

- pour la partie description du bâtiment : le responsable technique du lycée Clemenceau et un interlocuteur du service bâtiment de la ville de Nantes pour l'école Alain Fournier ;
- pour la partie activité : l'intendant du lycée et l'enseignante de l'école ;
- pour la partie entretien : les responsables de l'entretien dans chacun des deux établissements scolaires.

Les questionnaires visent à recueillir des informations générales sur le bâtiment scolaire, des informations plus détaillées sur la salle instrumentée et les activités dans cette salle pouvant permettre de mieux apprécier l'impact sur la qualité de l'air intérieur.

description des bâtiments

Les informations recueillies par questionnaires portent sur les rénovations ou travaux touchant les salles de classe, la présence de système de ventilation, les types de revêtement (sol, murs, plafond), le type de mobilier, les ouvrants (nombre, type)... Le tableau 6 résume les principales informations concernant les deux établissements scolaires.

	Lycée Clemenceau (salle N102)	Ecole Alain Fournier
Année de rénovation de la salle	Rénovation (peinture, plafond, huisseries) en 1999	Rénovation (peinture, plafond, huisseries) en 2002
orientation	cour	cour
VMC	non	non
Revêtement sol	Parquet bois massif	Parquet bois massif, collé
Revêtement mur	Papier verre peint + frise en bois reconstitué	peinture
Revêtement plafond	Fibre minérale projetée peinte + faux plafond	Faux-plafond carton compressé
mobilier	Contre-plaqué mélaminé	Bois aggloméré
Nombre de fenêtres	2 dont partie haute oscillo-battante	5 (dont 3 oscillo-battantes)
Type de menuiserie	Fenêtres en bois, double vitrage sans entrées d'air	Fenêtres en PVC, double vitrage avec entrées d'air
Tableau	Tableau blanc	Tableau-craie
Volume	196 m ³	140 m ³
Autre	Présence d'une gare ferroviaire dans un rayon de 500 m	Peinture extérieure du bâtiment réalisée été 2008

Tableau 6 : résumé des questionnaires portant sur le bâtiment des deux établissements scolaires

Les deux établissements sont de même configuration en termes de revêtement du sol et du plafond. Les murs de la salle de cours du lycée sont revêtus de frises en bois reconstitué.

Le lycée Clemenceau est un établissement ancien avec des hauts plafonds et donc de grands volumes. La salle de cours étant dépourvue de VMC, l'aération de la pièce ne peut se faire que par ouverture des portes et des fenêtres mais dans la pratique, les cours se font en général portes et fenêtres fermées.

⁷ XP X 43-407-Qualité de l'air- Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels –bâtiments à usage d'enseignement

La salle de classe de l'école (classe de CM2 de la Directrice) est de plus petit volume et la ventilation de la pièce se réalise par des grilles d'aération dans les fenêtres complétées par ouverture de la porte et des fenêtres (pratique avérée). Elle est reliée à la bibliothèque de l'école par une porte. La salle dispose d'une armoire où sont stockés les fournitures scolaires et le matériel de bricolage. Ces produits stockés dans la salle peuvent émettre des polluants de type composés organiques volatils dans l'atmosphère de la classe.

Par ailleurs, des émissions secondaires des matériaux de construction (mobilier, revêtements) peuvent se produire suite à l'action de divers facteurs tels que les hautes températures, l'humidité, les traitements d'entretien sur les matériaux [15]. Les salles du lycée et de l'école ont été rénovées respectivement de 1999 et 2002, il est ainsi possible que l'atmosphère des salles soit influencée par ce type émissions secondaires des matériaux.



Photo 4 et 5: salle de cours au lycée Clemenceau et la salle de classe à l'école Alain Fournier

description des activités

	Lycée Clemenceau (salle N102)	Ecole Alain Fournier
effectif	Jusqu'à 35 élèves pour les cours, 3 pour les "colles" des classes préparatoires Effectif en annexe 6	24 élèves
horaires	8h00 à 19h00 Emploi du temps en annexe 6	8h45-11h45 13h30-16h30 Récréations de 20 min à 10h00 et 15h00
Mise en route du chauffage	6 novembre 2009	15 octobre 2009
Arrêt du chauffage	4 mai 2009	mi mai 2009

Tableau 7 : résumé des questionnaires portant sur les activités des deux écoles

La salle de cours du lycée est occupée toute la journée entre les cours de langue et les "colles" des classes préparatoires. L'effectif moyen des élèves pendant les cours peut être important, allant jusqu'à 35 élèves (annexe 6).

À l'école, l'effectif est réduit à 24 élèves. Les élèves n'ont pas occupé la classe le lundi matin jusqu'aux vacances de février (piscine) et le jeudi est la journée de décharge pour la directrice qui est remplacée par une autre enseignante.

description de l'entretien

	Lycée Clemenceau (salle N102)		Ecole Alain Fournier	
	Fréquence	Composition des produits utilisés	Fréquence	Composition des produits utilisés
sol	tous les jours	Produits contenant des alcools c9-c11	tous les jours	Tensioactifs, dipropylèneglycol methylether (DPM), butoxypropanol (PNB), alcool (C12-18), parfum, phénoxyethanol, limonene, linalol, citronellol, bronopol, propionaldéhyde
mobilier	tous les jours	Détergent superpuissant : (butoxyéthanol, monoethanolamine, tensioactifs, amine gras éthoxylés, parfums) Sray détachant (sulfosuccinate de sodium, amiethanol, EM propylène glycol)	tous les jours	idem

Tableau 8 : résumé des questionnaires portant sur l'entretien dans les deux écoles

L'entretien du sol et des tables se fait de manière quotidienne avec les portes et fenêtres fermées dans les deux établissements scolaires en période hivernale. La composition des produits d'entretien fait apparaître de nombreux alcools qui, par oxydation, pourraient être à l'origine de la formation des aldéhydes.

D'une manière générale, 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 [7].

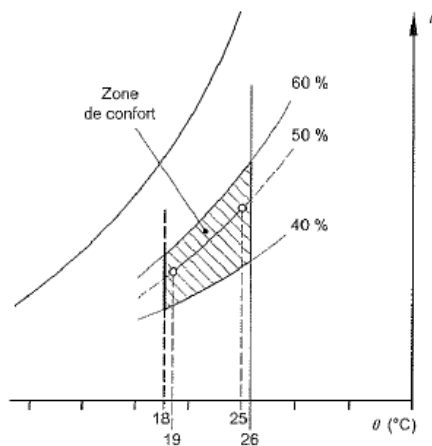
le suivi des paramètres de confort

La température (T) et l'humidité relative (HR) font partie des paramètres de confort. Ils ont été mesurés en continu pendant l'année scolaire avec des pas de temps d'un quart d'heure.

	Lycée Clemenceau		Ecole Alain Fournier	
	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)
Moyenne	23,8	43	22,6	44
Médiane	24	42	22,5	44
Maximum	28,5	81	32,8	79

Tableau 9 : valeurs moyennes, médianes et maximales de la température et humidité aux heures de cours dans les deux établissements

La zone de confort optimale se situe entre 18 et 22°C pour la température et 35 et 60% pour l'humidité relative. Contrairement aux valeurs moyennes des humidités relatives, les températures moyennes aux heures de cours de 23,8°C pour le lycée et 22,6°C pour l'école se situent au delà de la zone de confort optimale.



Graphique 2 : diagramme de confort thermique d'après la norme XP X43-407 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels)

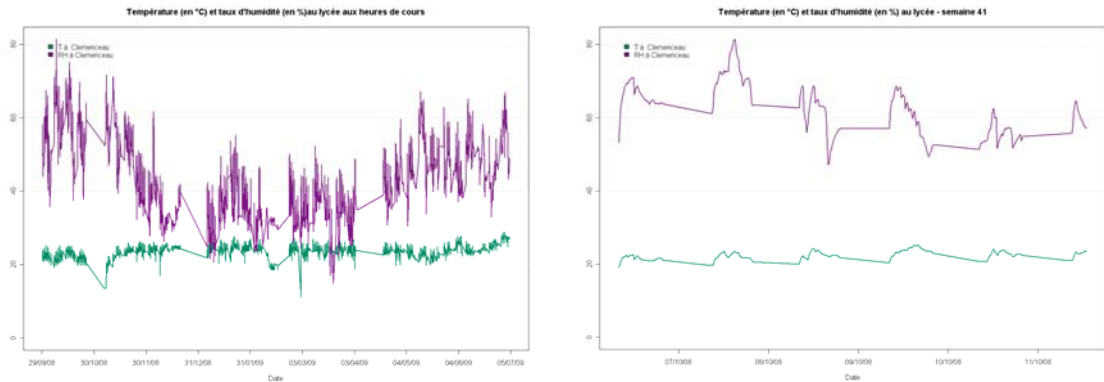
D'après le diagramme de confort thermique⁸, les valeurs en température supérieures à 26°C (7% des heures de cours au lycée et 12% à l'école) et de l'humidité relative supérieures à 60% (8% des heures de cours au lycée et 10 % à l'école) se situent hors de la zone de confort.

Des valeurs maximales en températures de 28,5°C et 32,8°C et en humidité relative de 81 et 79% ont été enregistrées lors des heures de cours.

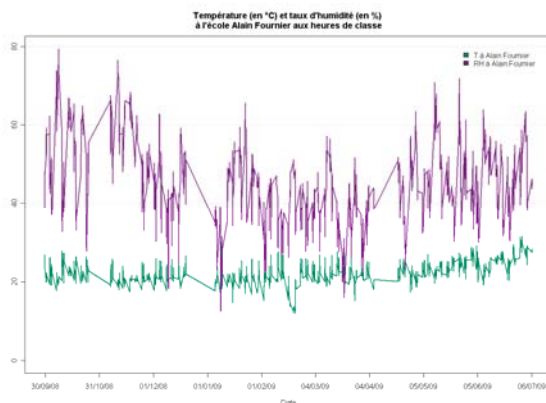
Ces valeurs maximales ne sont pas favorables au bien-être des occupants des deux salles des établissements scolaires et peuvent être à l'origine d'une humidité importante et favoriser l'émission de polluants des matériaux.

⁸ D'après la norme XP X43-407- audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels- bâtiments à usage d'enseignement.

La représentation graphique des deux paramètres de confort montre que la température et l'humidité relative de la pièce augmentent en période d'occupation des élèves. Les décrochages au niveau des graphiques correspondent aux vacances scolaires (graphique 3 et 5) et aux périodes sans cours (graphique 4). La courbe d'humidité relative apparait en baisse fin octobre car le chauffage a été mis en service à cette période de l'année. Cet effet est moins perceptible sur la courbe de température.

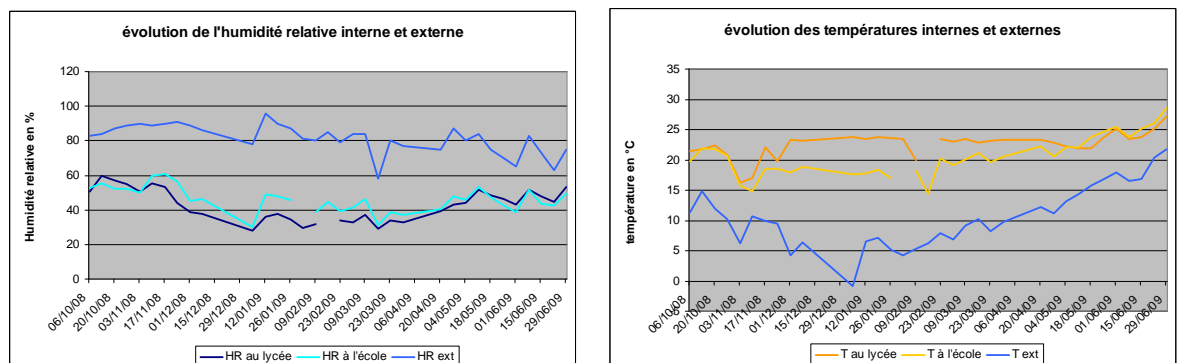


Graphique 3 et 4 : séries chronologiques de la température et de l'humidité relative aux heures de cours au lycée Clemenceau sur toute la période de mesure et sur une semaine (6 au 12 octobre)



Graphique 5 : série chronologique de la température et de l'humidité relative aux heures de classe à l'école sur toute la période de mesure

La comparaison des valeurs moyennes hebdomadaires d'humidité relative interne et externe met en évidence une interdépendance avec l'humidité relative extérieure. Pour la température, ce sont surtout les températures extérieures hors période de chauffage qui influencent celles de l'intérieur (automne, printemps).

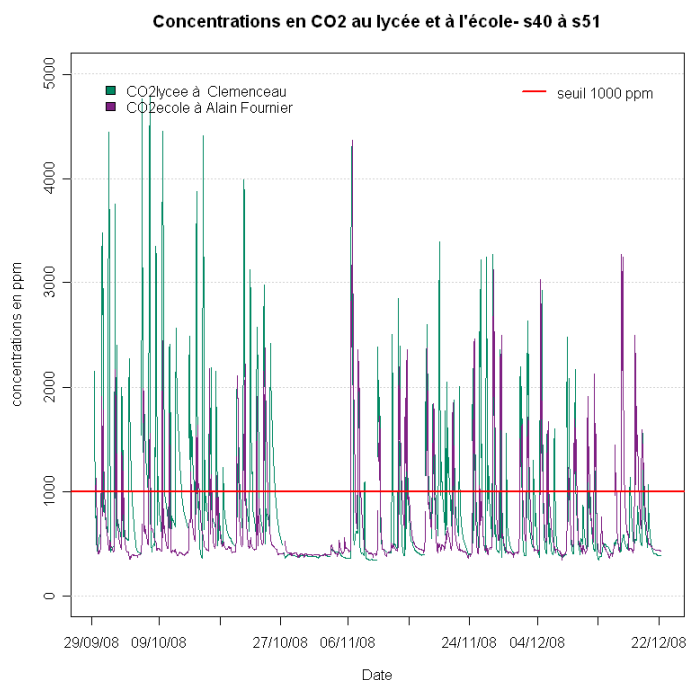


Graphique 6 et 7 : évolution de l'humidité relative moyenne hebdomadaire et de la température moyenne hebdomadaire dans les établissements scolaires et à l'extérieur pendant la période de mesure

le 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 indique de ne pas dépasser 1000 ppm avec une tolérance jusqu'à 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer.

La série chronologique du premier trimestre scolaire 2008 met en évidence de nombreux pics de dioxyde de carbone dépassant le seuil fixé par le règlement sanitaire départemental. En l'absence des élèves, les niveaux de dioxyde de carbone atteignent 340 ppm.



Graphique 8 : série chronologique des concentrations en dioxyde de carbone dans les deux établissements scolaires au dernier trimestre scolaire 2008

La concentration moyenne en CO₂ aux heures de cours est de 1151 ppm au lycée Clemenceau et de 1060 ppm à l'école Alain Fournier. Les concentrations médianes sont respectivement de 894 ppm et 976 ppm. Près de la moitié des niveaux de dioxyde de carbone enregistrés sont supérieurs au seuil du règlement sanitaire départemental de 1000 ppm (46% pour le lycée et 49% pour l'école). Pour la valeur de 1300 ppm, il y a eu 34% de dépassements au lycée et 31% à l'école.

Au lycée comme à l'école, les concentrations maximales en CO₂ atteignent respectivement 5100 et 4577 ppm, témoignant du confinement important dans les salles de cours et de classe.

Concentration en ppm	Lycée Clemenceau	Ecole Alain Fournier
Moyenne	1151	1060
Médiane	894	976
Maximum	5100	4577

Tableau 10 : concentrations moyennes, médianes et maximales en dioxyde de carbone aux heures de cours pendant la période de mesure

Les concentrations moyennes et maximales en dioxyde de carbone dans les établissements nantais sont supérieures 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 classe.

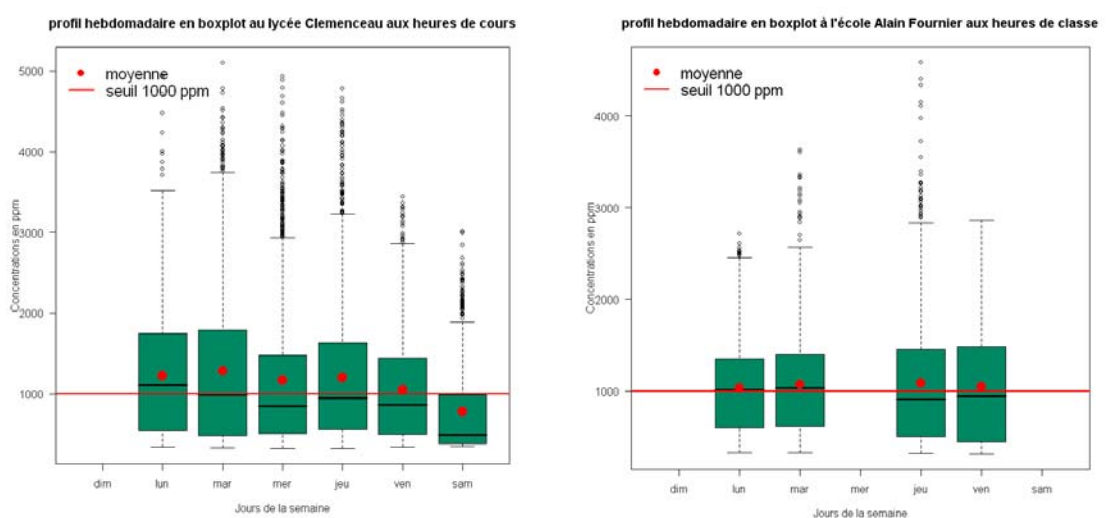
Il est possible d'observer un effet saisonnier (tableau 11) sur les résultats de mesure du dioxyde de carbone car celui-ci apparaît en concentrations plus importantes au premier et deuxième trimestre de l'année scolaire correspondant aux périodes les plus froides de l'année (automne, hiver). Les concentrations moyennes et médianes y sont supérieures à 1000 ppm. Les valeurs médianes indiquent que plus de la moitié des niveaux de dioxyde de carbone dépassent le seuil du règlement sanitaire départemental. Ces valeurs médianes diminuent d'un facteur 2 à l'école et au lycée au troisième trimestre, témoignant d'un meilleur renouvellement d'air dans les locaux, dû à l'arrivée de températures printanières plus chaudes et donc à des pratiques d'aération plus facilement mises en œuvre.

Concentration moyenne en CO ₂ (ppm)	Lycée Clemenceau		Ecole Alain Fournier	
	moyenne	médiane	moyenne	médiane
1er trimestre scolaire	1366	1151	1441	1369
2 ^e trimestre scolaire	1192	1020	1083	1065
3 ^e trimestre scolaire	909	612	688	554

Tableau 11 : concentrations moyennes et médianes en dioxyde de carbone aux heures de cours en fonction des trimestres de l'année scolaire

Le profil hebdomadaire de la distribution des concentrations en dioxyde de carbone représenté sous forme de boxplot⁹ (graphiques 9 et 10) met en évidence les journées où la distribution des concentrations est la plus importante, en lien avec l'apparition de valeurs extrêmes :

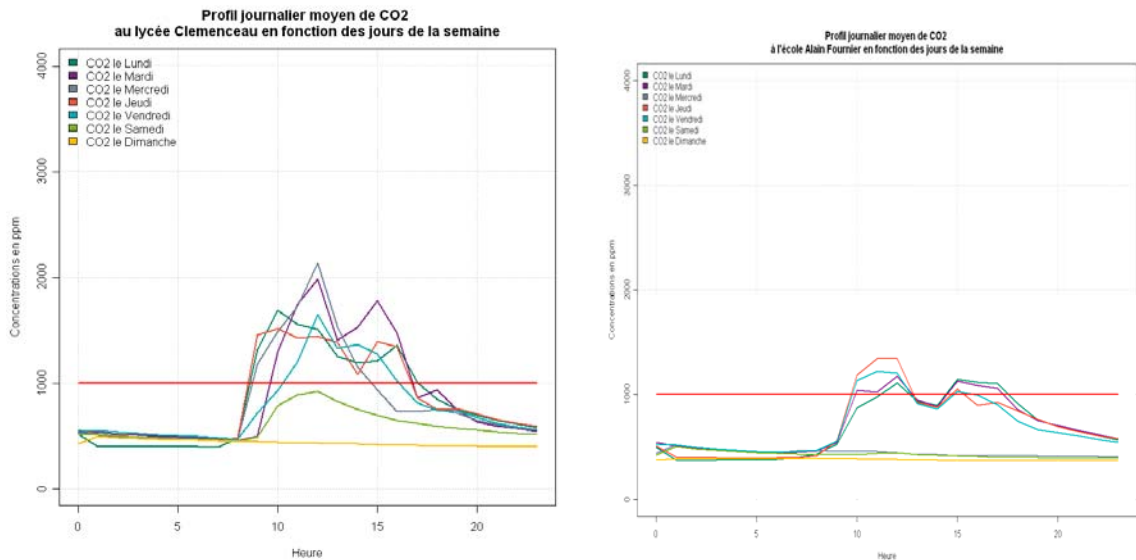
- au lycée, les journées du lundi, mardi et du jeudi apparaissent comme étant celles où les concentrations en dioxyde de carbone sont les plus importantes. Une explication provient de l'emploi du temps très chargé de ces trois journées avec une occupation presque constante de la salle de 8 h jusqu'à 18-19h. L'effectif des cours lors de ces trois journées est également important (annexe 6).
- à l'école, la journée du jeudi présente les plus fortes concentrations en dioxyde de carbone. Cette journée correspond à la journée de décharge de la directrice. Alors que la directrice enseigne régulièrement la porte ouverte, sa remplaçante a pour habitude d'enseigner la porte fermée.



Graphique 9 et 10 : profils hebdomadaires de la distribution en dioxyde de carbone aux heures de cours au lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier

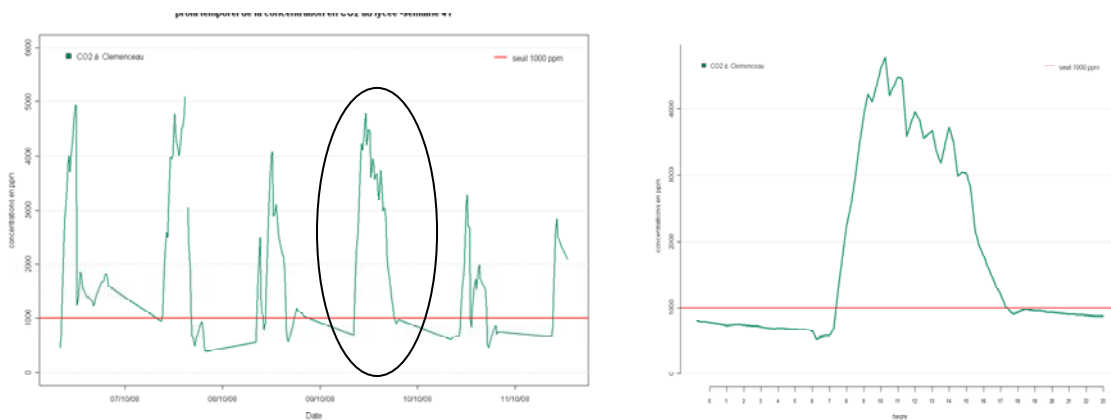
⁹ Le boxplot permet de représenter une distribution de valeurs sous forme simplifiée avec la médiane (trait épais) et la moyenne (point) en une boîte s'étendant du quartile 0,25 au quartile 0,75, et des moustaches qui représentent les valeurs extrêmes.

Le profil journalier moyen de dioxyde de carbone au lycée (graphique 11) confirme les résultats d'un fort confinement constaté le lundi, mardi et jeudi. Il met en plus en évidence d'importants taux de dioxyde de carbone enregistrés lors de la matinée du mercredi dans la salle qui est occupée par d'importants effectifs (30 élèves par cours). Le profil journalier de l'école (graphique 12) souligne une forte décroissance des taux de dioxyde de carbone lors de la pause déjeuner qui est plus importante et plus régulière en terme d'horaire à l'école qu'au lycée (présence de cours ou de "colles" entre 12h00 et 14h00).



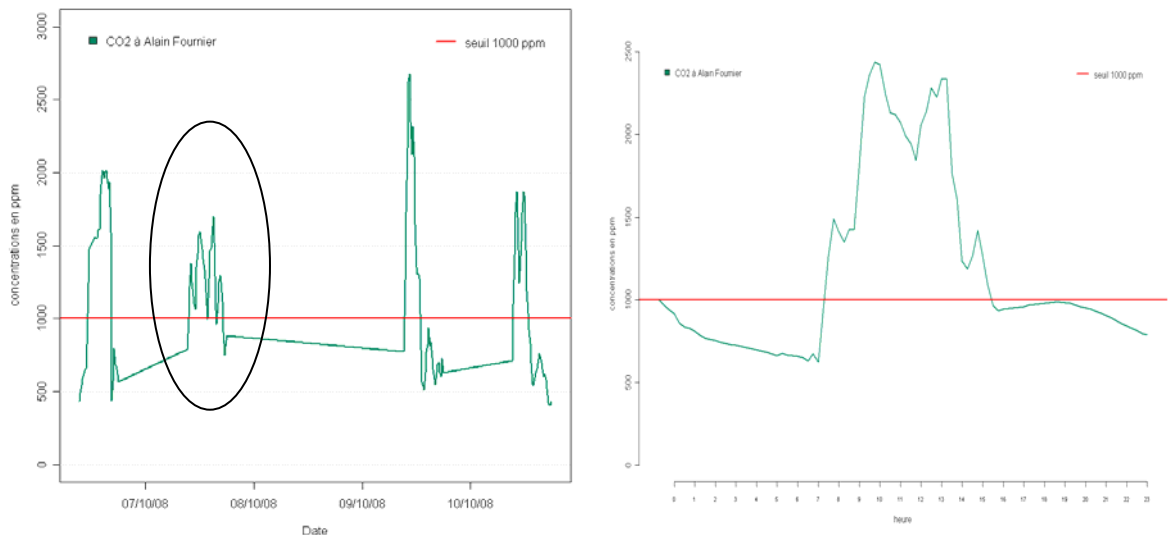
Graphique 11 et 12 : profils journaliers en dioxyde de carbone aux heures de cours au lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier

La représentation graphique des concentrations en dioxyde de carbone sur une semaine au lycée (graphique 13) laisse apparaître les fréquents dépassements du seuil du Règlement Sanitaire Départemental (RSD) lors des jours de cours. Le jeudi 9 octobre (graphique 14), on observe une augmentation rapide des niveaux de CO2 dès le début des cours à 8h00 avec un maximum atteint en fin de matinée. Les décroissances relevées par la suite correspondent aux intercourses mais ne sont pas suffisantes 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. La baisse des niveaux après midi est liée à la diminution des effectifs puisque le local est occupé par des cours de langue en demi-groupe à partir de 11h00, puis par les "colles" des étudiants de Prépa à partir de 16h00.



Graphique 13 et 14 : séries chronologiques de la concentration en CO2 aux heures de cours au lycée pendant une semaine (s41) et pendant la journée du 9 octobre

À l'école Alain Fournier, la série chronologique sur une semaine met aussi en évidence des dépassements réguliers du seuil du RSD les jours de classe. Pendant une journée (mardi 7 octobre-graphique 16), les niveaux de CO₂ augmentent rapidement dès le début de la classe à 8h45 avec un maximum atteint en milieu de matinée. Il est possible d'observer l'influence des récréations et de la pause de midi sur les concentrations en CO₂ dans la salle de classe, mais cette influence n'est pas suffisante pour abaisser les teneurs en dessous du seuil de 1000 ppm.

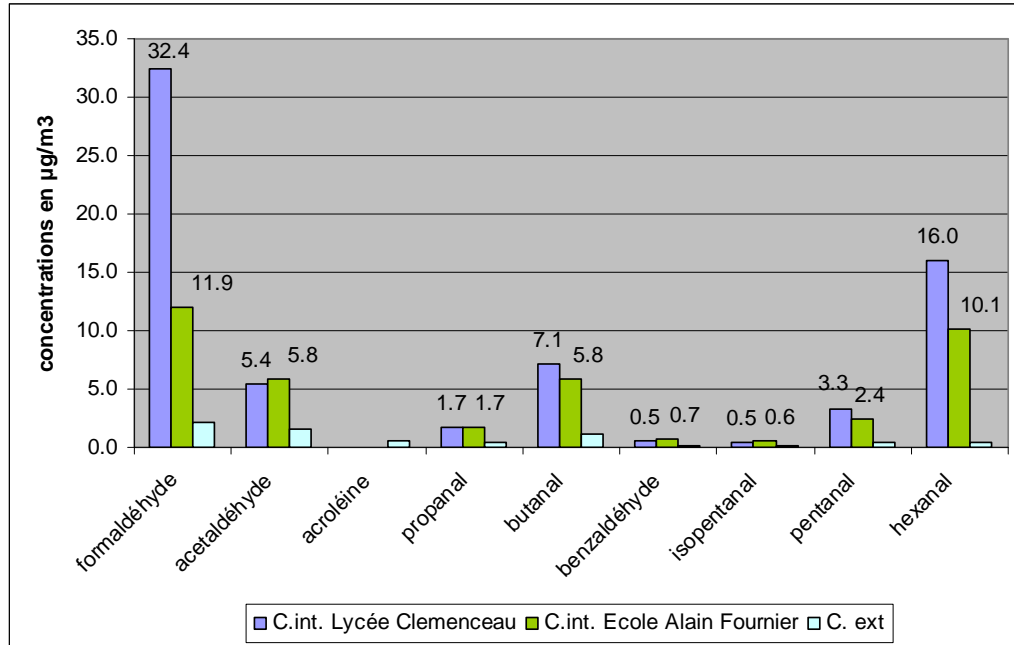


Graphique 15 et 16: série chronologique de la concentration en CO₂ aux heures de cours à l'école pendant une semaine (s41) et pendant la journée du 7 octobre

Ces résultats montrent que les lycéens et élèves sont exposés pendant plusieurs périodes à des concentrations en dioxyde de carbone dépassant le seuil du Règlement sanitaire départemental. La mesure du dioxyde de carbone, témoin du confinement met en évidence un défaut de renouvellement d'air dans les locaux en période froide. L'accumulation progressive de dioxyde de carbone dans l'atmosphère des classes peut laisser présager une probable accumulation d'autres polluants de l'air intérieur.

le 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 17.



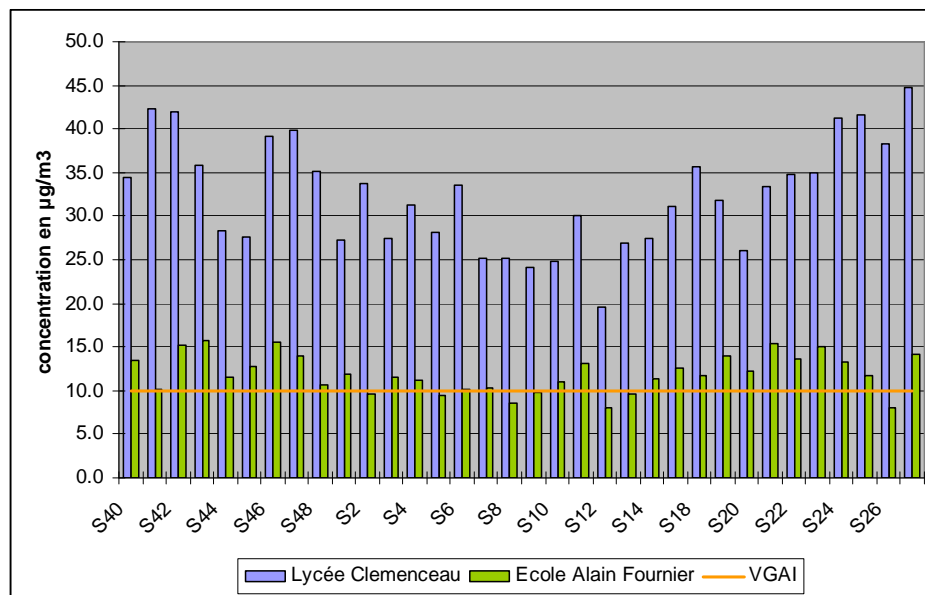
Graphique 17 : concentrations moyennes en aldéhydes dans les deux établissements scolaires

La concentration moyenne en formaldéhyde est de 32,4 µg/m³ au lycée Clemenceau et 11,9 µg/m³ à l'école Alain Fournier. À l'extérieur, les concentrations moyennes en formaldéhyde sont nettement inférieures : 2,1 µg/m³. Ces faibles concentrations enregistrées à l'extérieur comparées à celles de l'intérieur des salles de cours confirment l'origine interne du formaldéhyde.

Les concentrations mesurées au lycée Clemenceau correspondent à la moyenne des valeurs enregistrées dans les études françaises et celles de l'école Alain Fournier à la limite inférieure de la fourchette des études françaises.

Concernant les autres aldéhydes, c'est l'hexanal qui est mesuré avec de plus fortes concentrations : 16 µg/m³ au lycée Clémenceau et 10,1 µg/m³ à l'école Alain Fournier, puis l'acétaldéhyde et le butanal avec des concentrations moyennes s'échelonnant autour entre 5 et 7 µg/m³. Les autres aldéhydes ont des concentrations moyennes inférieures à 3 µg/m³ (teneurs en acroléine non analysables).

Les concentrations relevées en aldéhydes dans les deux établissements scolaires sont supérieures à celles mesurées en extérieur ce qui présume de l'origine interne de ces polluants.



Graphique 18 : concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde dans les deux établissements scolaires

Les concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde sont plus importantes au lycée Clemenceau par comparaison à l'école Alain Fournier. Les mesures de dioxyde de carbone au lycée mettent en évidence un confinement important. La revue des questionnaires indique que la salle de cours du lycée possède moins d'ouvertures que l'école (2 fenêtres oscillo-battantes au lieu de 3). Il apparaît aussi que la salle de cours est peu aérée pendant et entre les cours et que ceux-ci se pratiquent portes et fenêtre fermées.

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 : dans des salles de petit volume, sans accès direct sur l'extérieur et ouverture insuffisante des fenêtres. Bien que la salle du lycée soit de plus gros volume que celle de l'école, le manque d'aération contribue à des concentrations plus élevées en formaldéhyde dans cette première.

comparaison à la valeur guide air intérieur du formaldéhyde pour une exposition long terme

Une valeur guide de qualité de l'air intérieur de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été proposée par l'Afsset pour une exposition long terme.

Les valeurs moyennes de formaldéhyde enregistrées au Lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier sont au dessus de la valeur guide air intérieur de l'Afsset pour une exposition à long terme ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La moyenne enregistrée dans la salle de classe de l'école Alain Fournier ($11,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est toutefois proche de cette valeur guide.

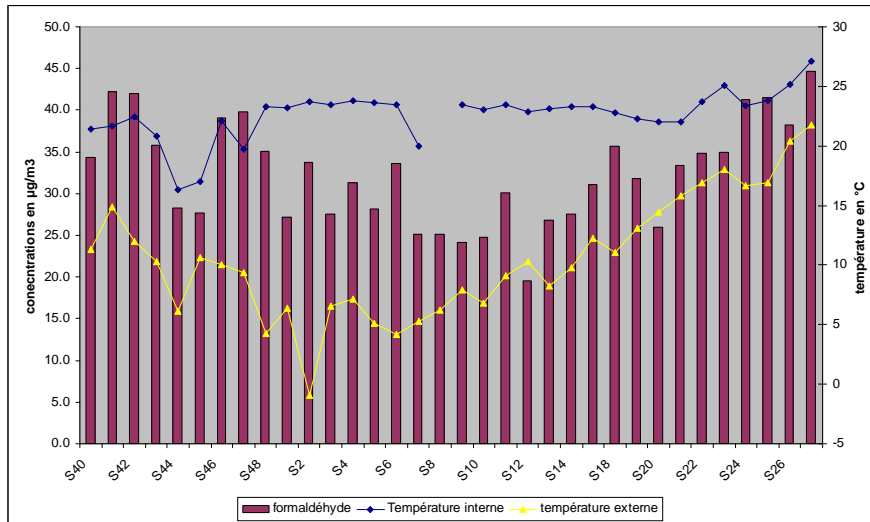
étude de corrélations

Une étude de corrélation sur les données mesurées en continu dans une salle de classe menée par ATMO Rhône- Alpes en 2007 montre que la meilleure corrélation est obtenue entre la concentration en formaldéhyde et la température extérieure. Il existe aussi une bonne corrélation entre la concentration en formaldéhyde et celle de l'ozone provenant de l'extérieur [5].

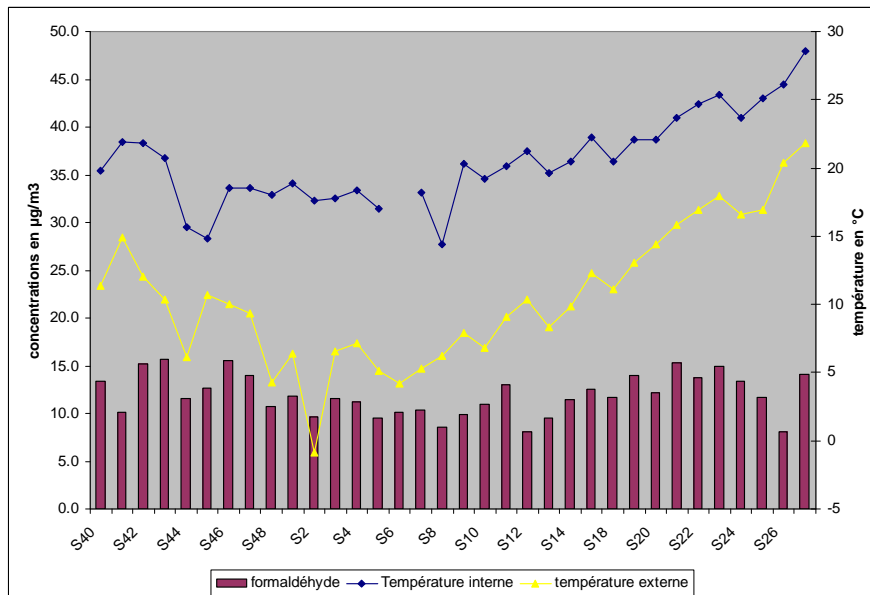
Une étude de corrélation a été menée sur les données de la campagne réalisée à Nantes pour évaluer l'influence des facteurs climatiques et de l'ozone d'origine externe sur les concentrations en polluants.

paramètres de confort

Contrairement à ce qui a été observé pour le suivi en continu du formaldéhyde dans la salle de classe de l'étude d'Atmo Rhône-Alpes, l'influence de la température externe sur les concentrations en formaldéhyde dans les salles des deux établissements est moins visible à Nantes, en particulier au niveau de l'école (graphique 20). On note toutefois des concentrations supérieures en période printanière au lycée notamment, pouvant être en lien avec des mécanismes d'évaporation plus importants du formaldéhyde d'origine interne. A l'école, la pratique d'aération plus importante a atténué ce phénomène.

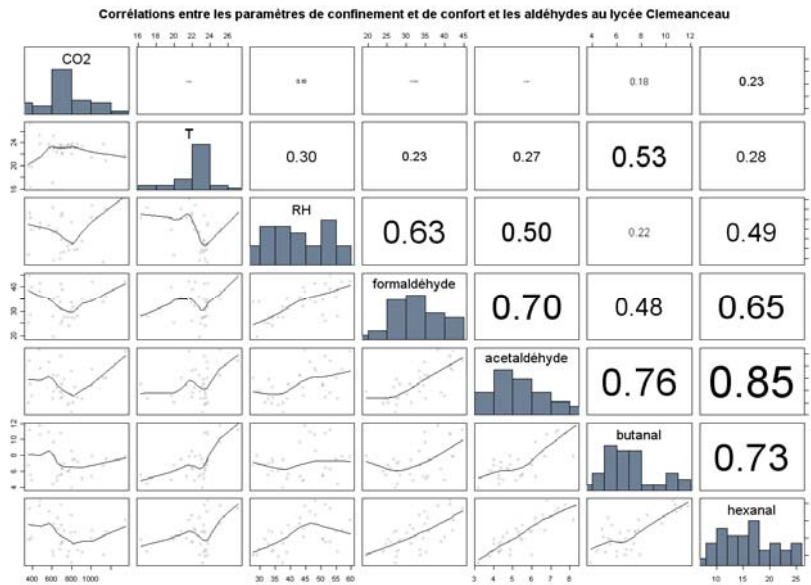


Graphique 19 : concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde au lycée

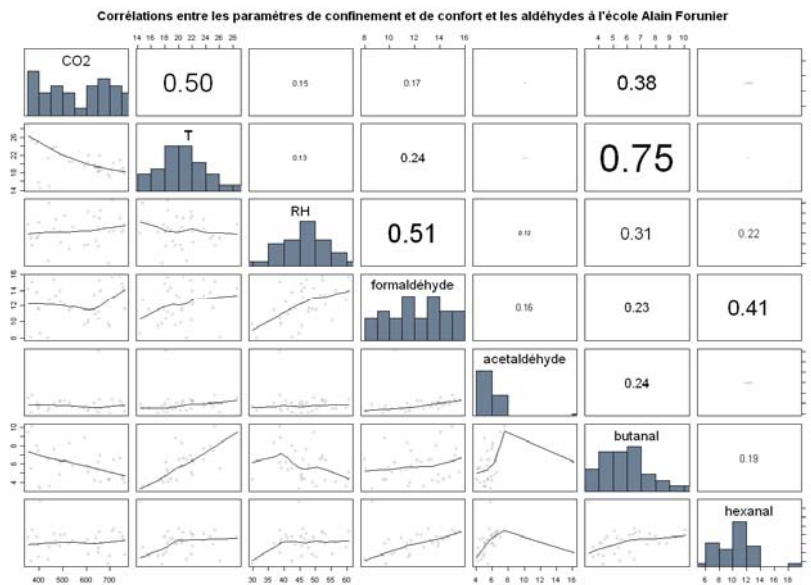


Graphique 20 : concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde à l'école

Une étude de corrélation entre les paramètres de confinement (CO₂) et de confort (température T et l'humidité relative RH) et les concentrations hebdomadaires de certains aldéhydes montre une corrélation positive entre l'humidité relative et le formaldéhyde, entre la température interne et le butanal dans les deux établissements. Au lycée, il apparaît en plus une bonne corrélation entre l'humidité relative et l'acétaldéhyde.



Graphique 21 : corrélations entre les paramètres de confinement et de confort et les aldéhydes au lycée Clemenceau

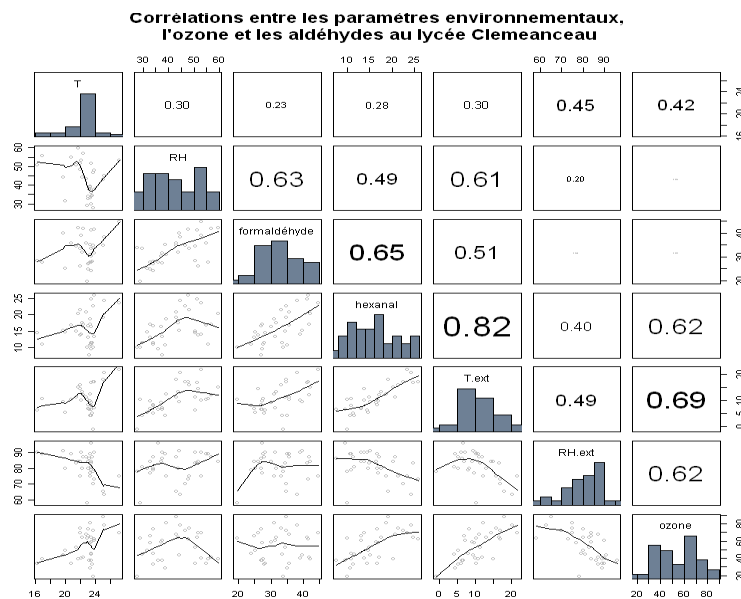


Graphique 22 : corrélations entre les paramètres de confinement et de confort et les aldéhydes à l'école Alain Fournier

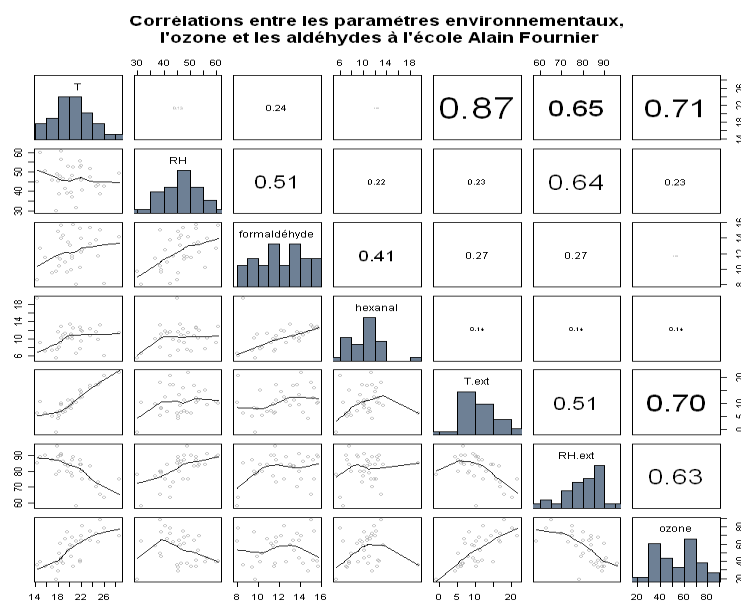
ozone

L'impact de l'ozone sur la qualité de l'air intérieur a été étudié dans le cadre d'une thèse effectuée au CSTB en 2006. Elle portait sur le transfert de l'ozone de l'extérieur vers l'intérieur et sur son comportement in situ. L'impact de la pollution chimique sur la qualité de l'air intérieur a été étudié dans la maison expérimentale MARIA mettant en évidence des sous-produits réactionnels de l'ozone comme le formaldéhyde et l'hexaldéhyde (hexanal) entre autres. Les variations quotidiennes des concentrations d'ozone et de certains aldéhydes montrent le rôle de la réactivité chimique et de certains paramètres dont la température sur les émissions des matériaux et donc les concentrations intérieures en polluants [15].

L'étude de corrélation entre les paramètres climatiques (température et l'humidité relative), l'ozone et les concentrations hebdomadaires du formaldéhyde et de l'hexanal n'indique pas de corrélation positive entre l'ozone et le formaldéhyde. Par contre, il existe une corrélation entre l'ozone et l'hexanal au lycée Clemenceau.



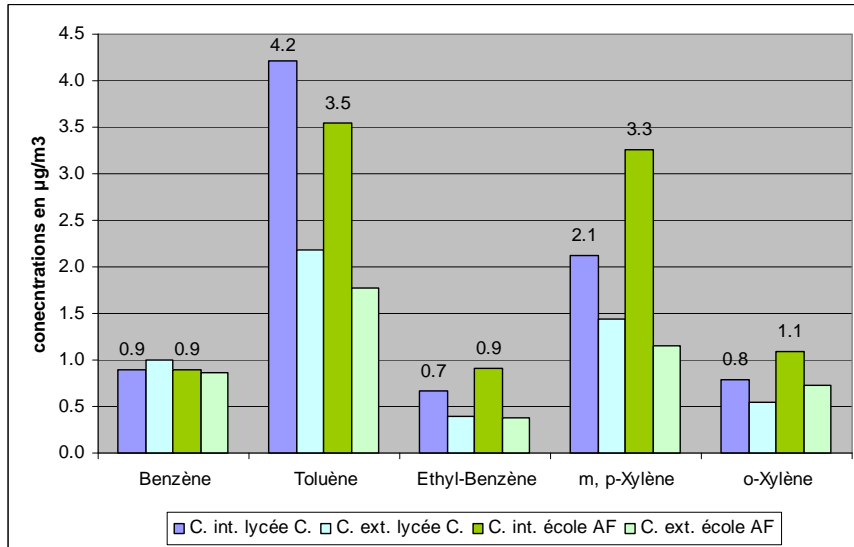
Graphique 23 : corrélations entre les paramètres environnementaux et les aldéhydes au lycée Clemenceau



Graphique 24 : corrélations entre les paramètres environnementaux et les aldéhydes à l'école Alain Fournier

le suivi des BTEX

Les résultats des concentrations moyennes interne et externe des BTEX sont représentés sur le graphique 25.



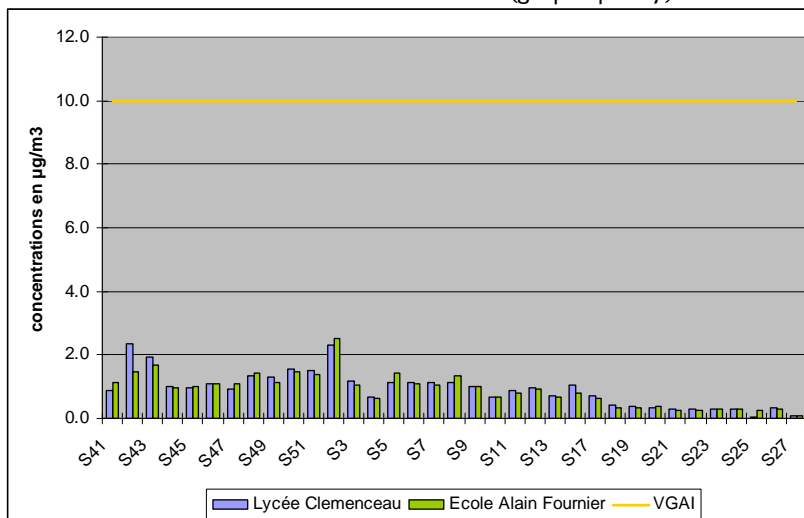
Graphique 25: concentrations moyennes interne et externe en BTEX dans les deux établissements scolaires

La concentration moyenne en benzène est de $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier. Elles sont inférieures à celles des études françaises ($1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'étude OQAI, $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'étude de l'ASPA).

À l'extérieur, les concentrations moyennes en benzène sont de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée Clemenceau et $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'école Alain Fournier. Les teneurs à l'intérieur des locaux paraissent corrélées aux niveaux extérieurs, montrant une contribution non négligeable de l'apport extérieur dans les bâtiments.

Les concentrations mesurées en toluène et m-p xylène dans les deux établissements scolaires apparaissent supérieures à celles mesurées à l'extérieur (facteur 2 pour le toluène) alors que celles du benzène sont du même ordre et légèrement supérieures pour l'éthyl-benzène et l'o-xylène.

Ces résultats suggèrent que des polluants comme le benzène et l'éthyl-benzène auraient plus une origine extérieure (trafic, combustion) et que le toluène et le xylène apparaissent comme des indicateurs de pollution intérieure, auxquelles s'ajoutent des sources extérieures, compte tenu de la corrélation avec les concentrations externes (graphique 27).



Graphique 26: concentrations moyennes en benzène dans les deux établissements scolaires

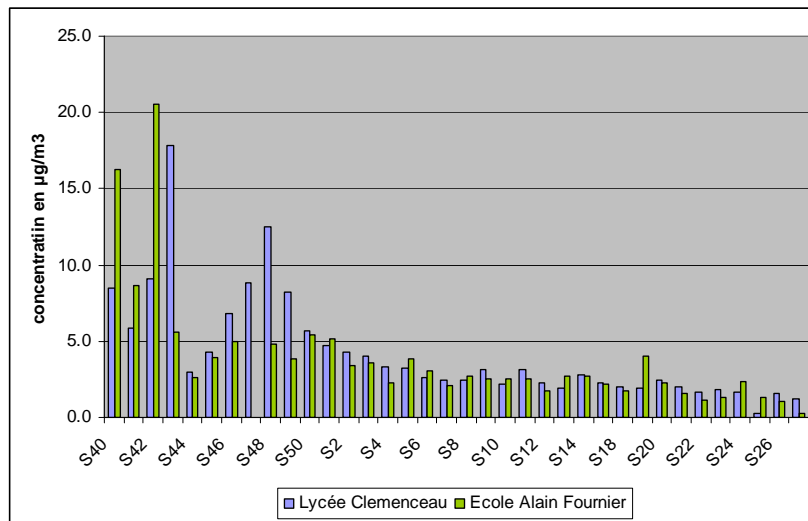
Les concentrations hebdomadaires en benzène sont du même ordre de grandeur entre les deux établissements scolaires et sont en général plus élevées en période hivernale en lien avec des phénomènes de combustion plus importants. La forte corrélation des concentrations entre les deux établissements confirme l'origine extérieure de la pollution.

comparaison à la VGAI benzène

Afin de protéger la population contre les effets hématologiques non cancérogènes, l'Afsset a proposé une valeur guide de qualité de l'air de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme.

Les valeurs moyennes de benzène enregistrées au Lycée Clemenceau et à l'école Alain Fournier sont nettement en dessous de la valeur guide air intérieur pour une exposition à long terme.

suivi du toluène



Graphique 27: concentrations moyennes en toluène dans les deux établissements scolaires

Les concentrations moyennes du toluène sont de $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée Clemenceau et $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'école Alain Fournier. Les concentrations extérieures en toluène sont respectivement de $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lycée et $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'école. Ces teneurs sont moins élevées que celles enregistrées dans les études françaises ($11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'étude OQAI, $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'étude de l'ASPA).

Le rapport concentration interne sur concentration externe souligne l'origine interne du toluène dans les deux d'établissements à laquelle s'ajoutent des sources extérieures.

Les résultats pour le toluène sont plus irréguliers que ceux du benzène. À l'école Alain Fournier, deux semaines se distinguent avec les teneurs importantes dont lors de la semaine 42. Une vérification de l'emploi du temps dans la salle de classe cette semaine là laisse penser que cette augmentation des teneurs en toluène serait liée à des activités manuelles utilisant de la colle.

approche expérimentale pour maintenir une bonne qualité de l'air

Une approche expérimentale en matière d'aération a été proposée aux gestionnaires des établissements afin d'assurer un meilleur renouvellement d'air dans les salles étudiées.

Sachant qu'en cas d'absence de système de ventilation, l'aération doit se faire par les ouvrants. Il a été proposé de procéder à des ouvertures de fenêtres aux intercourts et récréations. En parallèle, une réduction totale de l'utilisation des produits d'entretien a été pratiquée dans les salles.

L'ensemble des mesures a été prise en compte simultanément au lycée pendant le mois de mars pour espérer obtenir une influence sur la qualité de l'air intérieur. Elle a été effectuée de manière différée à l'école Alain Fournier: pendant le mois d'avril et mai pour l'aération et le mois de juin pour la réduction de l'utilisation des produits d'entretien.

L'exploitation des résultats des mesures des paramètres de confinement, de confort et de polluants pendant cette période d'expérimentation et leur comparaison avec les concentrations relevées au premier trimestre de l'année scolaire 2008-2009 a permis d'en évaluer l'impact.

bilan de l'approche expérimentale au lycée Clemenceau

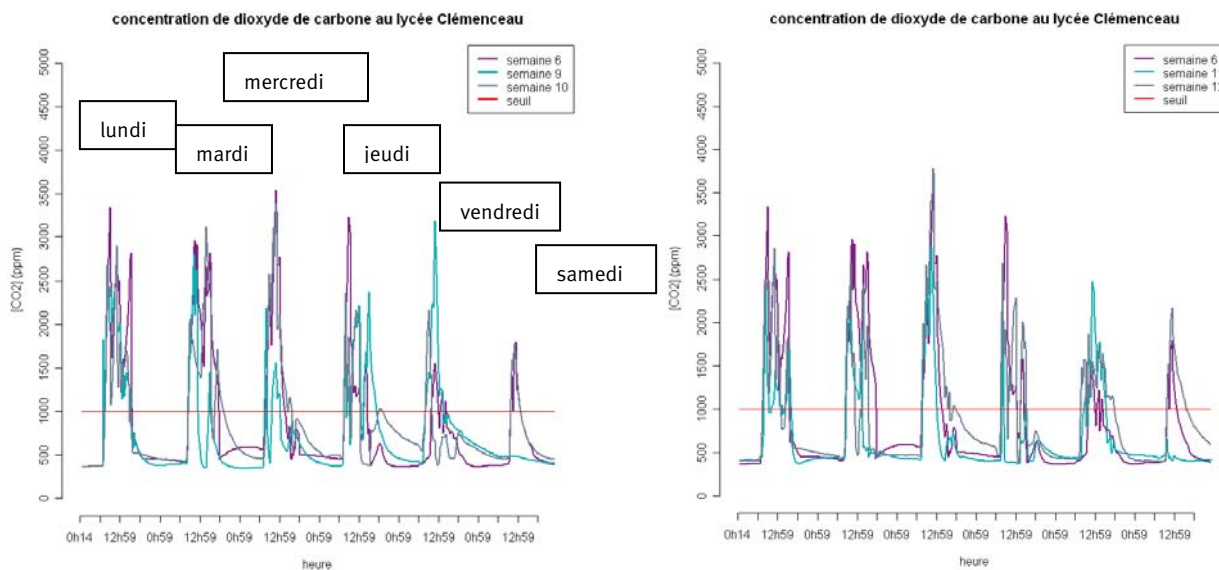
L'approche expérimentale a été mise en place du 2 au 27 mars dans la salle de cours du lycée.

L'évolution de la concentration en dioxyde de carbone au premier trimestre de l'année scolaire 2008-2009 montrait des dépassements du seuil du règlement sanitaire départemental avec une concentration moyenne atteignant 1366 ppm aux heures de présence des élèves. La valeur maximale a atteint 5100 ppm. Lors de l'expérimentation d'aération durant le mois de mars, la concentration moyenne sur un mois a été abaissée à 1141 ppm et la valeur maximale a atteint 3780 ppm. Une meilleure aération de la salle de cours a donc permis d'abaisser légèrement les concentrations moyennes et de manière plus importante les concentrations maximales enregistrées.

	Concentrations en dioxyde de carbone durant le 1 ^{er} trimestre scolaire 2008-2009 (en ppm)	Concentrations en dioxyde de carbone durant l'expérimentation du 02/03 au 27/03 (en ppm)
MOYENNE	1366	1141
MAXIMUM	5100	3780

Tableau 12 : Concentrations moyennes et maximales enregistrées dans la salle de cours du lycée Clemenceau.

La représentation des concentrations en dioxyde de carbone pendant une semaine est présentée sur les graphiques 28 et 29 pour les semaines où l'aération a eu lieu (semaines 9 à 12) par comparaison à une semaine sans expérimentation (semaine 6).

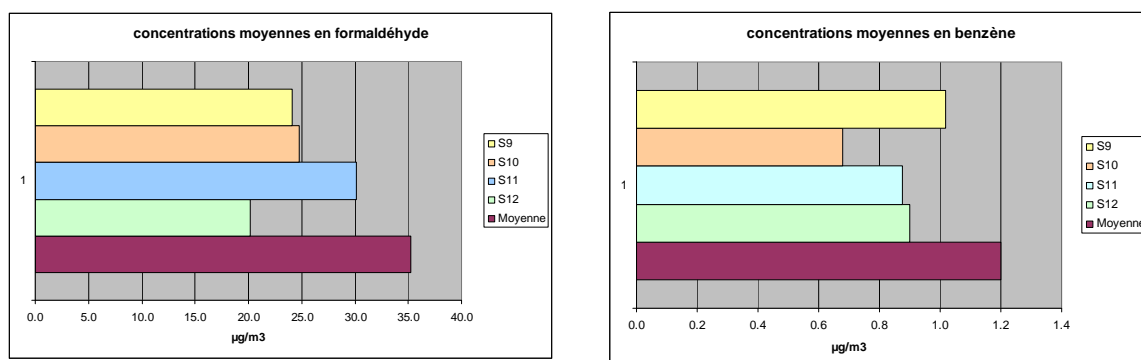


Graphique 28 et 29 : Séries chronologiques des concentrations en dioxyde de carbone enregistrées au lycée pendant les semaines 6 à 12

Les graphiques mettent en évidence des dépassements du seuil de 1000 ppm d'une semaine à l'autre, avec ou sans aération. Les pics de concentration en dioxyde de carbone sont observés lors de la semaine 6 tous les jours de la semaine sauf pour la journée du vendredi. La semaine 9 a été influencée par des températures extérieures particulièrement basses (6°C) comparée aux autres semaines (9 à 10°C), ce qui peut expliquer les concentrations plus importantes enregistrées le vendredi liées à une moindre ouverture des fenêtres cette semaine là.

Lors des semaines d'expérimentation 9 à 12, le profil des courbes de concentration en dioxyde de carbone se trouve légèrement abaissé par rapport à la semaine 6 (non expérimentale), mais les dépassements du seuil de 1000 ppm continuent à être enregistrés.

Au cours de l'expérimentation dans la salle de cours, une réduction totale de l'utilisation des produits d'entretiens, source de polluants de l'air intérieur a été mise en place (avec aération lors de l'entretien). La mesure des composés comme le formaldéhyde et le benzène est présentée dans les graphiques ci-dessous.



Graphiques 30 et 31 : concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde et benzène au lycée Clemenceau

La concentration moyenne en formaldéhyde apparaît en baisse lors des semaines d'expérimentation ($24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) par comparaison à la moyenne du premier trimestre scolaire qui était de $35,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De même, la concentration moyenne en benzène est abaissée lors des semaines d'expérimentation ($0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) par comparaison à la moyenne du premier trimestre scolaire ($1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration moyenne en benzène à l'extérieur était de $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant les semaines d'expérimentation. Une diminution des teneurs en formaldéhyde et en benzène a donc été enregistrée pendant les semaines d'expérimentation au lycée Clemenceau.

bilan de l'approche expérimentale à l'école Alain Fournier

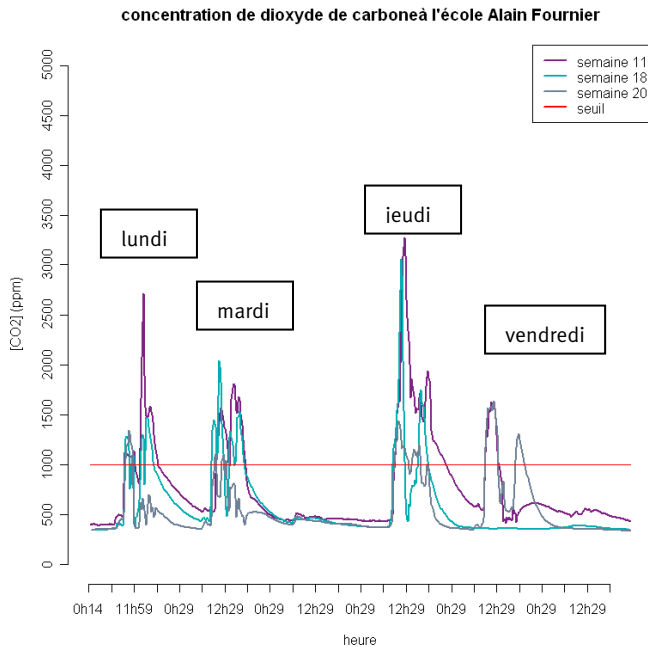
L'approche expérimentale concernant l'aération a été mise en place à l'école Alain Fournier du 20 avril au 15 mai dans la salle de classe. Celle de la réduction de l'utilisation des produits d'entretien s'est déroulée pendant le mois de juin.

La concentration moyenne en dioxyde de carbone couvrant de premier trimestre de l'année scolaire 2008-2009 a atteint 1441 ppm aux heures de présence des élèves et la valeur maximale 4577 ppm. Lors de l'expérimentation concernant l'aération, la concentration moyenne a atteint 888 ppm et la valeur maximale 3057 ppm. Il y a donc eu un abaissement conséquent des concentrations moyennes en dioxyde de carbone pendant la période d'expérimentation, descendant en dessous de seuil de RSD de 1000 ppm.

	Concentrations en dioxyde de carbone durant le 1 ^{er} trimestre scolaire 2008-2009 (en ppm)	Concentrations en dioxyde de carbone durant l'expérimentation du 20/04 au 15/05 (en ppm)
MOYENNE	1441	888
MAXIMUM	4577	3057

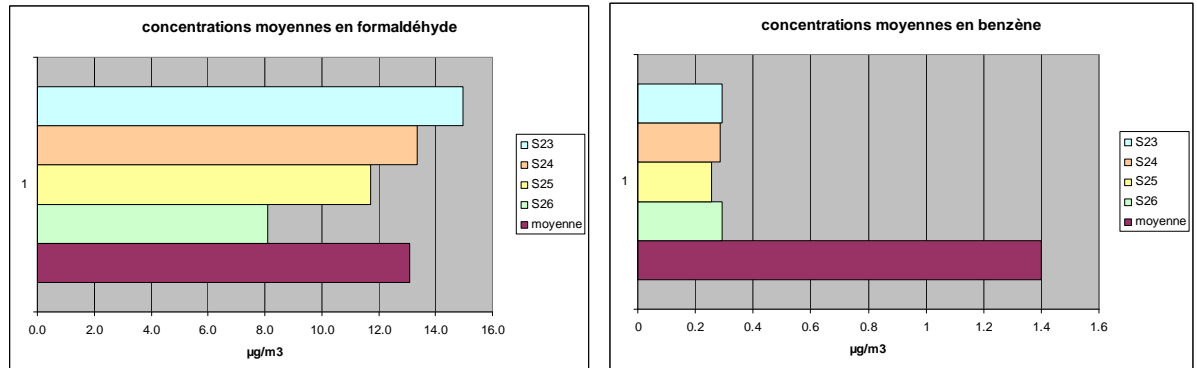
Tableau 13 : Concentrations moyennes et maximales enregistrées dans la salle de l'école Alain Fournier

La comparaison des concentrations en dioxyde de carbone pendant l'expérimentation (semaines 18 et 20) avec une semaine sans expérimentation (semaine 11) montre une légère diminution des concentrations lors de la semaine d'expérimentation 18 et une baisse significative lors de la semaine 20. La semaine 20 a été influencée par des températures extérieures plus importantes (15°C au lieu de 9°C les semaines auparavant) suggérant une plus grande disposition de l'enseignante à ouvrir les fenêtres.



Graphique 32 : Série chronologique des concentrations en dioxyde de carbone enregistrées à l'école Alain Fournier pendant la période d'expérimentation

Durant le mois de juin, une réduction des produits d'entretien a été mise en place dans la salle de classe de l'école Alain Fournier (nettoyage à l'eau claire avec aération).



Graphiques 33 et 34 : concentrations moyennes hebdomadaires en formaldéhyde et benzène à l'école Alain Fournier

La valeur moyenne des concentrations en formaldéhyde pendant la période de réduction de l'utilisation des produits d'entretien était de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui montre une légère diminution des teneurs en ce polluant par comparaison à la moyenne du premier trimestre scolaire 2008-2009 qui était de $13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A titre indicatif, La moyenne a été abaissée à $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant l'expérimentation sur l'aération (20 avril au 15 mai).

La réduction de l'utilisation des produits d'entretien n'a pas influencé la concentration moyenne en formaldéhyde les deux premières semaines (semaine 23 et 24), au contraire, il a eu une augmentation des concentrations en formaldéhyde (moyenne S23 et S24 de $14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) par comparaison à la moyenne du premier trimestre scolaire. Après vérification des activités dans la classe pendant ces semaines, il s'avère que les enfants ont préparé des cadeaux pour la fête des mères et utilisé de la colle et de l'encre de chine. Par contre, il apparaît une baisse des niveaux de formaldéhyde (moyenne S25 et S26 de $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lors des deux dernières semaines de l'expérimentation marquées par des températures moyennes extérieures plus importantes (20 et 21°C en moyenne au lieu de 16°C auparavant), ce qui a pu entraîner une ouverture plus fréquente des fenêtres et une dispersion des polluants.

La concentration moyenne en benzène a été abaissée significativement à $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors des semaines d'expérimentation par comparaison à la moyenne du premier trimestre scolaire 2008-2009 ($1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations extérieures hivernales étant toujours supérieures aux niveaux estivaux, cette baisse des concentrations en benzène apparaît donc normale. La concentration moyenne en benzène à l'extérieur était de $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant les semaines d'expérimentation. L'expérimentation en matière d'aération et de réduction des produits d'entretien a eu une influence sur la réduction des teneurs en benzène et en formaldéhyde (2 dernières semaines).

conclusions et perspectives

Les premiers résultats de la campagne de mesure de l'air intérieur dans deux établissements scolaires nantais ont mis en évidence :

- un niveau de confinement élevé dans les deux établissements scolaires, avec dépassement pendant les heures de présence des élèves du seuil de 1000 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental (RSD);
- des concentrations moyennes en formaldéhyde plus importantes au lycée et un dépassement de la valeur guide air intérieur (VGAi) dans les deux établissements (faiblement dépassée à l'école) ;
- des concentrations moyennes en benzène équivalentes dans les deux établissements et en dessous de la valeur guide air intérieur (VGAi).

Les niveaux de concentration en polluants comme les aldéhydes sont plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. Pour certains polluants comme les BTEX, il peut y avoir des sources intérieures qui viennent s'ajouter à des sources extérieures.

Une approche expérimentale en matière d'aération a été proposée aux gestionnaires des établissements afin d'assurer un meilleur renouvellement d'air dans les salles étudiées et de réduire l'utilisation des produits d'entretien.

Le bilan de l'approche expérimentale dans la salle de cours du lycée met en évidence une légère diminution des niveaux de dioxyde de carbone dans la salle instrumentée mais ces niveaux continuent à dépasser le seuil du règlement sanitaire départemental (RSD). A l'école Alain Fournier, la baisse de niveaux de dioxyde de carbone est plus significative, descendant en dessous du seuil du RSD.

Concernant l'expérimentation sur la réduction de l'utilisation des produits d'entretien, une diminution des niveaux de formaldéhyde et de benzène a été enregistrée pendant les quatre semaines d'expérimentation, au lycée Clemenceau pouvant être à la fois liée à la réduction des produits d'entretien et à l'amélioration de l'aération. A l'école Alain Fournier, une baisse importante du benzène a été enregistrée et concernant le formaldéhyde durant les deux dernières semaines de l'expérimentation.

L'approche expérimentale montre l'importance d'une bonne aération afin de réduire les niveaux des polluants dans l'air intérieur. Elle souligne que des gestes simples comme l'aération des locaux pendant les récréations et les cours et l'utilisation de produits d'entretien peu émissifs en composés organiques volatils peuvent améliorer la qualité de l'air intérieur dans des bâtiments.

Cette campagne de mesure en continu a permis d'apprécier la variation temporelle de la concentration en polluants sur une année scolaire. L'utilisation de techniques statistiques va être effectuée dans un second temps afin de proposer un suivi plus léger pour des prochaines campagnes.

Enfin, une campagne de mesure de 150 écoles en France est en cours de réalisation à l'initiative du Ministère de l'écologie (Meeddm). Dans les Pays de la Loire, ce sont 15 établissements qui sont étudiés par Air Pays de la Loire depuis septembre 2009 sur des paramètres équivalents à la présente étude selon une approche saisonnière. Cette étude permettra de faire un premier état des lieux régional de la pollution de l'air intérieur dans des établissements de taille et de typologie variables.

annexes

- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : techniques d'évaluation
- annexe 3 : évaluation des risques sanitaires liés au formaldéhyde (avis de l'Afsset)
- annexe 4 : Valeurs guides de l'air intérieur et recommandations
- annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2008
- annexe 6 : emploi du temps du lycée Clemenceau

annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de vingt-cinq 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

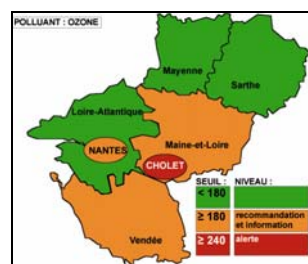
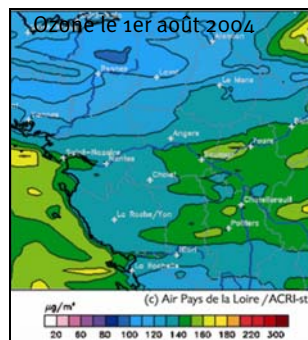
Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac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

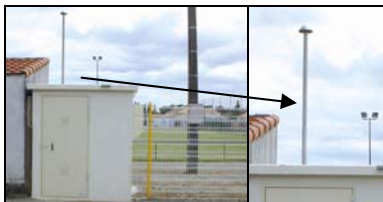
Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air (Atmo, IQA), les mesures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

des publications largement diffusées

Tous les deux mois, Air Pays de la Loire publie des informations sur la qualité de l'air de la région, grâce à son bulletin bimestriel 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 : techniques d'évaluation

mesures



les sites fixes

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une cinquantaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse-Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM10 ou PM2,5, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où les données sont traitées et servent le cas échéant à activer les procédures d'information et d'alerte.



les laboratoires mobiles

La région des Pays de la Loire est dotée de deux laboratoires mobiles de surveillance de la qualité de l'air. Ces systèmes, équipés d'analyseurs spécifiques (NO_x, SO₂, O₃, PM10, CO) comme les sites fixes, permettent d'établir un diagnostic de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Les applications sont diverses : impact industriel ou urbain, validation de futurs sites fixes, communication...



les préleveurs de particules

Ces systèmes sont le plus souvent utilisés pour la mesure des "nouveaux polluants" (métaux lourds, pesticides et HAP) avec un prélèvement à la journée ou à la semaine. À la différence des analyseurs spécifiques, l'analyse est réalisée en différé en laboratoire.



les canisters

Ces préleveurs sont adaptés au prélèvement des COV et sont par exemple utilisés sur le réseau Mera (MEsure des Retombées Atmosphériques) dont une station se trouve dans le sud de la Vendée. En général, le prélèvement est court (de quelques heures à une journée) et l'analyse se fait ultérieurement en laboratoire.



les collecteurs de précipitations

Cette technique est employée pour évaluer l'impact des retombées sèches ou humides, par exemple en provenance des UIOM (Usines d'Incinération des Ordures Ménagères). Le prélèvement se fait sur quelques semaines et l'analyse porte sur les métaux lourds, les dioxines et furannes.



les tubes à diffusion passive

Ces systèmes de dimension réduite permettent à moindre coût de mesurer sur des périodes de 15 jours en général, et après analyse en laboratoire, des polluants tels que le dioxyde d'azote, l'ozone, benzène et les composés organiques volatils, de façon générale. Ils sont également utilisés pour mailler un territoire et obtenir ainsi la répartition géographique de la pollution.

annexe 3 : risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs [6]

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

- un rapport Afsset « 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 nettoyants,...), 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 :
 - 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 ;
 - 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 ;
 - 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 ;
 - 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 4 : valeurs guides de l'air intérieur (VGAI) et recommandation de RSD

valeurs guides de l'air intérieur (Afsset)

Formaldéhyde	<p>VGAI long terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ <p>VGAI court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur 2 heures
Monoxyde de carbone	<p>VGAI court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 mg/m^3 - exposition de 8 h • 30 mg/m^3 - exposition de 1 h • 60 mg/m^3 - exposition de 30 min • 100 mg/m^3 - exposition de 15 min
Benzène	<p>VGAI long terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets chroniques non cancérogènes pour une durée d'exposition supérieure à un an. • 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets chroniques cancérogènes et une durée d'exposition vie entière, correspondant à un excès de risque de 10-5. • 0,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les effets chroniques cancérogènes et une durée d'exposition vie entière, correspondant à un excès de risque de 10-6. <p>VGAI intermédiaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur un an pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène. • <p>VGAI court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène.

règlement sanitaire départemental

Dioxyde de carbone	<p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seuil à ne pas dépasser : 1000 ppm.
--------------------	---

annexe 5 : seuils de qualité de l'air extérieur 2008

TYPE DE SEUIL (µg/m ³)	DONNÉE DE BASE	POLLUANT												
		Ozone décrets 2002-213 du 15/02/02, 2003-1085 du 12/11/03 et 2007-1479 du 12/10/07 et 2008-1152 du 07/11/08 dir. 2008/50/CE du 21/05/08	Dioxyde d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	Oxydes d'azote décret 2002-213 du 15/02/02	Poussières (PM10) décret 2002-213 du 15/02/02, avis de HCSP du 06/06/96 et circulaire du 12/10/07	Poussières (PM2.5) dir. 2008/50/CE du 21/05/08	Plomb décret 2002-213 du 15/02/02 et 2007-1479 du 12/10/07	Benzène décret 2002-213 du 15/02/02	Monoxyde de carbone décret 2002-213 du 15/02/02	Dioxyde de soufre décret 2002-213 du 15/02/02	Arsenic	Cad- mium	Nickel	Benzo(a) pyrène
valeurs limites	moyenne annuelle	-	44 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾	40	30 ⁽⁷⁾	0,5	7 ⁽³⁾	-	20 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
	moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
	moyenne journalière	-	-	-	50 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	125 ⁽⁶⁾	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	-	200 ⁽⁷⁾ 220 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	350 ⁽⁹⁾	-	-	-	-
seuils d'alerte	moyenne horaire	1 ^{er} seuil : 240 ⁽¹⁰⁾ 2 ^e seuil : 300 ⁽¹⁰⁾ 3 ^e seuil : 360	400 200 ⁽¹¹⁾	-	-	-	-	-	-	500 ⁽¹⁰⁾	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	125 ⁽¹⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
seuils de recommandation et d'information	moyenne horaire	180	200	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	80 ⁽¹⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
objectifs de qualité	moyenne annuelle	-	40	-	30	-	0,25	2	-	50	-	-	-	-
	moyenne journalière	65 ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	200 ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6000 ⁽¹³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
valeurs cibles	AOT 40	18 000 ⁽²⁾⁽¹⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne annuelle	-	-	-	-	25 ⁽¹⁶⁾	-	-	-	-	0,006	0,005	0,02	0,001
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽¹⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 4 (valeur applicable à compter du 01/01/2010: 40)

(2) pour la protection de la végétation - applicable seulement sur les sites ruraux et périurbains

(3) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 2 (valeur applicable à compter du 01/01/2010: 5)

(4) pour la protection des écosystèmes - applicable seulement sur les sites ruraux

(5) à ne pas dépasser plus de 35j par an (percentile 90,4 annuel)

(6) à ne pas dépasser plus de 3j par an (percentile 99,2 annuel)

(7) à ne pas dépasser plus de 175h par an (percentile 98 annuel) – valeur applicable jusqu'au 31/12/2009

(8) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,8 annuel) – valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 20 (valeur applicable à compter du 01/01/2010: 200)

(9) à ne pas dépasser plus de 24h par an (percentile 99,7 annuel)

(10) à ne pas dépasser plus de 3h consécutives

(11) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

(12) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, calculé sur une année civile

(13) pour la protection de la végétation : calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(14) en moyenne sur 5 ans à respecter au 1 janvier 2010

(15) pour la protection de la santé humaine : à ne pas dépasser plus de 25 j par an en moyenne sur 3 ans à respecter au 1 janvier 2010

(16) valeur applicable au 1 janvier 2010

(17) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2008 : 5 (valeur applicable à compter du 01/01/2010: 25)

(18) seuils du HCSP traduits en seuils de recommandation/information et d'alerte en avril 2008

valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

valeur cible : niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

annexe 6 : emploi du temps et effectif de la salle N102 du lycée Clemenceau

Emploi du temps de la salle N102

Capacité: 36 places

	Lundi	Mardi	Mercredi	Judi	Vendredi	Samedi
8h00	ANGLAIS LV1 M. GILLES		ANGLAIS LV1 Mlle CHATELLE	ANGLAIS LV1 Mme GIRARD	ANGLAIS LV2 2P 203.20AG2A M. DAVIDSON	
9h00	ESPAGNOL LV2 1S1.1S1ESP2 Mme FERNANDEZ	ESPAGNOL LV2 206.20S5SP2 Mme FERNANDEZ	ANGLAIS LV1 1S1.1S1S1AG1 M. DELARRIE	ANGLAIS LV1 Mlle CASTELLU	ANGLAIS LV2 2P 203.20AG2B M. DAVIDSON	
10h00	ANGLAIS LV REFORCE M. COENTIN	FRANCAIS 209 Mme KIRICHE	FRANCAIS 1ES2 M. LE CALVE	ESPAGNOL LV2 1S3.1S3ESP2 Mme LE GOFF	ANGLAIS LV2 203.20AG2C M. DAVIDSON	MATHS INFORMATIQUE M. MEHAT
12h00	ANGLAIS LV1 M. QUENTIN		THEATRE Mme COUDERT	ESPAGNOL LV2 TL.1.TL.ESP2 Mme LE GOFF	ANGLAIS LV1 M. DAVIDSON	
13h00	ANGLAIS LV1 204.20D6 Mme FOUCAUD	ANGLAIS LV1 Mme GIRARD		ALLEMAND LV1 Mme HUET	ALLEMAND LV2 Mme FERNANDEZ	
14h00	HISTOIRE & GEOGRAPHIE 204 Mme FOUCAUD	ANGLAIS LV1 Mme GIRARD	AIR PIF DIVERS	ESPAGNOL LV2 Mme FERNANDEZ	ALLEMAND LV2 Mme FERNANDEZ	
15h00	PHILOSOPHIE Mme QUADR	ARABE LV1 M. REYMOND	COLLE MATH M. MEYER	COLLE ANGLAIS Mme FERNANDEZ	COLLE ANGLAIS Mme FERNANDEZ	
16h00		LATIN M. BOUCHER	COLLE MATH M. MEYER	COLLE ANGLAIS Mme HAUTCOEUR	COLLE ANGLAIS M. MOLLITOR	
17h00		LATIN M. BOUCHER	COLLE MATH M. MEYER	COLLE ANGLAIS Mme HAUTCOEUR	COLLE ANGLAIS M. MOLLITOR	
18h00				COLLE ANGLAIS Mme HAUTCOEUR		

Liste des regroupements
 Regr:PAL2-C-PC-PSIA ; Regr:TLATIN-TL1+TES1+TS1+TS3+TS4 ; Regr:TSALL+TS1+TS2 ; Regr:TLAQL=L1+L2 ; Regr:THEAT=L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7+L8+L9+L10+L11+L12+L13+L14+L15+L16+L17+L18+L19+L20+L21+L22+L23+L24+L25+L26+L27+L28+L29+L30+L31+L32+L33+L34+L35+L36+L37+L38+L39+L40+L41+L42+L43+L44+L45+L46+L47+L48+L49+L50+L51+L52+L53+L54+L55+L56+L57+L58+L59+L60+L61+L62+L63+L64+L65+L66+L67+L68+L69+L70+L71+L72+L73+L74+L75+L76+L77+L78+L79+L80+L81+L82+L83+L84+L85+L86+L87+L88+L89+L90+L91+L92+L93+L94+L95+L96+L97+L98+L99+L100+L101+L102+L103+L104+L105+L106+L107+L108+L109+L110+L111+L112+L113+L114+L115+L116+L117+L118+L119+L120+L121+L122+L123+L124+L125+L126+L127+L128+L129+L130+L131+L132+L133+L134+L135+L136+L137+L138+L139+L140+L141+L142+L143+L144+L145+L146+L147+L148+L149+L150+L151+L152+L153+L154+L155+L156+L157+L158+L159+L160+L161+L162+L163+L164+L165+L166+L167+L168+L169+L170+L171+L172+L173+L174+L175+L176+L177+L178+L179+L180+L181+L182+L183+L184+L185+L186+L187+L188+L189+L190+L191+L192+L193+L194+L195+L196+L197+L198+L199+L200+L201+L202+L203+L204+L205+L206+L207+L208+L209+L210+L211+L212+L213+L214+L215+L216+L217+L218+L219+L220+L221+L222+L223+L224+L225+L226+L227+L228+L229+L230+L231+L232+L233+L234+L235+L236+L237+L238+L239+L240+L241+L242+L243+L244+L245+L246+L247+L248+L249+L250+L251+L252+L253+L254+L255+L256+L257+L258+L259+L260+L261+L262+L263+L264+L265+L266+L267+L268+L269+L270+L271+L272+L273+L274+L275+L276+L277+L278+L279+L280+L281+L282+L283+L284+L285+L286+L287+L288+L289+L290+L291+L292+L293+L294+L295+L296+L297+L298+L299+L300+L301+L302+L303+L304+L305+L306+L307+L308+L309+L310+L311+L312+L313+L314+L315+L316+L317+L318+L319+L320+L321+L322+L323+L324+L325+L326+L327+L328+L329+L330+L331+L332+L333+L334+L335+L336+L337+L338+L339+L340+L341+L342+L343+L344+L345+L346+L347+L348+L349+L350+L351+L352+L353+L354+L355+L356+L357+L358+L359+L360+L361+L362+L363+L364+L365+L366+L367+L368+L369+L370+L371+L372+L373+L374+L375+L376+L377+L378+L379+L380+L381+L382+L383+L384+L385+L386+L387+L388+L389+L390+L391+L392+L393+L394+L395+L396+L397+L398+L399+L400+L401+L402+L403+L404+L405+L406+L407+L408+L409+L410+L411+L412+L413+L414+L415+L416+L417+L418+L419+L420+L421+L422+L423+L424+L425+L426+L427+L428+L429+L430+L431+L432+L433+L434+L435+L436+L437+L438+L439+L440+L441+L442+L443+L444+L445+L446+L447+L448+L449+L450+L451+L452+L453+L454+L455+L456+L457+L458+L459+L460+L461+L462+L463+L464+L465+L466+L467+L468+L469+L470+L471+L472+L473+L474+L475+L476+L477+L478+L479+L480+L481+L482+L483+L484+L485+L486+L487+L488+L489+L490+L491+L492+L493+L494+L495+L496+L497+L498+L499+L500+L501+L502+L503+L504+L505+L506+L507+L508+L509+L510+L511+L512+L513+L514+L515+L516+L517+L518+L519+L520+L521+L522+L523+L524+L525+L526+L527+L528+L529+L530+L531+L532+L533+L534+L535+L536+L537+L538+L539+L540+L541+L542+L543+L544+L545+L546+L547+L548+L549+L550+L551+L552+L553+L554+L555+L556+L557+L558+L559+L560+L561+L562+L563+L564+L565+L566+L567+L568+L569+L570+L571+L572+L573+L574+L575+L576+L577+L578+L579+L580+L581+L582+L583+L584+L585+L586+L587+L588+L589+L590+L591+L592+L593+L594+L595+L596+L597+L598+L599+L600+L601+L602+L603+L604+L605+L606+L607+L608+L609+L610+L611+L612+L613+L614+L615+L616+L617+L618+L619+L620+L621+L622+L623+L624+L625+L626+L627+L628+L629+L630+L631+L632+L633+L634+L635+L636+L637+L638+L639+L640+L641+L642+L643+L644+L645+L646+L647+L648+L649+L650+L651+L652+L653+L654+L655+L656+L657+L658+L659+L660+L661+L662+L663+L664+L665+L666+L667+L668+L669+L670+L671+L672+L673+L674+L675+L676+L677+L678+L679+L680+L681+L682+L683+L684+L685+L686+L687+L688+L689+L690+L691+L692+L693+L694+L695+L696+L697+L698+L699+L700+L701+L702+L703+L704+L705+L706+L707+L708+L709+L710+L711+L712+L713+L714+L715+L716+L717+L718+L719+L720+L721+L722+L723+L724+L725+L726+L727+L728+L729+L730+L731+L732+L733+L734+L735+L736+L737+L738+L739+L740+L741+L742+L743+L744+L745+L746+L747+L748+L749+L750+L751+L752+L753+L754+L755+L756+L757+L758+L759+L760+L761+L762+L763+L764+L765+L766+L767+L768+L769+L770+L771+L772+L773+L774+L775+L776+L777+L778+L779+L780+L781+L782+L783+L784+L785+L786+L787+L788+L789+L790+L791+L792+L793+L794+L795+L796+L797+L798+L799+L800+L801+L802+L803+L804+L805+L806+L807+L808+L809+L810+L811+L812+L813+L814+L815+L816+L817+L818+L819+L820+L821+L822+L823+L824+L825+L826+L827+L828+L829+L830+L831+L832+L833+L834+L835+L836+L837+L838+L839+L840+L841+L842+L843+L844+L845+L846+L847+L848+L849+L850+L851+L852+L853+L854+L855+L856+L857+L858+L859+L860+L861+L862+L863+L864+L865+L866+L867+L868+L869+L870+L871+L872+L873+L874+L875+L876+L877+L878+L879+L880+L881+L882+L883+L884+L885+L886+L887+L888+L889+L890+L891+L892+L893+L894+L895+L896+L897+L898+L899+L900+L901+L902+L903+L904+L905+L906+L907+L908+L909+L910+L911+L912+L913+L914+L915+L916+L917+L918+L919+L920+L921+L922+L923+L924+L925+L926+L927+L928+L929+L930+L931+L932+L933+L934+L935+L936+L937+L938+L939+L940+L941+L942+L943+L944+L945+L946+L947+L948+L949+L950+L951+L952+L953+L954+L955+L956+L957+L958+L959+L960+L961+L962+L963+L964+L965+L966+L967+L968+L969+L970+L971+L972+L973+L974+L975+L976+L977+L978+L979+L980+L981+L982+L983+L984+L985+L986+L987+L988+L989+L990+L991+L992+L993+L994+L995+L996+L997+L998+L999+L1000+L1001+L1002+L1003+L1004+L1005+L1006+L1007+L1008+L1009+L1010+L1011+L1012+L1013+L1014+L1015+L1016+L1017+L1018+L1019+L1020+L1021+L1022+L1023+L1024+L1025+L1026+L1027+L1028+L1029+L1030+L1031+L1032+L1033+L1034+L1035+L1036+L1037+L1038+L1039+L1040+L1041+L1042+L1043+L1044+L1045+L1046+L1047+L1048+L1049+L1050+L1051+L1052+L1053+L1054+L1055+L1056+L1057+L1058+L1059+L1060+L1061+L1062+L1063+L1064+L1065+L1066+L1067+L1068+L1069+L1070+L1071+L1072+L1073+L1074+L1075+L1076+L1077+L1078+L1079+L1080+L1081+L1082+L1083+L1084+L1085+L1086+L1087+L1088+L1089+L1090+L1091+L1092+L1093+L1094+L1095+L1096+L1097+L1098+L1099+L1100+L1101+L1102+L1103+L1104+L1105+L1106+L1107+L1108+L1109+L1110+L1111+L1112+L1113+L1114+L1115+L1116+L1117+L1118+L1119+L1120+L1121+L1122+L1123+L1124+L1125+L1126+L1127+L1128+L1129+L1130+L1131+L1132+L1133+L1134+L1135+L1136+L1137+L1138+L1139+L1140+L1141+L1142+L1143+L1144+L1145+L1146+L1147+L1148+L1149+L1150+L1151+L1152+L1153+L1154+L1155+L1156+L1157+L1158+L1159+L1160+L1161+L1162+L1163+L1164+L1165+L1166+L1167+L1168+L1169+L1170+L1171+L1172+L1173+L1174+L1175+L1176+L1177+L1178+L1179+L1180+L1181+L1182+L1183+L1184+L1185+L1186+L1187+L1188+L1189+L1190+L1191+L1192+L1193+L1194+L1195+L1196+L1197+L1198+L1199+L1200+L1201+L1202+L1203+L1204+L1205+L1206+L1207+L1208+L1209+L1210+L1211+L1212+L1213+L1214+L1215+L1216+L1217+L1218+L1219+L1220+L1221+L1222+L1223+L1224+L1225+L1226+L1227+L1228+L1229+L1230+L1231+L1232+L1233+L1234+L1235+L1236+L1237+L1238+L1239+L1240+L1241+L1242+L1243+L1244+L1245+L1246+L1247+L1248+L1249+L1250+L1251+L1252+L1253+L1254+L1255+L1256+L1257+L1258+L1259+L1260+L1261+L1262+L1263+L1264+L1265+L1266+L1267+L1268+L1269+L1270+L1271+L1272+L1273+L1274+L1275+L1276+L1277+L1278+L1279+L1280+L1281+L1282+L1283+L1284+L1285+L1286+L1287+L1288+L1289+L1290+L1291+L1292+L1293+L1294+L1295+L1296+L1297+L1298+L1299+L1300+L1301+L1302+L1303+L1304+L1305+L1306+L1307+L1308+L1309+L1310+L1311+L1312+L1313+L1314+L1315+L1316+L1317+L1318+L1319+L1320+L1321+L1322+L1323+L1324+L1325+L1326+L1327+L1328+L1329+L1330+L1331+L1332+L1333+L1334+L1335+L1336+L1337+L1338+L1339+L1340+L1341+L1342+L1343+L1344+L1345+L1346+L1347+L1348+L1349+L1350+L1351+L1352+L1353+L1354+L1355+L1356+L1357+L1358+L1359+L1360+L1361+L1362+L1363+L1364+L1365+L1366+L1367+L1368+L1369+L1370+L1371+L1372+L1373+L1374+L1375+L1376+L1377+L1378+L1379+L1380+L1381+L1382+L1383+L1384+L1385+L1386+L1387+L1388+L1389+L1390+L1391+L1392+L1393+L1394+L1395+L1396+L1397+L1398+L1399+L1400+L1401+L1402+L1403+L1404+L1405+L1406+L1407+L1408+L1409+L1410+L1411+L1412+L1413+L1414+L1415+L1416+L1417+L1418+L1419+L1420+L1421+L1422+L1423+L1424+L1425+L1426+L1427+L1428+L1429+L1430+L1431+L1432+L1433+L1434+L1435+L1436+L1437+L1438+L1439+L1440+L1441+L1442+L1443+L1444+L1445+L1446+L1447+L1448+L1449+L1450+L1451+L1452+L1453+L1454+L1455+L1456+L1457+L1458+L1459+L1460+L1461+L1462+L1463+L1464+L1465+L1466+L1467+L1468+L1469+L1470+L1471+L1472+L1473+L1474+L1475+L1476+L1477+L1478+L1479+L1480+L1481+L1482+L1483+L1484+L1485+L1486+L1487+L1488+L1489+L1490+L1491+L1492+L1493+L1494+L1495+L1496+L1497+L1498+L1499+L1500+L1501+L1502+L1503+L1504+L1505+L1506+L1507+L1508+L1509+L1510+L1511+L1512+L1513+L1514+L1515+L1516+L1517+L1518+L1519+L1520+L1521+L1522+L1523+L1524+L1525+L1526+L1527+L1528+L1529+L1530+L1531+L1532+L1533+L1534+L1535+L1536+L1537+L1538+L1539+L1540+L1541+L1542+L1543+L1544+L1545+L1546+L1547+L1548+L1549+L1550+L1551+L1552+L1553+L1554+L1555+L1556+L1557+L1558+L1559+L1560+L1561+L1562+L1563+L1564+L1565+L1566+L1567+L1568+L1569+L1570+L1571+L1572+L1573+L1574+L1575+L1576+L1577+L1578+L1579+L1580+L1581+L1582+L1583+L1584+L1585+L1586+L1587+L1588+L1589+L1590+L1591+L1592+L1593+L1594+L1595+L1596+L1597+L1598+L1599+L1600+L1601+L1602+L1603+L1604+L1605+L1606+L1607+L1608+L1609+L1610+L1611+L1612+L1613+L1614+L1615+L1616+L1617+L1618+L1619+L1620+L1621+L1622+L1623+L1624+L1625+L1626+L1627+L1628+L1629+L1630+L1631+L1632+L1633+L1634+L1635+L1636+L1637+L1638+L1639+L1640+L1641+L1642+L1643+L1644+L1645+L1646+L1647+L1648+L1649+L1650+L1651+L1652+L1653+L1654+L1655+L1656+L1657+L1658+L1659+L1660+L1661+L1662+L1663+L1664+L1665+L1666+L1667+L1668+L1669+L1670+L1671+L1672+L1673+L1674+L1675+L1676+L1677+L1678+L1679+L1680+L1681+L1682+L1683+L1684+L1685+L1686+L1687+L1688+L1689+L1690+L1691+L1692+L1693+L1694+L1695+L1696+L1697+L1698+L1699+L1700+L1701+L1702+L1703+L1704+L1705+L1706+L1707+L1708+L1709+L1710+L1711+L1712+L1713+L1714+L1715+L1716+L1717+L1718+L1719+L1720+L1721+L1722+L1723+L1724+L1725+L1726+L1727+L1728+L1729+L1730+L1731+L1732+L1733+L1734+L1735+L1736+L1737+L1738+L1739+L1740+L1741+L1742+L1743+L1744+L1745+L1746+L1747+L1748+L1749+L1750+L1751+L1752+L1753+L1754+L1755+L1756+L1757+L1758+L1759+L1760+L1761+L1762+L1763+L1764+L1765+L1766+L1767+L1768+L1769+L1770+L1771+L1772+L1773+L1774+L1775+L1776+L1777+L1778+L1779+L1780+L1781+L1782+L1783+L1784+L1785+L1786+L1787+L1788+L1789+L1790+L1791+L1792+L1793+L1794+L1795+L1796+L1797+L1798+L1799+L1800+L1801+L1802+L1803+L1804+L1805+L1806+L1807+L1808+L1809+L1810+L1811+L1812+L1813+L1814+L1815+L1816+L1817+L1818+L1819+L1820+L1821+L1822+L1823+L1824+L1825+L1826+L1827+L1828+L1829+L1830+L1831+L1832+L1833+L1834+L1835+L1836+L1837+L1838+L1839+L1840+L1841+L1842+L1843+L1844+L1845+L1846+L1847+L1848+L1849+L1850+L1851+L1852+L1853+L1854+L1855+L1856+L1857+L1858+L1859+L1860+L1861+L1862+L1863+L1864+L1865+L1866+L1867+L1868+L1869+L1870+L1871+L1872+L1873+L1874+L1875+L1876+L1877+L1878+L1879+L1880+L1881+L1882+L1883+L1884+L1885+L1886+L1887+L1888+L1889+L1890+L1891+L1892+L1893+L1894+L1895+L1896+L1897+L1898+L1899+L1900+L1901+L1902+L1903+L1904+L1905+L1906+L1907+L1908+L1909+L1910+L1911+L1912+L1913+L1914+L1915+L1916+L1917+L1918+L1919+L1920+L1921+L1922+L1923+L1924+L1925+L1926+L1927+L1928+L1929+L1930+L1931+L1932+L1933+L1934+L1935+L1936+L1937+L1938+L1939+L1940+L1941+L1942+L1943+L1944+L1945+L1946+L1947+L1948+L1949+L1950+L1951+L1952+L1953+L1954+L1955+L1956+L1957+L1958+L1959+L1960+L1961+L1962+L1963+L1964+L1965+L1966+L1967+L1968+L1969+L1970+L1971+L1972+L1973+L1974+L1975+L1976+L1977+L1978+L1979+L1980+L1981+L1982+L1983+L1984+L1985+L1986

bibliographie

- [1] Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2004) - Campagne pilote : 90 logements et 9 écoles Rapport final.
- [2] Sépia-Santé (2006) - Ré-analyse des données recueillies par l'OQAI sur l'air intérieur de neuf écoles primaires et maternelles.
- [3] ASPA (2005a) - Campagne de mesure du formaldéhyde dans les établissements scolaires et d'accueil de petite enfance de la ville de Strasbourg : bilan des niveaux mesurés. Réf ASPA 05061301.
- [4] ASPA (2005b) - Campagne de mesure dans les lieux publics sur l'agglomération mulhousienne. Rapport relatif à la campagne de mesure qui s'est déroulée du 21 février au 20 avril 2005. Réf ASPA 05113001-ID.
- [5] AIR-APS, AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG, COPARLY (2007) - Mesure des aldéhydes dans l'air intérieur des écoles maternelles et des crèches en Rhône-Alpes. Convention DRASS».
- [6] AFSSET (2006) - Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs (mai 2008).
- [7] 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.
- [8] AFSSET (2007) - Valeurs Guide de qualité d'Air Intérieur - Document cadre et éléments méthodologiques (juillet 2007).
- [9] AFSSET (2008) - Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur- Le benzène (mai 2008) Avis de l'Afsset relatif à la proposition de valeur guide de l'air intérieur pour le benzène. Auto-saisine AFSSET (2004).
- [10] 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.
- [11] Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2004) - Impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air dans deux écoles primaires, Rapport final.
- [12] AFSSET (2007) - Valeurs guides de la qualité de l'air intérieur- le formaldéhyde. (juillet 2007) Avis de l'Afsset relatif à la proposition de valeur guide de l'air intérieur pour le formaldéhyde. Auto-saisine AFSSET (2004).
- [13] DRASS des pays de la Loire, Bâtiments accueillant des enfants, Guide à l'usage des responsables d'établissement, septembre 2007.
- [14] Mandin (2006) – Qualité de l'air intérieur: quoi de neuf en 2006 ? Publication LCSQA.
- [15] Observatoire régional de santé d'Ile de France (2005)- -pollution de l'air intérieur : état des connaissances concernant les effets sanitaires et faisabilité d'une étude épidémiologique en Ile-de- France.

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
BTEX	benzène, toluène, ethylbenzène, xylènes
CIRC	institut international de recherche sur le cancer
CO ₂	dioxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
HCSF	Haut Conseil de la Santé Publique
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DRASS	Direction régionale de l'action sanitaire et sociale
HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
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 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

