



évaluation de la qualité de l'air intérieur

dans l'école Jules Ferry
à Mayenne

novembre 2012 – juin 2013 – rapport final



sommaire

synthèse	1
introduction	7
air intérieur : polluants prioritaires, valeurs de gestion, niveaux de pollution mesurés	8
les polluants prioritaires à surveiller	8
les valeurs guides et de gestion.....	9
les niveaux de pollution déjà mesurés dans des établissements scolaires	10
méthodologie	15
objectif de la campagne.....	15
périodes de mesure	15
dispositif de mesure	15
les résultats	17
suivi des paramètres de confort et de confinement	19
suivi du formaldéhyde	24
suivi du benzène	25
observation d'une contamination fongique.....	26
préconisations visant à préserver et améliorer la qualité de l'air intérieur.....	27
conclusions et perspectives	33
annexes	34
annexe 1 : Air Pays de la Loire	35
annexe 2 : sources de polluants mesurés.....	36
annexe 3 : effets sanitaires des polluants de l'air intérieur	37
annexe 4 : calcul de l'indice de confinement à partir des mesures de concentration en CO ₂	39
annexe 5 : valeurs de référence de l'air intérieur 2013	40
bibliographie	41
glossaire	42
abréviations	42

contributions

Coordination de l'étude : Laurence Böhm et Alexandre Algoët, Rédaction et exploitation statistique : Alexandre Algoët, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire et Alexandre Algoët, Validation : François Ducroz, Arnaud Rebourts.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2013 pris par le Ministère chargé de l'Écologie.

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 la ville de Mayenne de nous avoir sollicités pour réaliser cette étude d'évaluation de la qualité de l'air intérieur dans un établissement scolaire.

synthèse

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

A la demande de la ville de Mayenne, membre de l'association, Air Pays de la Loire a mis en œuvre en 2012 et 2013 une campagne de mesure de l'air intérieur dans l'école primaire mixte Jules Ferry de Mayenne. Cette étude s'inscrit dans un contexte de prise en compte par la collectivité de la qualité de l'air intérieur comme enjeu de santé publique. La surveillance et la préservation de la qualité de l'air intérieur font en effet l'objet d'orientations et d'actions du Grenelle de l'environnement, du Plan national santé environnement (PNSE 2) et du Plan régional santé environnement (PRSE 2) des Pays de la Loire.

Dans ce cadre, Air Pays de la Loire place aujourd'hui la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans ses problématiques prioritaires. Ainsi, depuis 2008, plusieurs actions concernant la surveillance de l'air intérieur, principalement dans des établissements d'enseignement, ont été engagées :

- une étude expérimentale dans deux établissements d'enseignement nantais (2008-2009) ;
- une participation à un programme national concernant, dans la région des Pays de la Loire, 15 établissements "petite enfance" (2009-2010) ;
- une étude dans la maison éco-performante du Pays des Herbiers (2009-2010), puis en 2011 ;
- une étude régionale dans 4 lycées des Pays de la Loire (2010) ;
- une étude nationale « Indice fongique et indice de confinement » (2010) ;
- une étude exploratoire sur la caractérisation des émissions de formaldéhyde (2011) dans 3 établissements scolaires ligériens ;
- une étude dans l'école maternelle Rivoli de la Roche-sur-Yon avant et après mise en place d'une ventilation mécanique contrôlée (2012).

objectifs → évaluer les niveaux de pollution dans un lieu accueillant de jeunes enfants

L'objectif de ces mesures en air intérieur dans l'école Jules Ferry est **d'évaluer les niveaux de pollution dans un lieu accueillant de jeunes enfants durant deux périodes (hivernale et estivale)** pendant lesquelles les pratiques d'aérations peuvent être différentes. A la demande de la collectivité, le choix de l'école s'est porté sur cet établissement, en raison de sa capacité d'accueil (école la plus importante de Mayenne) et de la mise en évidence de problèmes d'humidité dans certaines salles par les enseignants.

Ainsi, les objectifs sont d'évaluer les niveaux de polluants intérieurs (formaldéhyde et benzène), de confinement (mesure du dioxyde de carbone) et de confort (température et humidité relative) dans deux salles d'enseignement, ainsi que de proposer aux gestionnaires des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs et au confinement.

moyens des mesures de polluants prioritaires et de confinement

Les moyens métrologiques mis en œuvre sont conformes à ceux préconisés dans l'article 6 du **Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012**, avec un suivi du formaldéhyde et du benzène, polluants prioritaires selon l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses) et bénéficiant de valeurs guides (Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011). **Les mesures du formaldéhyde et du benzène ont été réalisées à l'aide de tubes à diffusion passive** (tubes passifs Radiello®) suspendus au plafond de deux salles d'enseignement respectivement de CE1 et CM1, au centre de la pièce.

Le suivi en continu du dioxyde de carbone (CO₂) comme indicateur du confinement, de la température et de l'humidité a été effectué à l'aide d'un enregistreur Q-Track placé sur un meuble, dans les 2 salles d'enseignement.

Dans le cadre de notre étude et sur demande de la collectivité, les mesures ont été réalisées pendant deux semaines distinctes (du lundi au vendredi, en présence des élèves) :

- ✓ période hivernale : S47, du 12 au 16 novembre 2012 ;
- ✓ période estivale : S24, du 10 au 14 juin 2013.

résultats un niveau de confinement ponctuellement élevé et des teneurs en polluants en dessous des valeurs guides

des niveaux de température et humidité relative situés dans la zone de confort

D'après le diagramme de confort hygrothermique (figure ci-dessous), la zone optimale de confort (zone 4) se situe entre 18 et 25°C pour la température et 30 et 70 % pour l'humidité relative. La représentation des niveaux moyens des deux paramètres pour la campagne de mesure met en évidence que **les conditions climatiques des deux pièces se situent dans la zone de confort**. Attention toutefois à la salle de CE1 qui, en période estivale, présente une humidité relative de 70%, propice au développement de bactéries et de microchampignons.

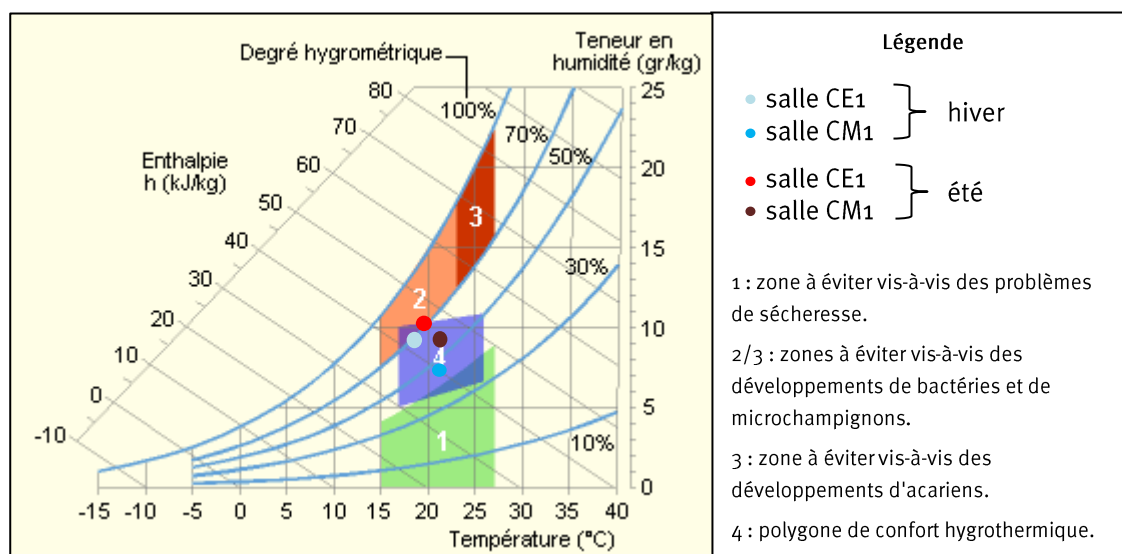
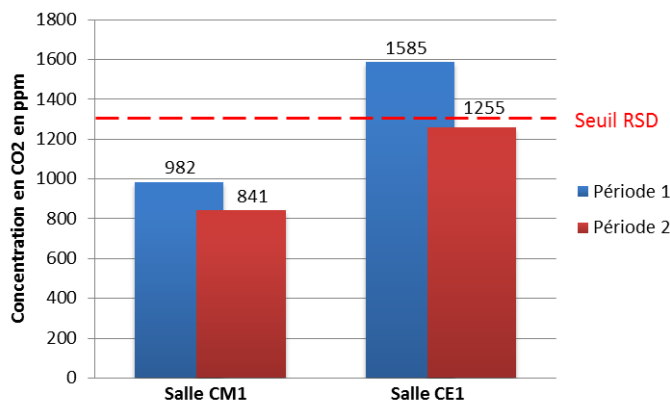


Diagramme de confort hygrothermique

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

un confinement élevé dans la salle d'enseignement de CE1

Témoin du confinement, la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) est un indicateur de la qualité du renouvellement de l'air dans des locaux. La recommandation du règlement sanitaire départemental (RSD) indique de ne pas dépasser 1300 ppm.



Concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les deux salles d'enseignement

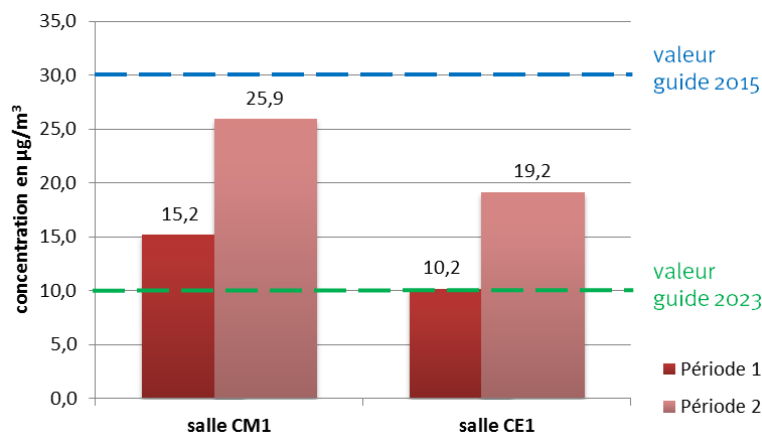
Les résultats des mesures de dioxyde de carbone montrent que les occupants des salles d'enseignement peuvent être exposés pendant plusieurs heures de la journée à des concentrations dépassant le seuil de 1300 ppm préconisé par le Règlement sanitaire départemental (RSD), avec un maximum enregistré de 4066 ppm. Or il a été démontré que la performance des élèves, déclinée en termes d'attention, de temps de réaction, voire d'absentéisme, peut être affectée par une concentration en dioxyde de carbone élevée.

Avec une concentration moyenne mesurée du 12 au 16 novembre 2012 de 1585 ppm, **la salle de CE1 est considérée comme très confinée**. Les niveaux moyens en CO₂ dans la salle de CM1 sont inférieurs au seuil du RSD, mais peuvent le dépasser ponctuellement en période d'occupation des locaux.

La mise en place d'un système de ventilation mécanique, actuellement absent, permettrait un renouvellement d'air et une diminution du niveau de confinement pour les 2 salles étudiées. Une ouverture des ouvrants à chaque intercour augmenterait, à minima, l'aération des locaux.

des teneurs en formaldéhyde en dessous des valeurs guides

Classé comme polluant prioritaire par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses), le formaldéhyde présente, lors de la première phase de mesures, une concentration moyenne de $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CM1 et $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CE1. Lors de la seconde phase de mesures, ces concentrations augmentent dans les salles de CM1 et CE1, avec respectivement des niveaux de $25,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette augmentation est due à une température plus élevée lors de la seconde phase, favorisant les émissions de formaldéhyde.



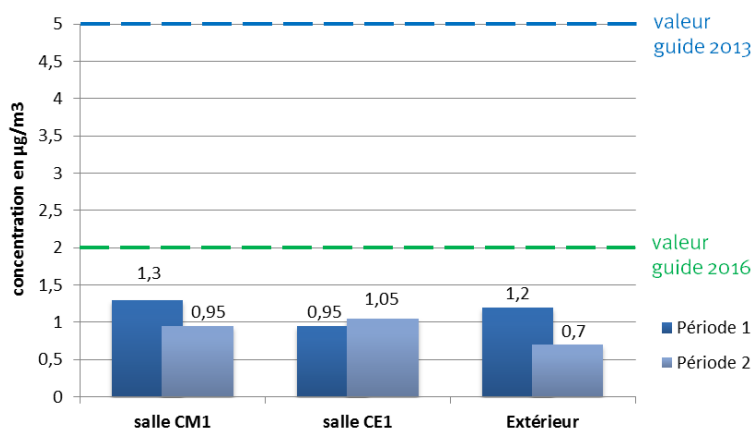
Concentrations moyennes en formaldéhyde dans les deux salles d'enseignement et pendant les deux périodes de mesure

Les valeurs moyennes mesurées en formaldéhyde au sein des salles d'enseignement de l'école Jules Ferry respectent la valeur guide de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2015¹. Elles restent au-dessus de la valeur guide de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à atteindre en 2023.

La concentration moyenne en formaldéhyde devrait évoluer progressivement vers cette valeur guide de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si les moyens d'aération étaient optimisés, et si des matériaux et produits peu émissifs en formaldéhyde (mobilier, produits de construction et décoration) venaient en substitution de l'existant dans les salles d'enseignement dans le cadre de travaux éventuels de rénovation (mesures d'aide à la décision page 27).

des teneurs en benzène en dessous des valeurs guides

Le benzène est également un polluant dont la surveillance est considérée comme prioritaire par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses).



Concentrations moyennes en benzène dans les deux salles d'enseignement et pendant les deux périodes de mesure

Les valeurs moyennes mesurées en benzène au sein des salles d'enseignement de l'école Jules Ferry sont relativement faibles et respectent les valeurs guides de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2013, et $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2016.

¹ Décret no 2011-1727 du 2 décembre 2011

Lors de la première période de mesures la concentration moyenne en benzène est de $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CM1 et de $0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CE1. Lors de la seconde phase de mesures, les niveaux dans la salle de CM1 diminuent de 27%. L'évolution des concentrations mesurées dans cette salle est à rapprocher d'une évolution similaire de la concentration mesurée à l'extérieur. Compte tenu des émissions de benzène plus importantes en période hivernale, ainsi que de conditions météorologiques particulières, les concentrations dans l'air extérieur sont plus importantes en période hivernale. Ceci suggère un import de benzène de l'air extérieur vers l'intérieur de la salle de classe.

La pollution par le benzène à l'extérieur de l'établissement est imputable au trafic routier de la rue Réaumur, qui augmente aux heures de pointe.

Les concentrations moyennes en benzène restent faibles et sont inférieures aux valeurs moyennes enregistrées dans la campagne pilote de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur ($1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) réalisée en 2001 et aux valeurs enregistrées lors des campagnes menées par Air Pays de la Loire dans des établissements scolaires.

une importante contamination fongique observée dans la salle de CE1

Lors de la mise en œuvre des mesures de qualité d'air dans la salle d'enseignement de CE1, une importante contamination fongique a été observée sur les murs de la classe, principalement sur ceux en contact direct avec l'extérieur et sur une surface estimée à plus de 30 m^2 .



Contamination fongique dans la salle d'enseignement de CE1

Cette contamination fongique est à mettre en relation avec un taux d'humidité relative élevé dans cette salle (environ 70%) ainsi qu'à une absence de système spécifique de ventilation. Le renouvellement d'air est réalisé par des grilles d'aération dans les fenêtres (installées en janvier 2013), complétées par une ouverture de la porte et des fenêtres.

Face à ce constat, la ville de Mayenne a entrepris un programme de réfection des peintures dans cette salle de classe en octobre 2013, dans l'ordre suivant :

- les surfaces murales ont été nettoyées avec un nettoyant dégraissant et un concentré fongicide et algicide pour les parties les plus contaminées ;
- une couche de peinture d'impression fongicide a été appliquée ;
- une toile à peindre a ensuite été collée sur le mur ;
- deux couches de peinture vinylique satin ont été appliquées pour les murs, ainsi qu'une peinture laque polyuréthane acrylique pour les boiseries et les radiateurs ;
- enfin la classe est restée bloquée pendant une semaine, avant réutilisation.

La mise en place d'un système de ventilation mécanique est en outre préconisée, celui-ci permettrait une augmentation du renouvellement d'air et une diminution de l'humidité relative de la salle de CE1.

conclusions et perspectives → une qualité de l'air pouvant être améliorée dans la classe de CE1 grâce à la mise en place d'un système de ventilation mécanique

L'étude de la qualité de l'air intérieur dans l'école primaire Jules Ferry a mis en évidence :

- un **niveau de confinement très élevé** à certaines heures de cours dans les salles d'enseignement de CM1 et principalement de CE1, comprenant des dépassements ponctuels du seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental (RSD). La salle de CE1 présente d'ailleurs un dépassement de ce seuil pour la moyenne des mesures réalisées du 12 au 16 novembre 2012 ;
- des **concentrations moyennes en formaldéhyde en dessous de la valeur guide de 30 µg/m³**, appliquée à partir du 1^{er} janvier 2015 pour une exposition long terme (Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011) ;
- des **concentrations moyennes en benzène** relativement faibles dans les salles d'enseignement et **en dessous de la valeur guide de 5 µg/m³**, appliquée depuis le 1^{er} janvier 2013 ;

Une importante contamination fongique a également été observée dans la salle de CE1, sur une surface estimée à plus de 30 m², principalement sur les murs en contact avec l'extérieur. Celle-ci est à mettre en relation avec une humidité relative élevée (environ 70%) et une absence de système de ventilation mécanique. Néanmoins, des actions de remédiation ont été menées par la ville de Mayenne en 2013 (pose de grilles d'aération, travaux de réfection de peinture).

Compte tenu du confinement, de l'humidité relative élevée, et de la présence de moisissures, il est en outre préconisé la mise en place d'un système de ventilation mécanique.

A titre indicatif, en 2012, une étude d'Air Pays de la Loire sur la qualité de l'air intérieur dans l'école Rivoli de la Roche-sur-Yon, avant et après la mise en œuvre d'une ventilation mécanique contrôlée double flux, a mis en évidence une diminution du niveau de confinement de 30% dans la salle de classe, une diminution de 12% de l'humidité relative, ainsi qu'une diminution des concentrations moyennes en formaldéhyde d'un facteur 2.

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

perspectives

Etant donné l'étendue de la contamination fongique observée et l'importance des actions de remédiation menées par la ville de Mayenne, une nouvelle campagne de mesures pourra être envisagée au cours de l'année 2014. Celle-ci permettra de mesurer les effets bénéfiques des actions de remédiation, notamment sur les paramètres de confort, de confinement, et également de juger de l'absence d'une éventuelle contamination fongique.

Dans l'éventualité de la mise en place d'un système de ventilation mécanique, l'école Jules Ferry pourra également faire l'objet d'une campagne de mesures avant et après mise en place de ce système, afin de quantifier les améliorations apportées vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur.

introduction

La ville de Mayenne a sollicité Air Pays de la Loire pour réaliser des mesures de polluants dans l'air intérieur de l'école primaire Jules Ferry à Mayenne. Il s'agit d'une école publique mixte.

L'objectif de ces mesures en air intérieur est d'évaluer les niveaux de pollution dans un lieu accueillant de jeunes enfants durant deux périodes (hivernale et estivale) pendant lesquelles les pratiques d'aération peuvent être différentes.

Ainsi, une première période de mesures a été réalisée du **12 au 16 novembre 2012**, puis une seconde période du **10 au 14 juin 2013**.

Le présent rapport restitue les résultats obtenus lors des deux semaines de campagne de mesures.

air intérieur : polluants prioritaires, valeurs de gestion, niveaux de pollution mesurés

Enjeu prioritaire de santé publique depuis quelques années, la surveillance de la qualité de l'air intérieur fait l'objet d'actions des Plans nationaux santé (PNSE 1 et 2), du Grenelle de l'environnement et des Plans régionaux santé environnement (PRSE 1 et 2) des Pays de la Loire.

Désormais, la surveillance de la qualité de l'air est également une obligation réglementaire, avec obligation de mesures de certains polluants (Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011).

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

- une étude expérimentale dans deux établissements d'enseignement nantais (2008-2009) ;
- une participation à un programme national concernant 15 établissements "petite enfance" (2009-2010) ;
- une étude dans la maison éco-performante du Pays des Herbiers (2009-2010), puis en 2011 ;
- une étude régionale dans 4 lycées des Pays de la Loire (2010) ;
- une étude nationale « Indice fongique et indice de confinement » (2010) ;
- une étude exploratoire sur les émissions de formaldéhyde (2011) ;
- une étude dans l'école maternelle Rivoli de la Roche-sur-Yon avant et après mise en place d'une ventilation mécanique contrôlée (2012).

les polluants prioritaires à surveiller

En réponse à l'enjeu sanitaire représenté par la qualité de l'air intérieur, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a travaillé sur l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) pour des polluants jugés prioritaires. Le principal objectif de ces valeurs est de proposer un cadre de référence afin de protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation et *in fine* d'éliminer, ou de réduire à un niveau minimum, les contaminants ayant un effet néfaste sur la santé humaine et le bien-être.

Un groupe de travail a permis d'identifier une liste de substances pour lesquelles l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur a été jugée prioritaire : **formaldéhyde, benzène, monoxyde de carbone, particules PM10, naphthalène, Phtalate de di (2-ethylhexyle)(DEHP), dioxyde d'azote, acétaldéhyde, trichloréthylène, tétrachloroéthylène et ammoniac** [1].

les valeurs guides et de gestion

les valeurs avec critères sanitaires

Suite au travail de l'Anses, des valeurs guides de qualité de l'air intérieur sont aujourd'hui définies pour 8 substances [2] :

- **formaldéhyde**
- **benzène**
- **monoxyde de carbone**
- **naphtalène**
- **trichloroéthylène**
- **tétrachloroéthylène**
- **dioxyde d'azote**
- **acroléine**

En complément de l'expertise de l'Anses et dans une optique d'aide à la gestion, le Haut Conseil de la Santé publique (HCSP) a publié des valeurs dites « de gestion » prenant en compte ces critères sanitaires tout en les mettant en perspective avec les concentrations techniquement atteignables actuellement. Le HCSP a publié ses recommandations pour le formaldéhyde, le benzène, le tétrachloroéthylène, le naphtalène et le trichloroéthylène.

Tout comme les VGAI, les valeurs de gestion du HCSP sont à retrouver en annexe du présent rapport.

les valeurs réglementaires

Le Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène indique que la "valeur-guide pour l'air intérieur" représente un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine (détail en annexe 3). Les valeurs guides pour le formaldéhyde et le benzène sont indiquées dans le tableau suivant :

Formaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"> • 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2015 ; • 10 $\mu\text{g/m}^{-3}$ pour une exposition de longue à compter du 1^{er} janvier 2023.
Benzène	<ul style="list-style-type: none"> • 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2013 ; • 2 $\mu\text{g/m}^{-3}$ pour une exposition de longue à compter du 1^{er} janvier 2016.

Tableau 1 : valeurs guides pour le formaldéhyde et benzène - article 1 du décret n°2011-1727

Le Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public précise que des **investigations complémentaires doivent être menées dans les pièces investiguées lorsque la concentration en formaldéhyde dépasse 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour le benzène.**

En relation avec la parution de valeurs réglementaires et de valeurs avec critères sanitaires, deux guides de gestion de la qualité de l'air intérieur ont été publiés par le ministère de la santé en 2010, dont un **guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP)** [3], destiné aux gestionnaires de ces établissements. Celui-ci constitue une aide opérationnelle aux responsables d'ERP d'une part, à qui il doit permettre d'anticiper au mieux la mise en œuvre d'éventuelles analyses dans l'air intérieur et d'en gérer les résultats. Et d'autre part, aux personnes chargées de la qualité de l'air intérieur au sein de ces établissements, afin de leur apporter des éléments concrets pour la prévention et la gestion de la qualité de l'air intérieur.

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 de la campagne de mesures réalisée dans l'école Jules Ferry de Mayenne.

étude de l'OQAI sur 9 écoles [4]

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

	Mesures en intérieur		Mesures en extérieur	
	Moyenne (1 semaine) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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 2 : concentrations moyennes et maximales dans les écoles mesurées lors de la campagne pilote de l'OQAI [4]

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

campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air intérieur (2009-2011) dans les crèches et les écoles [6]

Afin de définir le dispositif de surveillance de la qualité de l'air intérieur relatif aux valeurs réglementaires, une campagne pilote financée par le ministère en charge de l'Écologie a été conduite dans 310 établissements sur la période 2009-2011. Cette campagne, à laquelle a participé Air Pays de la Loire [7], a permis de valider les protocoles de surveillance et les modalités de gestion qui seront mis en œuvre au niveau national : polluants recherchés, nombre de prélèvements selon la configuration des locaux, recherche des causes de pollution ou encore mesures correctives.

Les principaux résultats présentent une **situation excellente sur tous les paramètres pour 31% des établissements** (indice de confinement inférieur à 3, concentration annuelle inférieure à 30 µg/m³ pour le formaldéhyde et inférieure à 2 µg/m³ pour le benzène).

Plus précisément, voici les résultats concernant les mesures de formaldéhyde et de benzène :

concentration moyenne en formaldéhyde (µg/m ³)	proportions d'établissements	concentration moyenne en benzène (µg/m ³)	proportions d'établissements
0 à 30	89 %	0 à 2	43 %
30 à 50	9 %	2 à 5	56 %
50 à 100	2 %	5 à 10	1 %
supérieur à 100	0 %	supérieur à 10	0,5 %

Tableau 3 : proportions des concentrations mesurées en formaldéhyde et benzène lors de campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air intérieur

Concernant le confinement, 72 % des établissements ont un confinement nul à moyen (indice compris entre 0 et 3) et seulement 2 % présentent un confinement extrême (indice supérieur à 5).

Le calcul de l'indice de confinement est à retrouver en annexe 4.

études réalisées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air

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 Air Rhône-Alpes.

campagne de mesure dans 111 écoles à Strasbourg réalisée par l'ASPA (2005) [9]

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 du 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) [10]

En 2005, L'ASPA a procédé à des mesures sur 14 groupes scolaires et sur d'autres sites (lieux culturels, bureaux, crèches, parkings souterrains). 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 [10]

campagne d'Air Rhône Alpes dans 22 écoles (2007) [11]

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement, Air 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.

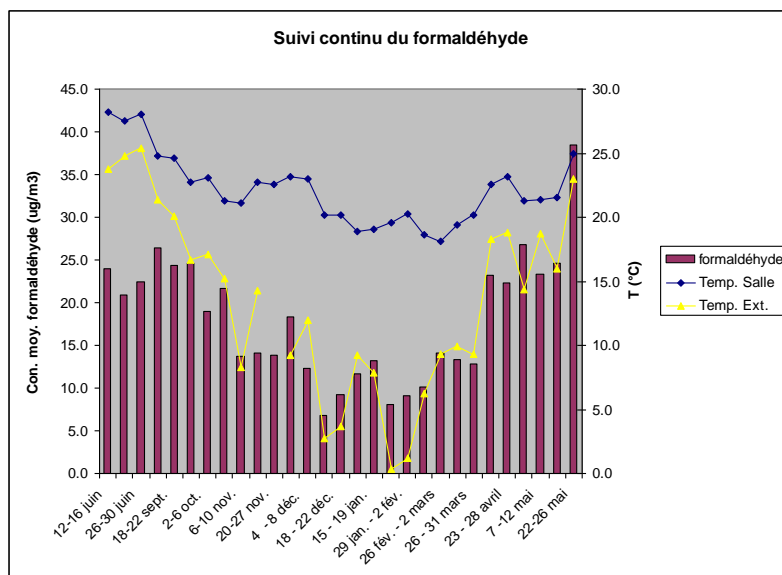
Pendant quatre périodes de mesure (juin, octobre, décembre, mars), les mesures ont été réalisées dans tous les établissements du lundi matin au vendredi après-midi (4,5 jours).

	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'Air Rhône-Alpes dans 28 écoles [11]

En complément, Air 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. Air 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 Air Rhône-Alpes)

participation d'Air Pays de la Loire à la campagne nationale dans 15 école et crèches (2009) [12]

Dans le cadre des travaux de mise en place du décret n° 2012-14², Air Pays de la Loire a participé à la campagne pilote nationale mise en œuvre en 2009, à l'initiative du ministère en charge de l'Écologie, dans 300 écoles et crèches en France via une première vague de surveillance en 2009/2010, puis une seconde en 2010/2011.

Air Pays de La Loire a mis en œuvre le programme au niveau des Pays de la Loire, concernant 15 établissements au total : 3 crèches, 7 écoles maternelles et 5 écoles élémentaires. La campagne a été lancée le 14 septembre 2009 et s'est achevée au printemps 2010. Elle visait la surveillance du formaldéhyde et du benzène selon les protocoles nationaux de surveillance dans des lieux clos ouverts au public (LCQSA³-CSTB⁴) et celle du confinement par la mesure du dioxyde de carbone. Les conclusions de l'étude étaient les suivantes :

- 46% des établissements expérimentés (26 % au niveau national) présentent une très bonne situation sur tous les paramètres : indice de confinement inférieur à 3, concentration annuelle inférieure à 30 µg/m³ pour le formaldéhyde et inférieure à 2 µg/m³ pour le benzène ;
- 20% des établissements (31 % au niveau national) présentent une situation médiocre sur au moins un des trois paramètres : indice de confinement supérieur à 3, concentration annuelle supérieure à 50 µg/m³ pour le formaldéhyde et supérieure à 5 µg/m³ pour le benzène ;
- 34 % des établissements (47 % au niveau national) présentent une situation intermédiaire.
- la conclusion générale des pré-diagnostic a mis en évidence que pour 80 % des établissements, il y avait absence de système spécifique de ventilation impliquant que le renouvellement d'air soit assuré manuellement par ouverture des fenêtres et des portes.

Concernant particulièrement l'école des Pyramides de La Roche-sur-Yon, des mesures ont été réalisées dans quatre salles de classe dont les résultats indiquaient :

- des niveaux moyens en formaldéhyde en dessous de la valeur guide de 30 µg/m³ à atteindre en 2015 et proche de la valeur guide de 10 µg/m³ à atteindre en 2023.
- des niveaux moyens en benzène en dessous de la valeur guide de 5 µg/m³ à atteindre en 2013.
- pour deux pièces, l'indice de confinement ICONE était nul et égal à 2, signifiant un renouvellement de l'air correct dans les pièces instrumentées.

Dans deux pièces de l'école des Pyramides, la VMC double flux a été arrêtée à titre expérimental afin d'estimer l'influence de la ventilation sur les niveaux de polluants. L'expérience a montré que dans les pièces avec la VMC en fonctionnement, l'indice de confinement était nul, les concentrations en formaldéhyde les plus faibles (-40%) et les niveaux de benzène plus élevés (+30%), avec une influence de la concentration extérieure en benzène sur les niveaux intérieurs (influence du trafic routier).

Le fonctionnement de système de ventilation type VMC double flux permet donc d'avoir peu ou pas de confinement, des concentrations en formaldéhyde moins importantes dans les salles de classe. Par contre, des niveaux plus importants en benzène peuvent être enregistrés du fait de l'insufflation d'air extérieur dans les pièces, dont la concentration s'ajoute aux niveaux intérieurs.

² Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.

³ Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air

⁴ Centre scientifique et technique du bâtiment

méthodologie

objectif de la campagne

L'objectif de cette étude est **d'évaluer la qualité de l'air intérieur dans l'école primaire Jules Ferry de Mayenne**. Cette évaluation est réalisée par mesure des niveaux de polluants intérieurs (aldéhydes, BTEX), d'indicateurs de confinement (mesure du dioxyde de carbone) et d'indicateurs de confort (température et humidité relative).

A la demande de la collectivité, le choix de l'école s'est porté sur cet établissement, en raison de sa capacité d'accueil (école la plus importante de Mayenne) et de la mise en évidence de problèmes d'humidité dans certaines salles par les enseignants.

Le suivi de la qualité de l'air intérieur a été réalisé lors de 2 saisons contrastées (hiver, été) dans deux salles du même établissement selon les protocoles nationaux (protocoles de surveillance du formaldéhyde et du benzène LCSQA-CSTB, protocole de surveillance du confinement du CSTB) et en accord avec les préconisations de l'article 6 du Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012.

Les résultats obtenus ont été associés avec des sources éventuelles de pollution afin de pouvoir, dans la mesure du possible, proposer aux gestionnaires, des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs.

périodes de mesure

Les mesures se sont déroulées en présence des enfants, lors de 2 périodes d'une semaine. Compte tenu de la variabilité saisonnière des émissions de formaldéhyde (plus élevées durant la période estivale), ce polluant a été mesuré lors de deux saisons climatiques contrastées : périodes dites « été » et « hiver », lors des séquences de mesure suivantes (idem pour le benzène) :

⇨ **"hiver" : lundi 12 au vendredi 16 novembre 2012 ;**

⇨ **"été" : lundi 10 au vendredi 14 juin 2013.**

dispositif de mesure

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



Photos 1 et 2 : dispositif de mesure à l'intérieur et à l'extérieur des locaux d'enseignement

mesure des composés organiques volatils (COV)

La mesure des COV (aldéhydes et BTEX) se fait de manière hebdomadaire grâce à des tubes passifs Radiello®. Le dispositif de prélèvement passif est placé, au centre de la pièce et au moins à une distance d'un mètre des parois ou du plafond de la pièce. Il est placé à l'écart des zones de la pièce exposées à des courants d'air ou proches des sources de chaleur. Ce dispositif permet d'appréhender une exposition moyenne aux polluants. En parallèle, une mesure de concentration extérieure en benzène est effectuée.



Photos 3 et 4 : dispositif de mesure du formaldéhyde et du benzène dans les locaux d'enseignement

suivi du dioxyde de carbone, température, humidité

L'appareil Q-Track (photo 5) mesure simultanément le dioxyde de carbone (indicateur de confinement), la température et l'humidité avec une seule sonde. L'appareil fournit des mesures en temps réel, enregistre des données sur de longues périodes par pas de temps programmés (10 minutes).



Photos 5 et 6 : appareil de mesure du dioxyde de carbone, de l'humidité relative et de la température dans les locaux d'enseignement

pré-diagnostic

Un questionnaire de pré-diagnostic de protocole LCSQA-CSTB, à l'origine des modalités de surveillance du Décret n° 2012-14 et utilisé lors de la campagne nationale a été complété en collaboration avec la direction de l'établissement, afin de pouvoir associer les résultats obtenus avec des sources éventuelles de pollution et dans la mesure du possible, proposer aux gestionnaires, des mesures de réduction de l'exposition aux polluants intérieurs.

les résultats

Ce rapport présente les résultats de la campagne de mesure de l'air intérieur menée dans l'école primaire mixte Jules Ferry de Mayenne concernant :

- le suivi des paramètres de confort et de confinement ;
- le suivi des Composés organiques volatils (aldéhydes et BTEX) ;
- l'observation d'une contamination fongique ;
- l'aide à la décision sur le choix des produits de construction et décoration.

Dans la suite du présent rapport, la dénomination suivante des locaux d'enseignement sera appliquée :

⇨ **Salle CM1 :**

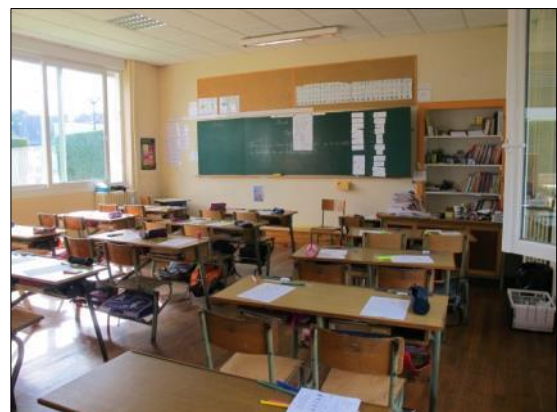
Salle d'enseignement de niveau CM1 située dans le bâtiment principal. Elle accueille actuellement 31 élèves pendant les heures d'enseignement. Ce bâtiment date du début du XXème siècle.



Photos 7 et 8 : vue extérieure et intérieure de la salle d'enseignement CM1

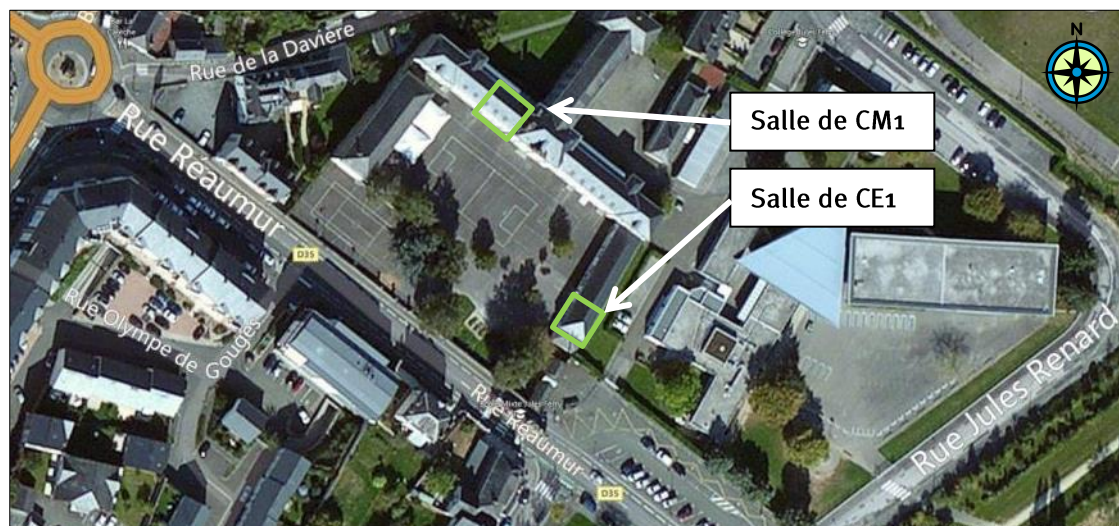
⇨ **Salle CE1 :**

Salle d'enseignement de niveau CE1 située dans un bâtiment mitoyen à l'édifice principal, construit en 1956. Elle accueille actuellement 27 élèves pendant les heures d'enseignement.



Photos 9 et 10 : vue extérieure et intérieure de la salle d'enseignement CE1

Situation des salles instrumentées par rapport aux voies de circulation alentours :



suivi des paramètres de confort et de confinement

suivi des paramètres de confort

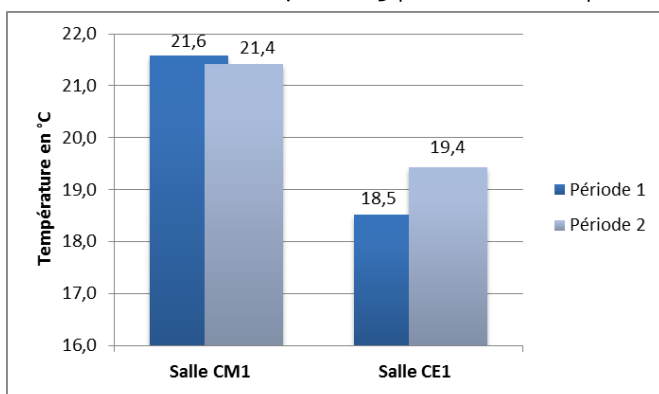
La température (T°) et l'humidité relative (HR) font partie des paramètres de confort. Ils ont été mesurés en continu avec des pas de temps de 10 minutes afin d'estimer le niveau de confort dans les salles instrumentées.

Une représentation graphique de l'évolution des températures et humidité relatives moyennes lors de la semaine du 12 au 16 novembre (période 1), et la semaine du 10 au 14 juin (période 2), permet de visualiser l'évolution des paramètres de confort.

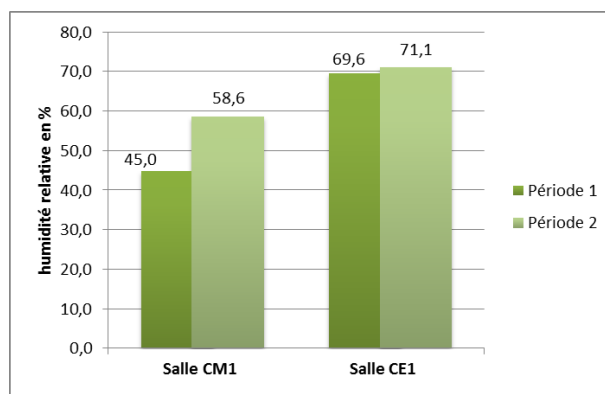
Pour des raisons de représentativité des résultats **les données issues des mercredis ne sont pas prises en compte dans le calcul des moyennes**, étant donné qu'il n'y a pas d'enseignement ces jours et que les locaux sont inoccupés :

→ mercredi 14 novembre 2012 pour la première période de mesures ;

→ mercredi 12 juin 2013 pour la seconde période de mesures.



Graphique 2 : Température moyenne enregistrée lors des deux périodes de mesure



Graphique 3 : humidité relative moyenne enregistrée lors des deux périodes de mesure

L'évolution de la température moyenne à l'intérieur des salles d'enseignement entre novembre et juin met en évidence une augmentation de $0,9^{\circ}\text{C}$ entre les deux périodes de mesure dans la salle de CE1, et une diminution de $0,2^{\circ}\text{C}$ dans la salle de CM1. L'humidité relative, augmente lors de la seconde période de mesure, particulièrement dans la salle de CM1 où l'on observe une augmentation de 13,6%.

D'après le diagramme de confort hygrothermique⁵ (figure ci-dessous), la zone optimale de confort se situe entre 18 et 25°C pour la température et 30 et 70 % pour l'humidité relative. La représentation des niveaux moyens des deux paramètres, pour les 2 périodes de mesures, met en évidence que les conditions climatiques des salles d'enseignement de CM1 et de CE1 se situent dans la zone optimale de confort. Attention toutefois à la salle de CE1 qui se situe également en bordure de zone 2, cela étant dû à une humidité relative élevée (environ 70%).

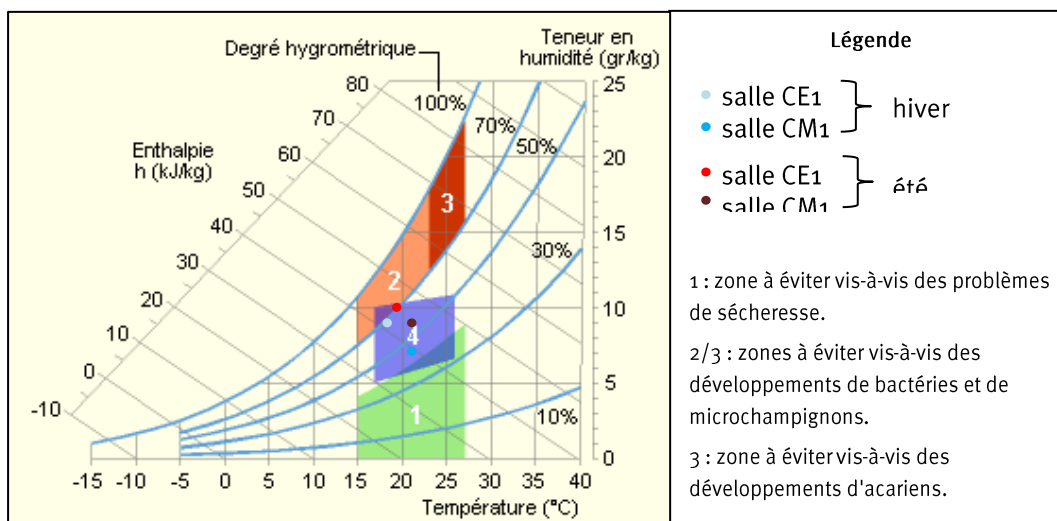
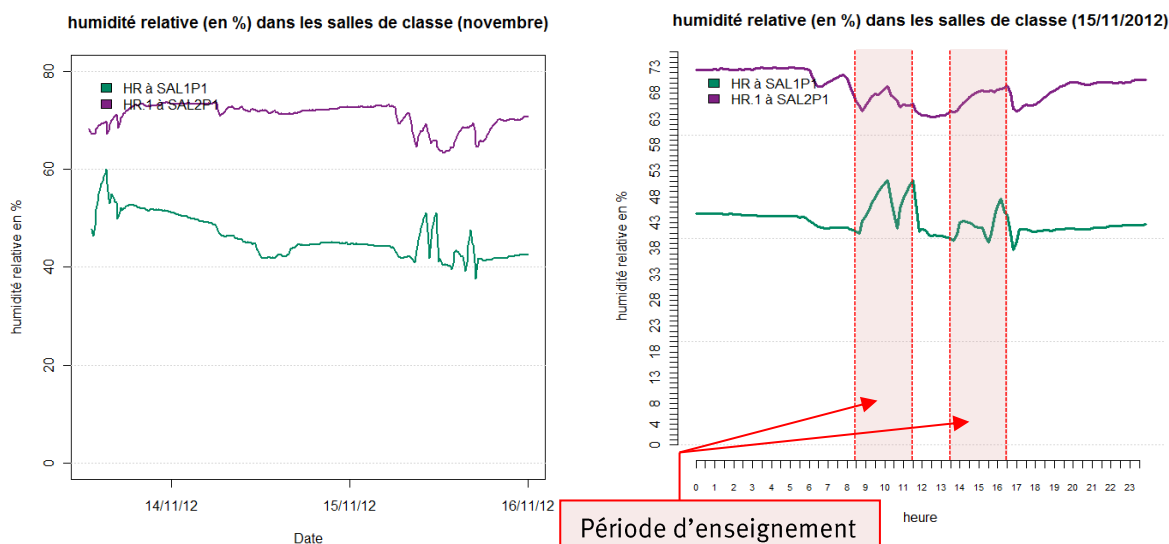


Figure 1 : diagramme de confort hygrothermique

⁵ ISELT P., ARNDT U., CAUCHEPIN J.L, *Manuel de l'humidification de l'air*, 1997 - 240 p., Paris

D'une manière générale, la salle de CM1 présente une température globalement plus élevée que la salle de CE1, avec un maximum à 26,7°C le 15 novembre 2012 (1^{ère} période de mesures). La salle de CE1 présente quant à elle une humidité relative plus importante, avec un maximum à 77,5% le 13 juin 2013 (2nde période de mesures). Les valeurs maximales en température et humidité relative sont défavorables au bien-être des occupants des salles de cours. Une humidité relative trop importante peut notamment être à l'origine de relargage plus important de polluants issus des matériaux et des conditions favorisant le développement fongique. Dans le diagramme ci-dessus, la salle de CE1 se trouve en bordure de zone 2, déconseillée vis-à-vis du développement de bactéries et de microchampignons.

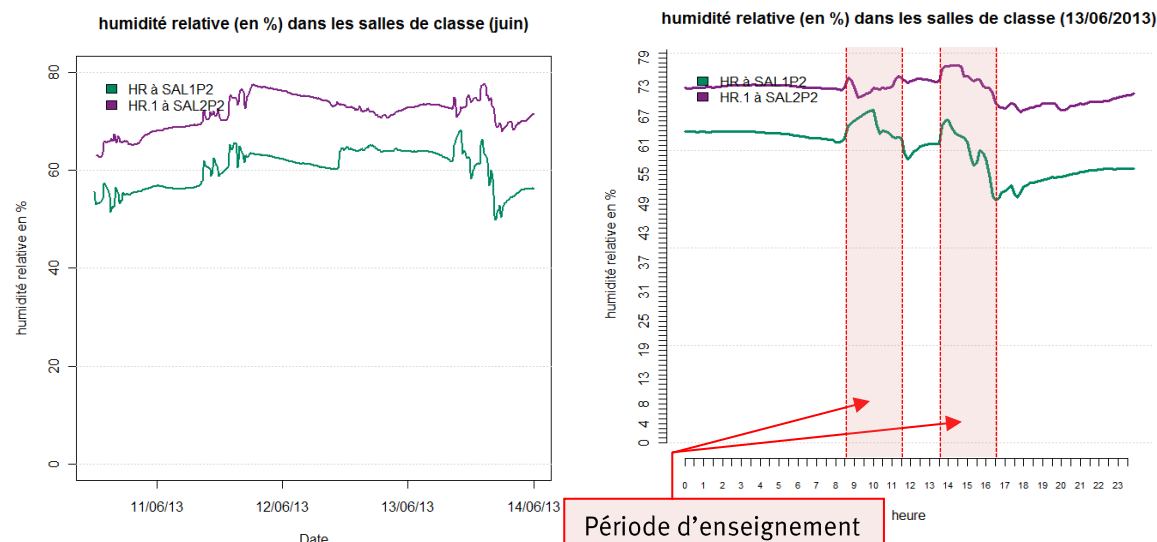
Concernant l'humidité relative, la représentation graphique de celle-ci sur une semaine montre que dans les salles d'enseignement celle-ci augmente en période d'occupation des élèves (graphiques 4 à 7).



Graphique 4 et Graphique 5 : profil temporel de l'humidité relative aux heures d'enseignement pendant la première semaine de mesures (12 au 16 novembre 2012) et sur une journée (15 novembre 2012)

SAL1P1 : salle de CM1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)

SAL2P1 : salle de CE1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)



Graphique 6 et Graphique 7 : profil temporel de l'humidité relative aux heures d'enseignement pendant la seconde semaine de mesures (10 au 14 juin 2013) et sur une journée (13 juin 2013)

SAL1P2 : salle de CM1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)

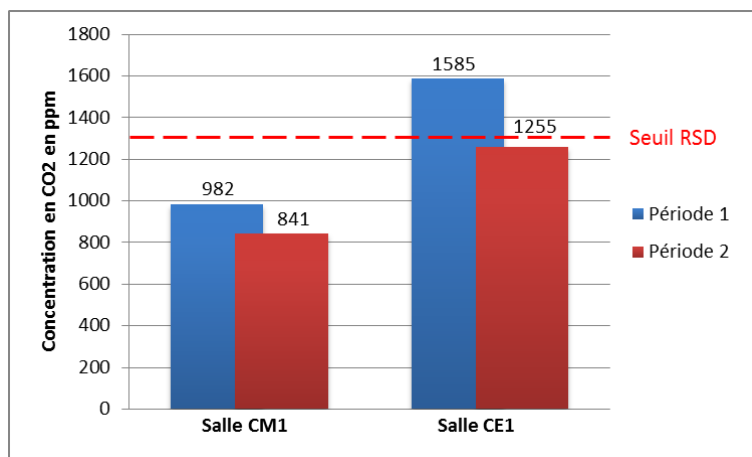
SAL2P2 : salle de CE1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)

Sachant que la zone optimale de confort se situe entre 18 et 25°C pour la température et 30 et 70% pour l'humidité relative, il apparaît que la salle de CE1 se situe ponctuellement hors de cette zone de confort, avec une humidité relative proche de 70% voire supérieure en période hivernale, significatif d'une atmosphère trop humide dans cette salle d'enseignement.

suivi des paramètres de confinement

Témoin du confinement, la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) est un indicateur de la qualité du renouvellement de l'air dans des locaux. La recommandation du règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser 1300 ppm. Il a été démontré que la performance des élèves, déclinée en termes de temps de réaction, absentéisme ou performance mentale, peut être affectée par une concentration en dioxyde de carbone élevée.

Le confinement a été mesuré dans les salles de classe instrumentées. Les concentrations moyennes enregistrées dans les deux salles de l'école sont présentées sur le graphique 8. Comme dans le cas du calcul des paramètres de confort, les données issues des mercredis ne sont pas prises en compte dans le calcul des moyennes.



Graphique 8 : concentrations moyennes en dioxyde de carbone dans les deux salles d'enseignement

Dans la salle de CM1, la concentration moyenne en dioxyde de carbone ne dépasse pas le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm. En revanche, les concentrations dans la salle de CE1 sont plus élevées, lors de la première phase de mesures elles dépassent même le seuil de 1300 ppm. Il est à noter que ces valeurs moyennes prennent en compte les périodes d'inoccupation des salles de classe, notamment les nuits.

Des dépassements ponctuels du seuil du règlement sanitaire départemental ont été enregistrés dans les salles de classe, atteignant des niveaux très élevés : la concentration maximale enregistrée est de 4066 ppm dans la salle de CE1 lors de la première période de mesure, le 13 novembre 2012. Lors de la seconde période de mesure, la concentration maximale enregistrée est de 3987 ppm, également dans la salle de classe de CE1, le 11 juin 2013.

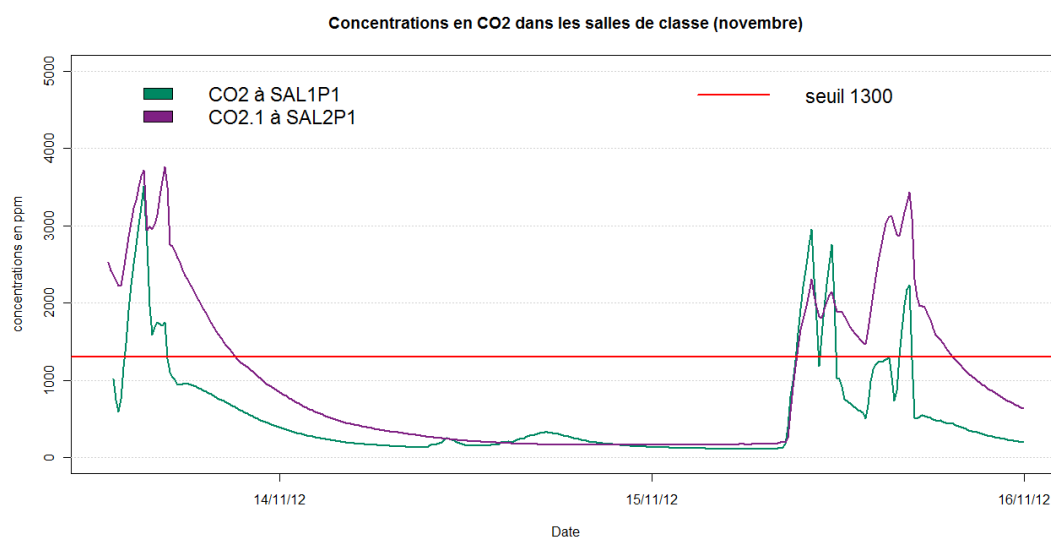
Les concentrations de dioxyde de carbone mesurées sont également traduites à travers l'indice ICONÉ, développé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), qui permet de qualifier le confinement d'une pièce d'un établissement scolaire.

		Indice calculé	Nature du confinement
Classe de CM1	Période 1 : hiver	4	confinement très élevé
	Période 2 : été	3	confinement élevé
Classe de CE1	Période 1 : hiver	5	confinement extrême
	Période 2 : été	4	confinement très élevé

Le CSTB préconise les recommandations suivantes en cas de confinement très élevé :

Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant la période d'occupation.

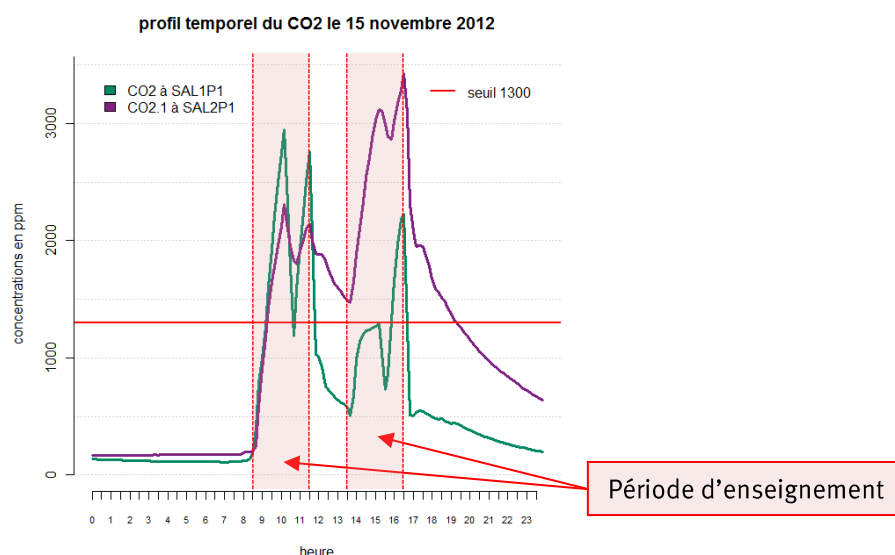
Les figures suivantes présentent l'évolution des concentrations en CO₂ lors de la première période de mesures (12 au 16 novembre 2012) :



Graphique 9 : profil temporel de la concentration en CO₂ aux heures d'enseignement pendant la première semaine de mesures (12 au 16 novembre 2012)

SAL1P1 : salle de CM1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)

SAL2P1 : salle de CE1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)

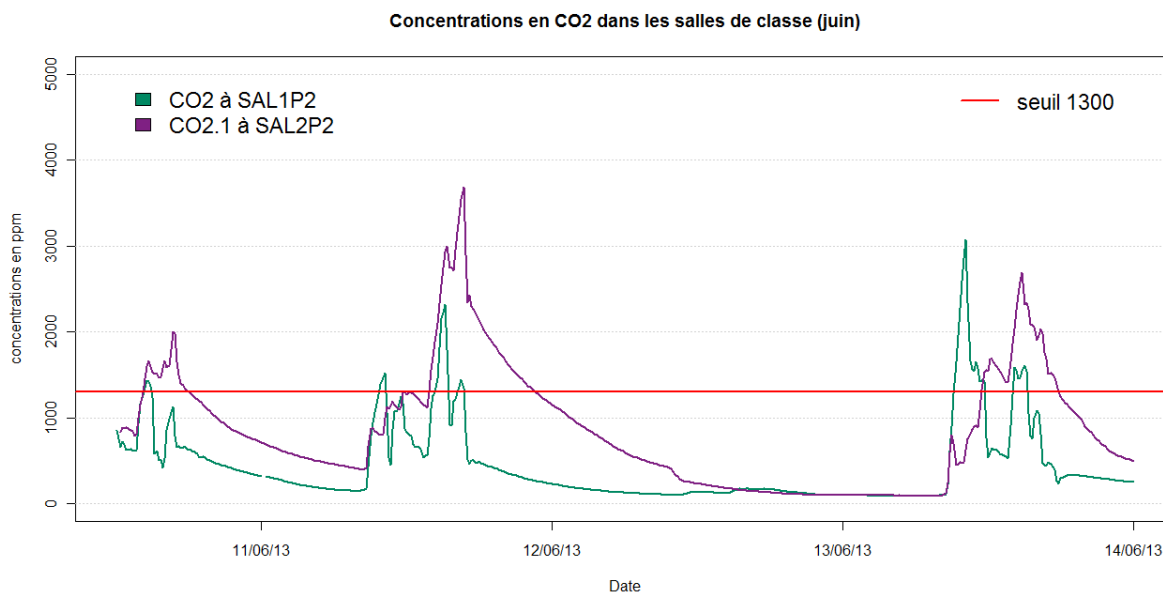


Graphique 10 : profil temporel de la concentration en CO₂ sur une journée (15 novembre 2012)

SAL1P1 : salle de CM1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)

SAL2P1 : salle de CE1 pendant la 1^{ère} période de mesures (12 au 16 novembre 2012)

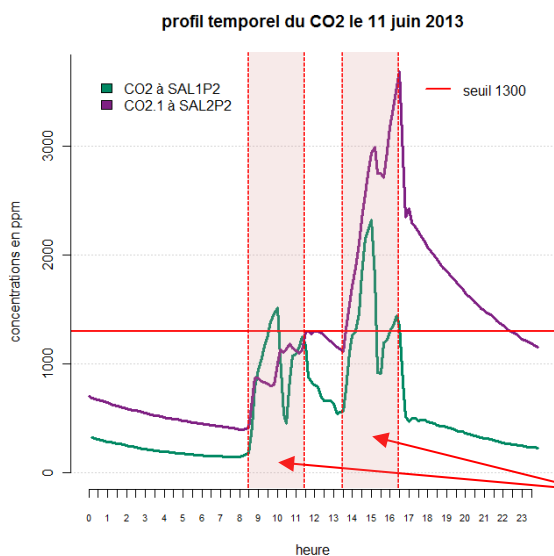
Lors de la seconde période de mesure (10 au 14 juin 2013), des dépassements ponctuels de seuil de 1300 ppm sont observés pendant les périodes d'enseignement :



Graphique 11 : profil temporel de la concentration en CO₂ pendant la seconde semaine de mesures (10 au 14 juin 2013)

SAL1P2 : salle de CM1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)

SAL2P2 : salle de CE1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)



Graphique 12 : profil temporel de la concentration en CO₂ sur une journée (11 juin 2013)

SAL1P2 : salle de CM1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)

SAL2P2 : salle de CE1 pendant la 2nde période de mesures (10 au 14 juin 2013)

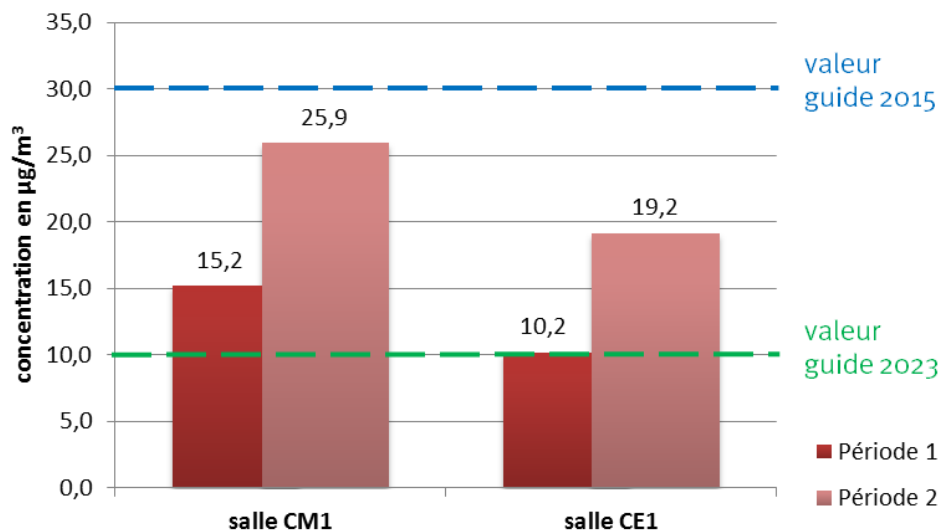
Période d'enseignement

L'observation des profils temporels de la concentration en CO₂ dans l'air intérieur met en évidence l'influence de la présence humaine et du faible renouvellement d'air sur la variation des concentrations. Le graphique ci-dessus présente notamment une augmentation continue de la concentration en CO₂ pendant les périodes d'enseignement, et une diminution immédiate des niveaux dès la fin de l'occupation des locaux.

Sachant que la recommandation du règlement sanitaire départemental (RSD) indique de ne pas dépasser un seuil en CO₂ de 1300 ppm, il apparaît que la salle de CE1 se situe fréquemment au-delà de cette valeur (en moyenne 47% du temps mesuré), significatif **d'une atmosphère très confinée dans cette salle d'enseignement**. Cette observation est confirmée par le calcul de l'indice de confinement, égal à 5 (confinement extrême).

suivi du formaldéhyde

Les résultats des concentrations moyennes en formaldéhyde à l'intérieur des salles de classe sont présentés dans la figure suivante :



Graphique 13 : concentrations moyennes en formaldéhyde dans les deux salles d'enseignement et pendant les deux périodes de mesure

Classé comme polluant prioritaire par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses), le formaldéhyde présente, lors de la première phase de mesures, une concentration moyenne de 15,2 µg/m³ dans la salle de CM1 et 10,2 µg/m³ dans la salle de CE1. Lors de la seconde phase de mesures, ces concentrations augmentent dans les salles de CM1 et CE1, avec respectivement des niveaux de 25,9 µg/m³ et 19,2 µg/m³.

En comparaison des valeurs moyennes enregistrées dans l'étude pilote de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (38,4 µg/m³) et dans d'autres études menées par Air pays de la Loire dans des établissements scolaires (étude de 2 établissements scolaires (32,5 µg/m³) et étude pilote dans 15 écoles et crèches (jusqu'à 42 µg/m³)), les concentrations moyennes en formaldéhyde mesurées dans l'école Jules Ferry de Mayenne sont donc plus faibles.

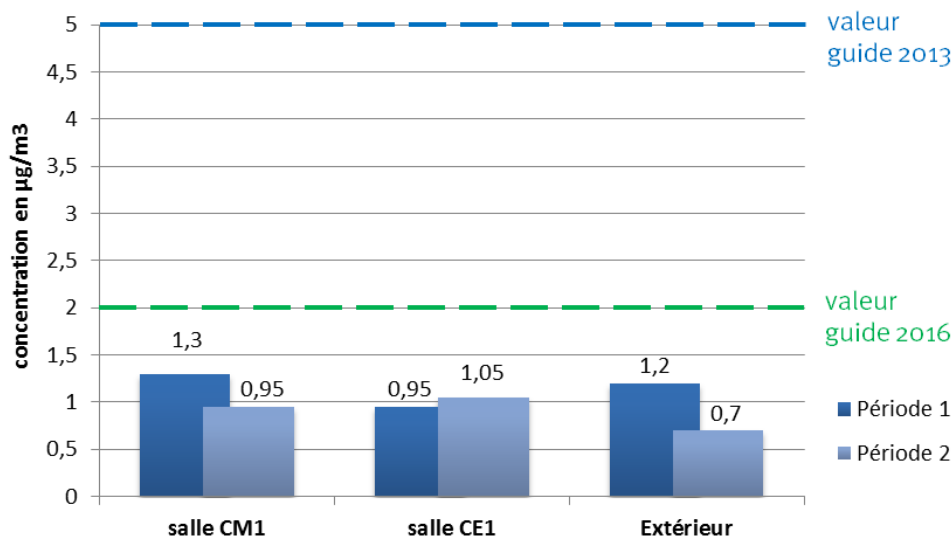
comparaison aux valeurs guides air intérieur

Pendant les 2 périodes de mesures, la concentration en formaldéhyde dans les deux salles d'enseignement n'a pas dépassé la valeur guide de 30 µg/m³, valeur appliquée à compter du 1^{er} janvier 2015 pour une exposition long terme. Néanmoins le niveau moyen apparaît supérieur à la valeur guide de 10 µg/m³ à compter du 1^{er} janvier 2023, avec un facteur 2 dans la salle de CE1 pendant la période estivale (seconde phase de mesures).

Le niveau moyen en formaldéhyde devrait évoluer progressivement vers cette valeur guide de 10 µg/m³ si des matériaux et produits peu émissifs en formaldéhyde (mobilier, produits de construction et décoration) étaient introduits dans la salle de classe dans le cadre de travaux de rénovation (aide à la décision page 27). Il en est de même pour le choix de produits d'entretien peu émissifs en formaldéhyde.

suivi du benzène

Les résultats des concentrations moyennes en benzène dans les salles de classe et à l'extérieur de l'école sont représentés sur le graphique 14 :



Graphique 14 : concentrations moyennes en benzène dans les deux salles d'enseignement et pendant les deux périodes de mesure

Les valeurs moyennes mesurées en benzène au sein des salles d'enseignement de l'école Jules Ferry sont relativement faibles et respectent les valeurs guides de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2013, et $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2016.

Lors de la première période de mesures la concentration moyenne en benzène est de $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CM1 et de $0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la salle de CE1. Lors de la seconde phase de mesures, les niveaux dans la salle de CM1 diminuent de 27%. L'évolution des concentrations mesurées dans cette salle est à rapprocher d'une évolution similaire de la concentration mesurée à l'extérieur. Compte tenu des émissions de benzène plus importantes en période hivernale, ainsi que de conditions météorologiques particulières, les concentrations dans l'air extérieur sont plus importantes en période hivernale. Ceci suggère un import de benzène de l'air extérieur vers l'intérieur de la salle de classe.

Compte tenu du confinement plus important, la salle de classe du CE1 est moins sujette à cette influence.

La pollution par le benzène à l'extérieur de l'établissement est imputable au trafic routier de la rue Réaumur, qui peut être relativement important aux heures de pointe.

Les concentrations moyennes en benzène sont inférieures aux valeurs moyennes enregistrées dans la campagne pilote de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur ($1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) réalisée en 2001 et aux valeurs enregistrées lors des campagnes menées par Air Pays de la Loire dans des établissements scolaires.

comparaison aux valeurs guides air intérieur

Les concentrations moyennes mesurées au sein des salles de classe sont inférieures d'un facteur 5 à la valeur guide de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2013, et également inférieure à la valeur guide de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme à compter du 1^{er} janvier 2016.

observation d'une contamination fongique

constatation lors des mesures

Lors de la mise en œuvre des mesures de qualité d'air dans la salle d'enseignement de CE1, une importante contamination fongique a été observée sur les murs de la classe, principalement sur ceux en contact direct avec l'extérieur et sur une surface estimée à plus de 30 m².



Photo 11 : contamination fongique sur le mur de la salle d'enseignement de CE1 (10/06/2013)



Photo 12 : contamination fongique sur le mur de la salle d'enseignement de CE1 (10/06/2013)

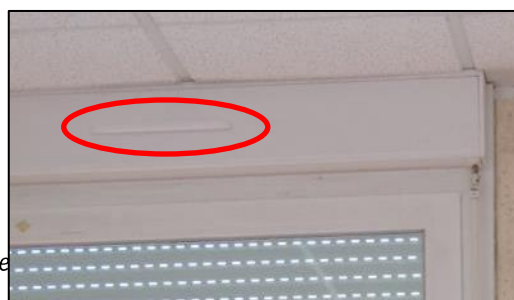
Cette contamination fongique est à mettre en relation avec un taux d'humidité relative élevé dans cette salle (cf. « suivi des paramètres de confort », page 19) ainsi qu'à une absence de système spécifique de ventilation.

actions de remédiation menées par la ville de Mayenne

Suite à la constatation d'une importante contamination fongique, la ville de Mayenne a entrepris différentes actions de remédiation.

En janvier 2013, soit entre les deux phases de mesures de qualité de l'air par Air Pays de la Loire, des grilles d'aération ont été mises en place. Bien que cette action ait été réalisée entre les deux phases de mesure, l'impact sur la contamination fongique n'a néanmoins pas pu être apprécié sur cette échelle de temps.

Photo 13 : grille d'aération installée sur une fenêtre de la salle d'enseignement de CE1



En complément, un programme de réfection des peintures a été entrepris dans cette salle de classe en octobre 2013, soit après la phase de mesures estivales, dans l'ordre suivant :

- ⇨ les surfaces murales ont été nettoyées avec un nettoyant dégraissant et un concentré fongicide et algicide pour les parties les plus contaminées ;
- ⇨ une couche de peinture d'impression fongicide a été appliquée ;
- ⇨ une toile à peindre a ensuite été collée sur le mur ;
- ⇨ deux couches de peinture vinylique satin ont été appliquées pour les murs, ainsi qu'une peinture laque polyuréthane acrylique pour les boiseries et les radiateurs ;
- ⇨ enfin la classe est restée fermée pendant une semaine, avant réutilisation.

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

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

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

Dans un second temps, des préconisations concernant l'école Jules Ferry seront apportées à la perspective des conclusions issues de l'analyse des résultats des mesures.

contexte réglementaire : étiquetage obligatoire des produits de construction

La lutte contre la pollution de l'air intérieur et extérieur est un des objectifs affichés de la loi n° 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement et du PNSE 2. L'article 40 de la loi propose : « En ce qui concerne l'air intérieur, il est prévu de soumettre les produits de construction et d'ameublement ainsi que les revêtements muraux et de sol, les peintures et vernis et l'ensemble des produits ayant pour objet ou pour effet d'émettre des substances dans l'air ambiant à un étiquetage obligatoire à partir du 1^{er} janvier 2012, notamment sur leurs émissions et contenus en polluants volatils, et d'interdire dans ces produits les substances classées cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction de catégories 1 et 2 (CMR 1 et CMR 2) au sens de la réglementation européenne».

L'article 180 de la loi Grenelle 2 précise au niveau de l'Article L. 221-10 : « Les produits de construction et d'ameublement ainsi que les revêtements muraux et de sol, les peintures et vernis qui émettent des substances dans l'air ambiant sont soumis à une obligation d'étiquetage des polluants volatils à partir du 1^{er} janvier 2012 », traduit au niveau du **Décret 2011-321 du 23 mars 2011** relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.

Ce décret impose aux fabricants, importateurs, distributeurs de produits de construction et de décoration, entreprises de construction, acheteurs de tels produits, d'indiquer sur une étiquette placée sur le produit, ses caractéristiques d'émission en substances volatiles polluantes. Cette obligation est entrée en vigueur :

- pour les produits mis à disposition sur le marché à compter du 1^{er} janvier 2012 : 1^{er} janvier 2012 ;
- pour les produits mis à disposition sur le marché avant le 1^{er} janvier 2012 : 1^{er} septembre 2013.

Il s'agit d'une auto-déclaration du fabricant, qui est responsable de l'exactitude des informations mentionnées sur l'étiquette. Les modalités de présentation de l'étiquette et les substances polluantes concernées sont précisées dans un **Arrêté du 19 avril 2011** relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.

Les produits concernés par cette nouvelle réglementation sont les produits de construction ou de revêtements de parois amenés à être utilisés à l'intérieur des locaux, ainsi que les produits utilisés pour leur incorporation ou leur application :

- cloisons et faux-plafonds ;
- revêtement sol, mur et plafond ;
- produits d'isolation ;
- portes et fenêtres ;
- produits destinés à la pose ou à la préparation des produits ci-dessus (colles, joints).

Les polluants visés sont ceux rencontrés le plus fréquemment dans les logements, à savoir le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le toluène, le tétrachloroéthylène, le xylène, le triméthylbenzène, le dichlorobenzène, l'éthylbenzène, le butoxyéthanol, le styrène, ainsi que la mesure des composés organiques volatils totaux (COVT).

Le niveau d'émission pour chaque polluant fait l'objet d'un classement allant de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions), selon le principe déjà utilisé pour l'électro-ménager ou les véhicules.

Un classement des produits est réalisé selon 4 lettres (figure 2) qui suivent des seuils limites des concentrations exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Au final, le produit est classé par une lettre caractérisant les émissions globales, tous polluants confondus.

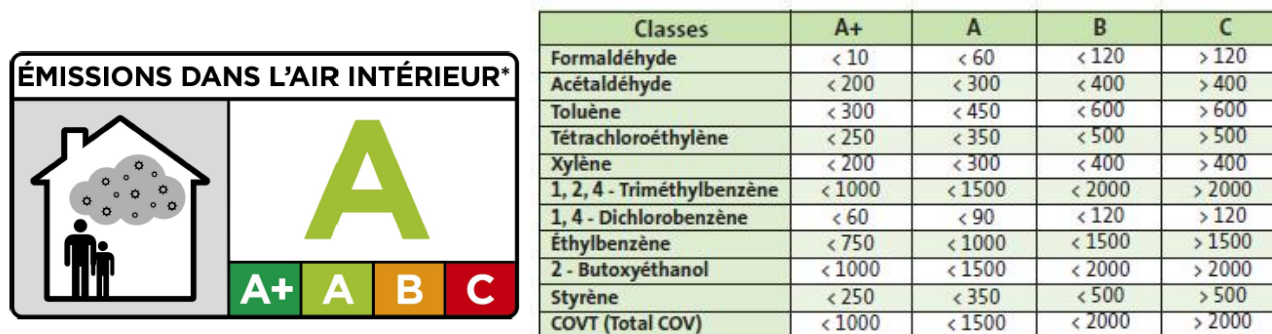


Figure 15 : étiquette apposée sur les produits de construction en 2012 et tableau de classement en catégories de concentrations

Grâce à cet étiquetage, les utilisateurs disposeront désormais d'une information sur les émissions pouvant constituer un nouveau critère de sélection, en fonction des besoins d'usage. Les produits les plus performants seront ainsi mis en valeur avec des effets bénéfiques attendus en matière d'innovation et une amélioration à terme de la qualité des produits disponibles sur le marché.

Les prescripteurs (collectivités notamment) pourront prendre en compte la qualité de l'air intérieur comme critère dans leurs appels d'offre pour la construction de nouveaux bâtiments ou la rénovation des bâtiments existants.

informations sur les produits de construction

Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)

La Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES), est un outil regroupant des informations structurées sur les performances environnementales et sanitaires des produits de construction.

Elle concerne tous les produits intégrés durablement dans le bâtiment et elle est établie sous la responsabilité d'un fabricant ou d'un syndicat professionnel. La FDES est élaborée selon la norme NF P01-010 qui définit les bases communes permettant de délivrer et de lire les informations multicritères objectives, quantitatives et qualitatives suivantes :

- des informations issues d'un bilan environnemental sur l'ensemble du cycle de vie du produit pour évaluer les impacts potentiels sur l'environnement lors des phases de fabrication, de transport, de mise en œuvre, de vie et de fin de vie. Cette méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux, exigée par la norme NF P01-010, est appelée Analyse de Cycle de Vie (ACV) ;
- des informations utiles sur la contribution du produit à l'évaluation des risques sanitaires liés notamment aux émissions de substances dangereuses (COV, radon et rayonnements, etc.) et à l'évaluation de la qualité sanitaire de l'eau (aptitude au contact de l'eau potable, etc.) à l'intérieur du bâtiment. Ces informations sanitaires ne résultent pas d'une ACV mais proviennent d'études ou d'essais en laboratoires ;
- des informations utiles sur la contribution du produit à la qualité de vie et au confort d'usage : confort hygrothermique, confort acoustique.

Actuellement, 1183 fiches FDES couvrant plus de 18 000 produits du marché sont disponibles sur la base de données INIES : www.inies.fr.

INIES est la base de données publique et nationale de référence des FDES élaborées et mises en ligne à l'initiative volontaire des industriels. Son fonctionnement est régi par un Protocole signé, à ce jour, par :

- les ministères en charge de l'écologie, de l'Industrie, de la Santé, et de la Culture ;
- l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- l'Association des Industries de Matériaux, Produits, Composants et Equipements pour la Construction (AIMCC) ;
- l'Agence nationale de l'habitat (ANAH) ;
- la Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment (CAPEB) ;
- le Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) ;
- le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) ;
- la Fédération Française du Bâtiment (FFB) ;
- l'association HQE (Haute Qualité Environnementale) ;
- l'association Qualitel ;
- l'Union sociale pour l'habitat (USH).

Sa gouvernance est assurée par un Conseil de Surveillance (éthique et déontologie de fonctionnement de la base INIES) et un Comité Technique (veille et mise à jour de la base).

Cette base en développement a vocation à devenir un outil d'aide à la décision des prescripteurs dans leurs choix de produits de construction, qu'ils soient issus du monde professionnel ou du grand public.

labels et certificats européens

Il est aussi possible d'obtenir des informations sur les produits de construction au travers des exigences des labels européens. Pour chaque renseignement apporté par le fabricant sur un produit, les certificats et labels associés attestant de la conformité des performances. Le tableau ci-dessous résume les critères d'attribution des différents labels.

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

Tableau 6 : labels européens pour les produits de construction

information sur les matériaux en bois peu émissifs

Une source importante de formaldéhyde dans l'air intérieur des bâtiments provient des panneaux de particules et autres dérivés du bois qui utilisent dans leur fabrication des colles thermodurcissables à base de formol. Depuis 2002, une norme E1 (NF EN 717-1) impose des teneurs inférieures ou égales à 8 mg de formaldéhyde pour 100 g de matériau, ce qui correspond à des émissions maximales de 0,124 mg/m³ d'air. La plupart des grands fabricants proposent aujourd'hui des produits de classe E1, et même avec des teneurs plus faibles.

L'information disponible sur les produits (FDES, labels européens, normes E1) et la réglementation sur l'étiquetage obligatoire des produits de construction sont autant d'outils permettant d'aider les gestionnaires de bâtiments dans le choix de matériaux peu émissifs, ce qui contribuera à préserver à terme une bonne qualité de l'air intérieur.

préconisations sur les systèmes de ventilation

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

La ventilation permet de renouveler en permanence l'air d'une pièce empêchant ainsi l'accumulation des polluants à l'intérieur des classes. L'aération, par ouverture des fenêtres, permet également de renouveler l'air d'une pièce avec un débit plus important que la ventilation, en faisant entrer de l'air frais pendant quelques minutes. C'est un complément à la ventilation, en particulier si cette dernière est défaillante. Elle devient nécessaire lorsque le système de ventilation est inexistant : sur les 2 salles d'enseignement étudiées, une n'a aucun système de ventilation (salle de CM1) et une a une ventilation naturelle via un système de grilles d'aération (salle de CE1).

La réglementation en matière d'hygiène et de santé [« *Règlement Sanitaire Départemental Type* » - *Circulaire du 9 août 1978 relative à la révision du RSDT, J.O. du 13/09/78*] fixe des débits minimums d'air neuf pour les occupants des locaux d'enseignement primaire à 15 m³ par heure et par élève⁶. Si nous prenons l'exemple de la salle de CM1 composée de 31 élèves, il faudrait un débit d'air minimum de 465 m³/h. Cette salle n'ayant aucun système de renouvellement d'air, l'importance d'un tel système est essentielle.

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

Un système de ventilation adéquat se traduit par :

- un bon équilibre entre les dépenses énergétiques et la bonne qualité de l'air intérieur ;
- une conception adaptée aux besoins ;
- une installation par un professionnel ;
- une facilité d'utilisation via des trappes de visite ;
- un entretien et une surveillance de l'état des composants (filtres, ventilateurs, batterie,...) :
 - une fois par trimestre, pour les bouches d'extraction des salles d'enseignement,
 - une fois par an, pour les filtres d'insufflation et d'extraction des VMC double-flux,
 - dépoussiérez régulièrement les grilles d'entrée d'air frais.

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

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

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

⁶ Ces dispositions ne s'appliquent qu'aux constructions datant de 1980 ainsi qu'aux constructions subissant des modifications importantes affectant le gros œuvre.

préconisations sur l'entretien des locaux

limiter le nombre de produits d'entretien

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

privilégier les produits à labels écologiques

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

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

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

utiliser un système de dosage

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

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

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

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

De nombreuses études montrent que les produits d'entretien sont eux même émetteurs de pollution. Des tests effectués en laboratoire ont montré que le formaldéhyde contenu dans les produits d'entretien ayant une concentration initiale de 25 µg/m³ mettait 4 heures pour atteindre une concentration nulle. Une organisation du travail associant une formation du personnel d'entretien est donc à privilégier afin de concilier temps de travail et l'efficacité sanitaire attendue.

préconisations vis-à-vis de la contamination fongique

Une contamination fongique a été observée dans la salle de CE1 lors de la réalisation des mesures, représentant une surface supérieure à 30 m², avec une majorité de contaminants sur les murs. Dans ce cadre, la Ville de Mayenne a engagé des actions de remédiation au cours de l'année 2013, avec la pose de grilles d'aération en janvier et la réalisation de travaux de réfection de peinture en octobre.

La peinture appliquée contient un composant fongicide. Afin d'observer l'effet positif de ces travaux sur le long terme, **une nouvelle campagne de mesures est préconisée début 2015, en période hivernale**, en y associant des prélèvements fongiques. Cette étude permettra d'évaluer les effets bénéfiques des actions de remédiation, notamment sur les paramètres de confort, de confinement, et également de vérifier l'absence de contamination fongique.

Une recherche des sources d'humidité est également préconisée, afin de s'assurer que l'humidité relative mesurée est uniquement due à l'occupation des locaux, et non à d'autres sources type fuites ou remontées capillaires.

De manière générale, **l'effet de la mise en service d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC)** serait bénéfique. Ce type de système permet une augmentation du renouvellement d'air et une diminution du taux d'humidité relative, principal facteur de développement fongique, ainsi que la diminution des polluants chimiques, comme Air Pays de la Loire l'a montré en 2012 lors de l'étude dans une école maternelle à la Roche-sur-Yon avant et après mise en place d'une VMC.

préconisations sur les habitudes comportementales

aérer les salles d'enseignement pendant les intercourts et lors d'activités émettant des polluants

Les niveaux de dioxyde de carbone mesurés dépassent ponctuellement le seuil du règlement sanitaire départemental, pendant les périodes d'occupation des locaux.

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

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

conclusion

D'une manière générale, les matériaux et les produits émettant le moins de COV doivent être privilégiés, pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. L'élimination, ou la réduction, des sources permanentes de COV (ameublement, matériaux de construction) ne peut se faire qu'en engageant des travaux de rénovation et/ou de changement d'ameublement et en choisissant des matériaux moins émissifs.

Une préconisation notable concerne la mise en place d'un système spécifique de ventilation. Celui-ci est indispensable pour garantir un renouvellement constant de l'air des salles d'enseignement, et une meilleure régulation des caractéristiques de l'air intérieur (par exemple taux d'humidité relative, concentration en polluants, etc.). A titre indicatif, en 2012, une étude d'Air Pays de la Loire sur la qualité de l'air intérieur dans l'école Rivoli de la Roche-sur-Yon, avant et après la mise en œuvre d'une ventilation mécanique contrôlée double flux, a mis en évidence une diminution du niveau de confinement de 30% dans la salle de classe, une diminution de 12% de l'humidité relative, ainsi qu'une diminution des concentrations moyennes en formaldéhyde d'un facteur 2.

Etant donné l'étendue de la contamination fongique observée et l'importance des actions de remédiation menées par la ville de Mayenne, une nouvelle campagne de mesures est préconisée début 2015. Celle-ci permettra d'évaluer les effets bénéfiques des actions de remédiation, notamment sur les paramètres de confort, de confinement, et également de vérifier l'absence de contamination fongique.

conclusions et perspectives

Les résultats du suivi de la qualité de l'air intérieur dans l'école primaire Jules Ferry ont mis en évidence :

- un **niveau de confinement très élevé** à certaines heures de cours dans les salles d'enseignement de CM1 et principalement de CE1, comprenant des dépassements ponctuels du seuil de 1300 ppm fixé par le règlement sanitaire départemental (RSD). La salle de CE1 présente d'ailleurs un dépassement de ce seuil pour la moyenne des mesures réalisées du 12 au 16 novembre 2012.
- des **concentrations moyennes en formaldéhyde en dessous de la valeur guide de 30 µg/m³**, appliquée à partir du 1^{er} janvier 2015 pour une exposition long terme (Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011) ;
- des **concentrations moyennes en benzène** relativement faibles dans les salles d'enseignement et **en dessous de la valeur guide de 5 µg/m³**, appliquée depuis le 1^{er} janvier 2013 ;

Une importante contamination fongique a également été observée dans la salle de CE1, sur une surface estimée à plus de 30 m², principalement sur les murs en contact avec l'extérieur. Celle-ci est à mettre en relation avec une humidité relative élevée (environ 70%) et une absence de système de ventilation mécanique. Néanmoins, des actions de remédiation ont été menées par la ville de Mayenne en 2013 (pose de grilles d'aération, travaux de réfection de peinture).

Compte tenu du confinement, de l'humidité relative élevée, et de la présence de moisissures, il est préconisé la mise en place d'un système de ventilation mécanique.

A titre indicatif, en 2012, une étude d'Air Pays de la Loire sur la qualité de l'air intérieur dans l'école Rivoli de la Roche-sur-Yon, avant et après la mise en œuvre d'une ventilation mécanique contrôlée double flux, a mis en évidence une diminution du niveau de confinement de 30% dans la salle de classe, une diminution de 12% de l'humidité relative, ainsi qu'une diminution des concentrations moyennes en formaldéhyde d'un facteur 2.

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

perspectives

Etant donné l'étendue de la contamination fongique observée et l'importance des actions de remédiation menées par la ville de Mayenne, une nouvelle campagne de mesures pourra être envisagée début 2015. Celle-ci permettra d'évaluer les effets bénéfiques des actions de remédiation, notamment sur les paramètres de confort, de confinement, et également de vérifier l'absence de contamination fongique.

Dans l'éventualité de la mise en place d'un système de ventilation mécanique, l'école Jules Ferry pourra également faire l'objet d'une campagne de mesures avant et après mise en place de ce système, afin de quantifier les améliorations apportées vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur.

annexes

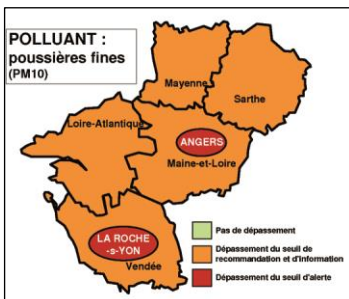
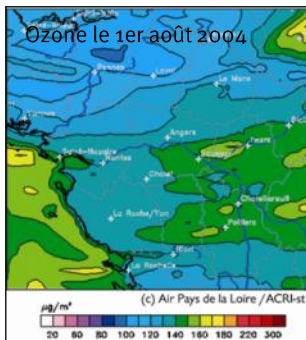
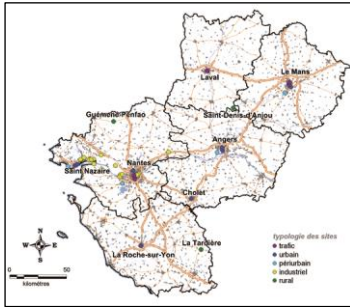
- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : sources de polluants mesurés
- annexe 3 : effets sanitaires des polluants de l'air intérieur
- annexe 4 : calcul de l'indice de confinement à partir des mesures de concentration en CO₂
- annexe 5 : valeurs de référence de l'air intérieur 2013

annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie 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.

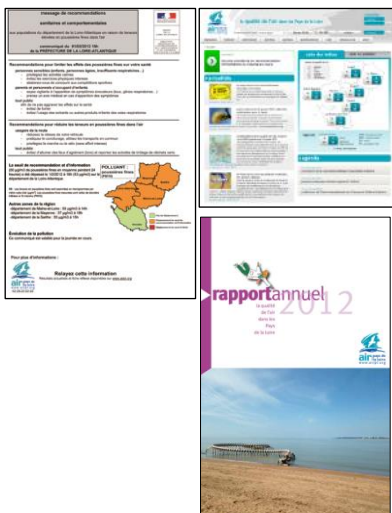
simuler et cartographier la pollution

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, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

annexe 2 : sources de polluants mesurés

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 isobutanal)	Photocopieurs
Isovaléraldéhyde (ou Isopentanal)	Parquet traité, panneaux de particules
Valéraldéhyde (ou pentanal)	Emissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules

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

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, 2010)

annexe 3 : effets sanitaires des polluants de l'air intérieur

formaldéhyde

Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde font partie des substances hautement prioritaires dans le cadre de la hiérarchisation sanitaire des polluants selon l'OQAI et des substances jugées prioritaires pour l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAi) de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Anses).

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 µg/m³, concentrations toutefois rarement observées.

Le formaldéhyde est classé cancérigène de catégorie 1 (cancérogène certain) par le CIRC⁷ depuis 2004 sur la base des données observées sur les cancers du nasopharynx. Cependant, l'Anses précise que "le risque pour la population générale de développer un cancer du nasopharynx suite à l'inhalation du formaldéhyde seul semble négligeable au vu des niveaux mesurés actuellement dans l'air".

L'Anses a publié en 2008 une évaluation des risques sanitaires liés au formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieur :

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

- un rapport Anses « Toxicité du formaldéhyde. État des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) » rédigé par le groupe de travail « Formaldéhyde » ;
- « évaluation 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 courante (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 Valeurs Toxiques de Référence (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.

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

⁷ Institut international de recherche sur le cancer

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.

paramètre de confinement

Le dioxyde de carbone (CO₂) provient principalement de la respiration mais peut également être produit par une combustion. 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.

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 25°C pour la température et entre 35 et 70 % pour l'humidité relative [2]. Bien que ces zones de confort théoriques ont été déterminées, les plages de confort ne sont pas les mêmes pour tous. Les personnes âgées et les jeunes enfants sont plus sensibles aux températures froides et aux vagues de chaleur que les adultes.

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

Une humidité relative supérieure à 70 % peut favoriser les symptômes suivants :

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

annexe 4 : calcul de l'indice de confinement à partir des mesures de concentration en CO₂

source : Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.

L'indice de confinement est basé sur la mesure en continu de la concentration de dioxyde de carbone dans l'air (exprimée en parties par million : ppm). Le pas de temps d'enregistrement est de 10 minutes.

Pour le calcul de l'indice, seules les valeurs de concentrations de dioxyde de carbone mesurées pendant la présence des élèves dans la pièce sont prises en compte. Sont exclues :

- toute période où les élèves sont absents.
- toute période où le nombre d'élèves effectivement présents dans la pièce est inférieur à 0,5 fois l'effectif théorique de la salle de classe ou d'activité ou supérieur à 1,5 fois l'effectif théorique de la pièce.

Les valeurs de dioxyde de carbone correspondant aux périodes retenues sont ensuite séparées en trois classes selon leur niveau :

- ⇨ nombre de valeurs inférieures à 1000 ppm
- ⇨ nombre de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm
- ⇨ nombre de valeurs supérieures à 1700 ppm

L'indice de confinement est alors calculé suivant la formule :

$$I = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)} \right) \log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

f_1 : proportion de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm

f_2 : proportion de valeurs supérieures à 1700 ppm

L'indice de confinement est calculé pour chaque pièce et arrondi au nombre entier le plus proche.

Indice de confinement	Nature du confinement	Informations
0	Confinement nul	Néant
1	Confinement faible	
2	Confinement moyen	
3	Confinement élevé	
4	Confinement très élevé	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant la période d'occupation.</p>
5	Confinement extrême	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage idem à l'indice 4 + Actions à mener par l'organisme en charge de la réalisation des mesures : Information au préfet du département du lieu d'implantation de l'établissement dans un délai de quinze jours après réception de l'ensemble des résultats d'analyse.</p> <p>Actions à mener par le maître d'ouvrage ou l'exploitant de l'établissement : Nécessité de mener toute expertise nécessaire pour identifier les causes du confinement extrême dans l'établissement.</p>

annexe 5 : valeurs de référence de l'air intérieur 2013

Décret n° 2011-1727	Formaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"> • 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2015 ; • 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue à compter du 1^{er} janvier 2023.
	Benzène	<ul style="list-style-type: none"> • 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2013 ; • 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue à compter du 1^{er} janvier 2016.
ANSES	Formaldéhyde	<p>VGAI court terme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: pour une exposition de 2 heures <p>VGAI long terme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition supérieure à un an
	Benzène	<p>VGAI long terme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les effets chroniques non cancérogènes pour une durée d'exposition supérieure à un an. • 2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: valeur pour les effets chroniques cancérogènes et une durée d'exposition vie entière, correspondant à un excès de risque de 10⁻⁷. • 0,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 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 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne sur un an pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène (8 heures). <p>VGAI court terme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes et afin de prendre en compte des effets cumulatifs du benzène.
HCSP	Formaldéhyde	<p>Valeurs de gestion</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: valeur cible à atteindre en 2023 pour une exposition de longue durée • 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: valeur cible à atteindre en 2015 pour une exposition de longue durée
	Benzène	<p>Valeurs de gestion</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: valeur cible à atteindre en 2016 pour une exposition de longue durée • 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: valeur cible à atteindre en 2013 pour une exposition de longue durée

Sources : (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, Haut Conseil de la Santé Publique, Règlement Sanitaire Départemental, Organisation Mondiale de la Santé)

Valeur guide (Décret n° 2011-1727):
niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné

Valeur guide (Anses):
concentration dans l'air d'une substance chimique, associée à un temps d'exposition, en dessous de laquelle aucun effet sanitaire n'est en principe attendu pour la population.

Valeur repère :
valeur en dessous de laquelle il n'y a pas d'action spécifique à engager à court terme. Elle peut être considérée comme la teneur maximale acceptable pour une bonne qualité de l'air vis-à-vis du polluant considéré dans les conditions d'occupation régulière d'un local.

bibliographie

- [1] ANSES (2007) - Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur - Document cadre et éléments méthodologiques.
- [2] ANSES (2013) - Tableau de synthèse des Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur publiées
- [3] Ministère de la santé, INVS (2010) - guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Guide pratique.
- [4] Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2004) - Campagne pilote : 90 logements et 9 écoles Rapport final.
- [5] Sépia-Santé (2006) - Ré-analyse des données recueillies par l'OQAI sur l'air intérieur de neuf écoles primaires et maternelles.
- [6] Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (2012) - Mesures pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Dossier de presse.
- [7] Air Pays de la Loire (2011) - qualité de l'air dans 15 écoles et crèches des Pays de la Loire : 1^{ère} phase de la campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et crèches. Rapport final. Réf. Air Pays de la Loire E-Etprd11198
- [8] OQAI (2013) – Qualité de l'air dans les écoles : résultats, avancées & perspectives. Atelier du 13 juin 2013. Communiqué de presse.
- [9] ASPA (2005) - 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.
- [10] ASPA (2005) - 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.
- [11] 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.
- [12] Evaluation de la qualité de l'air intérieur dans 15 écoles et crèches des Pays de la Loire, 1^{ère} phase de la campagne pilote nationale de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et crèches ; novembre 2011

glossaire

abréviations

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARS	Agence régionale de santé
BTEX	benzène, toluène, éthyl-benzène, xylènes
C6H6	benzène
CMEI	Conseiller Médical en Environnement Intérieur
CO	monoxyde de carbone
CO ₂	dioxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
ERP	Etablissement recevant du public
HCSP	haut conseil de la santé publique
IARC	centre international de recherche sur le cancer
Medde	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
PM ₁₀	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
PNSE	plan national santé environnement
ppm	partie par million
PRSE	plan régional santé environnement
PRQA	plan régional pour la qualité de l'air
PSQA	programme de surveillance de la qualité de l'air
RSD	règlement sanitaire départemental
µg	microgramme (= 1 millionième de gramme)

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

