



.....

# RAPPORT D'ETUDE

Evaluation de la qualité de l'air intérieur

Projet SCOL-AIR  
2 écoles de la Ville de Lille

Mesures réalisées en 2014







Association pour la surveillance  
 et l'évaluation de l'atmosphère  
 55, place Rihour  
 59044 Lille Cedex  
 Tél. : 03.59.08.37.30  
 Fax : 03.59.08.37.31  
 contact@atmo-npdc.fr  
 www.atmo-npdc.fr

# Campagne d'évaluation de la qualité de l'air à l'intérieur et aux abords de deux écoles de la Ville de Lille (Projet SCOL-AIR) du 03 au 21/02/2014 et du 12 au 23/05/2014

Rapport d'étude N°03/2014/Pdes  
 72 pages (hors couvertures)  
 Parution : janvier 2015

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom	Peggy <b>Desmettres</b> Charles <b>Beugard</b>	Tiphaine <b>Delaunay</b>	Nathalie <b>Dufour</b>
Fonction	Ingénieurs d'Etudes	Ingénieur d'Etudes	Responsable Etudes

### Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information : **atmo** Nord - Pas-de-Calais, rapport d'étude N°03/2014/Pdes ».

Les données contenues dans ce document restant la propriété d'**atmo** Nord - Pas-de-Calais peuvent être diffusées à d'autres destinataires.

**atmo** Nord - Pas-de-Calais ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.



# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>atmo Nord - Pas-de-Calais</b> .....	<b>3</b>
Ses missions .....	3
Stratégie de surveillance et d'évaluation .....	3
<b>Synthèse de l'étude</b> .....	<b>4</b>
<b>Contexte et objectifs de l'étude</b> .....	<b>5</b>
<b>Organisation de l'étude</b> .....	<b>6</b>
Sélection des 10 écoles via le modèle urbain .....	6
Sélection des points de mesures de nos 2 écoles .....	9
Paramètres surveillés .....	12
Dispositif de mesures utilisé .....	16
Synthèse des mesures déployées .....	17
<b>Repères réglementaires</b> .....	<b>19</b>
Valeurs réglementaires en air extérieur .....	19
Valeurs réglementaires et valeurs guides en air intérieur (VGAI) .....	20
Valeurs réglementaires en atmosphère de travail .....	21
<b>Résultats de l'étude</b> .....	<b>25</b>
Contexte météorologique .....	25
Exploitation des résultats de mesures .....	27
<b>Travaux de modélisation</b> .....	<b>44</b>
Objectifs de l'étude .....	44
Paramètres de la modélisation .....	44
Estimation des émissions .....	48
Résultats des simulations .....	53
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	<b>60</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>63</b>
Annexe 1 : validation des données issues des appareils automatiques .....	63
Annexe 2 : taux de fonctionnement des appareils de mesure .....	64
Annexe 3 : Concentrations en aldéhydes classe par classe .....	66
Annexe 4 : Concentrations en COV classe par classe .....	68
Annexe 5 : le modèle ADMS Urban .....	72



# ATMO NORD - PAS-DE-CALAIS

## Ses missions

L'association régionale pour la surveillance et l'évaluation de l'atmosphère, **atmo** Nord - Pas-de-Calais, est constituée des acteurs régionaux impliqués dans la gouvernance Air Climat Energie (les collectivités, les services de l'Etat, les émetteurs de polluants atmosphériques, les associations...).

**Association loi 1901, agréée par le Ministère en charge de l'Ecologie et du Développement Durable**, **atmo** Nord - Pas-de-Calais repose sur les principes de **collégialité, d'impartialité et de transparence des résultats**.

Intégrée dans un dispositif national composé de 26 Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), **atmo** Nord - Pas-de-Calais a pour missions principales de :

- **Surveiller – mesurer** les concentrations de polluants (données fiables, continues ou ponctuelles) ;
- **Etudier** – comprendre les phénomènes de pollution atmosphérique ;
- **Alerter** immédiatement et informer nos publics ;
- **Sensibiliser** les différents acteurs aux enjeux de la pollution atmosphérique ;
- **Inform** en permanence sur l'état de la qualité de l'air ;
- **Accompagner – Conseiller – Aider – Former** les acteurs régionaux et les autorités (simulation, identification d'indicateurs, évaluation des actions...).

Dans le cadre de son pacte associatif, **atmo** Nord - Pas-de-Calais mesure les concentrations d'une trentaine de polluants gazeux et particulaires, dont douze sont soumis à des valeurs réglementaires. Cette surveillance est menée en application des exigences européennes, nationales et locales dans le cadre de programmes d'études en air ambiant et en environnements intérieurs, pour les différentes composantes atmosphériques (Air, Climat et Energie).

## Stratégie de surveillance et d'évaluation

Forte de plus de 38 ans d'expertise, **atmo** Nord - Pas-de-Calais ajuste sa stratégie de surveillance et d'évaluation de l'atmosphère en fonction des **enjeux territoriaux et locaux** : la santé et l'environnement, le climat, l'aménagement du territoire, les transports, les activités économiques...



S'appuyant sur l'état des lieux régional (bilan des actions menées, cibles, éléments de pression), de l'identification des enjeux spécifiques au Nord - Pas-de-Calais et de l'évaluation du niveau de connaissances sur chacune des problématiques, son **programme d'évaluation de l'atmosphère 2011-2015 s'inscrit dans une démarche transversale « Air, Climat, Energies »**.

Fruit d'un travail mené avec ses membres, il identifie cinq axes majeurs, déclinés en plans d'actions :

- deux axes transversaux : **Santé/Environnement et Climat/Energie** ;
- trois axes thématiques : **Aménagement du territoire, Transport et Activités économiques**.

La mise en œuvre de la stratégie de surveillance et d'évaluation concourt à :

- confirmer et compléter la surveillance et l'observation du territoire,
- accompagner nos adhérents (collectivités, industries, services de l'Etat, associations...) dans leurs projets, notamment grâce aux outils d'aide à la décision.
- informer, alerter, sensibiliser les publics aux résultats et aux enjeux de la qualité de l'air, pour une meilleure compréhension des phénomènes de pollution atmosphérique, au service, in fine, de la préservation de la santé des populations et de l'environnement.



## SYNTHESE DE L'ETUDE

Dans le cadre du projet SCOL-AIR porté par la Ville de Lille (Service des Risques Urbains et Sanitaires), **atmo** Nord - Pas-de-Calais a réalisé deux campagnes de mesures de la qualité de l'air à l'intérieur et aux abords de deux écoles élémentaires (Thierry Launay et Briand Buisson). Ces investigations ont permis de dresser un état des lieux de la qualité de l'air intérieur dans deux écoles, exposées de manière différente à la pollution atmosphérique et de conceptions différentes.

L'outil de modélisation ADMS Urban a permis dans un premier temps de choisir les établissements à étudier, sur la base des concentrations modélisées pour l'année 2011. L'étude s'est déroulée sur deux périodes : du 03 au 21 février 2014 puis du 12 au 23 mai 2014. Les polluants suivants ont été mesurés pendant 4,5 jours par période :

- substances réglementées : benzène, formaldéhyde et dioxyde de carbone (permet de mesurer le confinement d'une pièce),

- autres substances nécessitant une exploration approfondie : 19 autres Composés Organiques Volatils (COV), 8 autres aldéhydes, le dioxyde d'azote, l'ozone et les poussières en suspension PM10 et PM2,5.

Des paramètres de confort (température et humidité relative) ont également été suivis durant ces périodes.

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'analyseurs (mesures continues) ou de tubes passifs (mesures ponctuelles).

Les résultats ont été comparés aux valeurs réglementaires, lorsqu'elles existent, ou à défaut aux valeurs guides de l'air intérieur, aux valeurs repères ou aux niveaux enregistrés dans d'autres études similaires. Des simulations de concentrations en polluants PM10 et NO<sub>2</sub> autour des 2 écoles étudiées ont également été réalisées sur les périodes de mesure des polluants afin de comparer les résultats modèle / mesures.

L'étude montre que les valeurs réglementaires ou de référence ont été respectées sur les périodes de mesures pour la majorité des paramètres. Seules les poussières en suspension présentent un risque de dépassement de la VGAI.

Diverses sources de pollution ont été identifiées au cours de ces périodes de mesures. Pour la plupart des polluants, en dehors des aldéhydes dont les sources sont principalement liées à l'environnement intérieur, des apports de pollution extérieure constituent un fond de pollution auquel viennent s'ajouter les sources d'émission intérieures. La qualité de la conception du bâtiment est un facteur d'influence sur la capacité à laisser entrer les sources de pollution extérieures (ventilation, isolation...). Ainsi, l'école Thierry Launay, de conception plus ancienne, est plus soumise à l'influence des polluants d'origine extérieure (benzène, poussières, dioxyde d'azote...) que l'école Briand Buisson, qui bénéficie d'un système de ventilation plus efficace (VMC double flux). L'impact de la proximité d'axes routiers (A25) est particulièrement observable à l'école Thierry Launay sur les concentrations de dioxyde d'azote par les mesures (en intérieur) et la modélisation (en extérieur).

Les activités intérieures influencent également les variations de concentrations dans les classes : les périodes d'occupation par les enfants provoquent la remise en suspension des poussières et des augmentations significatives de leurs concentrations. Les produits utilisés (ménage, travaux, matériaux de construction) sont également visibles dans les concentrations des composés organiques volatils (teneurs plus importantes qu'en extérieur).

A l'issue de cette étude, deux axes d'amélioration peuvent être proposés, qui concernent la **ventilation** et la **réduction des sources de pollution**. Il ainsi est recommandé notamment d'ouvrir les fenêtres des classes pendant la récréation et pendant les activités de ménage (en dehors des périodes de fort trafic, de même que lors d'épisodes de pollution). Un système d'humidification de l'air pourrait être installé pour compenser la sécheresse de l'air (autour de 40%) pendant les périodes d'utilisation du chauffage (surtout pour Thierry Launay). Un nettoyage humide est également à privilégier pour limiter la remise en suspension des poussières. Enfin, compte-tenu de l'influence de la pollution extérieure dans la présence de certains polluants à l'intérieur des écoles, l'implantation de nouvelles écoles pourra être étudiée afin de choisir un secteur parmi les moins exposés aux sources de pollution urbaines et notamment routières.

Les résultats de la modélisation sont mis à disposition du CEREMA pour approfondir les résultats sur les transferts de pollution extérieur / intérieur. Des mesures complémentaires pourraient également permettre de compléter ces premières investigations, afin de mieux connaître les niveaux de pollution rencontrés dans une école en proximité d'axes routiers, ainsi que l'exposition des enfants sur une plus grande période.



# CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le projet SCOL-AIR « Améliorer la qualité de l'air dans les écoles de la Ville de Lille » est porté par le Service des Risques Urbains et Sanitaires, avec pour objectif principal de préserver la santé des enfants en utilisant 2 leviers :

- 1- Améliorer la qualité de l'air des écoles :
  - produire un premier état des lieux de la qualité de l'air intérieur dans les écoles (campagne métrologique sur un panel de 10 écoles de la Ville),
  - apporter les informations nécessaires pour le dimensionnement d'une surveillance élargie aux écoles,
  - adapter au mieux les recommandations de bonnes pratiques pour l'amélioration de la qualité de l'air (étude du lien entre la pollution atmosphérique et la qualité de l'air intérieur pour 2 écoles du panel).
- 2- Former les acteurs du secteur scolaire pour pérenniser des actions favorables à une bonne qualité de l'air :
  - développer une démarche globale et transversale : sensibiliser le personnel enseignant, former les animateurs du péri-scolaire, les ATSEM, les agents d'entretien, le personnel technique de la Ville aux enjeux de la qualité de l'air intérieur,
  - pérenniser l'action de sensibilisation et promouvoir les bonnes pratiques à la maison en accompagnant les élèves dans un projet pédagogique.

Dans le cadre d'un contexte réglementaire (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), la Ville de Lille souhaite initier une démarche globale visant à améliorer la qualité de l'air à l'intérieur de l'ensemble de ses établissements scolaires (écoles maternelles et élémentaires), soit : 84 écoles sur la Ville de Lille (43 groupes scolaires), 8 écoles sur Hellemmes et 18 sur Lomme.

Cette action s'inscrit ainsi dans le Plan Régional Santé Environnement 2 (PRSE 2) 2011-2014, au travers de la fiche action 5 « prévenir les pollutions à l'intérieur des ERP ».

Le projet SCOL-AIR est financé à la fois au travers de l'appel à projet partagé ARS/Région de 2013 (projet déposé en novembre 2012) et inclus dans le Contrat Local de Santé (CLS) de la Ville de Lille.

**atmo Nord - Pas de Calais** est partenaire sur 2 des axes du projet SCOL-AIR, dans 2 écoles :

- 1- Axe 1 « Améliorer la qualité de l'air des écoles » :
  - aider à la sélection de 10 écoles, au regard de notre plateforme de modélisation urbaine sur Lille (données de pollution atmosphérique PM10 et NO<sub>2</sub>),
  - mesurer des polluants ciblés de l'air intérieur (20 COV, 9 aldéhydes, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10, PM2,5, mais aussi T°, HR et CO<sub>2</sub>), sur 2 périodes en 2014 (janvier-février puis mai-juin), à la fois en intérieur et en extérieur,
  - comprendre le lien entre la pollution atmosphérique et la qualité de l'air intérieur par la modélisation des concentrations autour des établissements,
  - élaborer des recommandations et bonnes pratiques, en lien avec le CEREMA.
- 2- Axe 2 « Former les acteurs du secteur scolaire pour pérenniser des actions favorables à une bonne qualité d'air » :
  - participer aux sessions de formation des animateurs<sup>1</sup>, afin de leur donner les outils pour développer un projet pédagogique sur la thématique de la QAI avec les enfants (janvier-février 2014), en lien avec l'APPA.

Une convention de partenariat a été signée dans ce cadre entre la Ville de Lille et **atmo Nord - Pas-de-Calais**. Ce rapport présente les travaux de sélection des écoles, les mesures de qualité de l'air intérieur et extérieur, ainsi que les résultats de la modélisation autour des écoles et leur comparaison aux résultats des mesures.

<sup>1</sup> **Réalisation** : Préalablement aux mesures, trois sessions de formation ont été organisées en lien avec l'APPA sur trois demi-journées : les lundis 20 et 27 janvier et le lundi 3 février.

**atmo Nord - Pas-de-Calais** y a présenté ses outils de sensibilisation à la qualité de l'air, à la fois en air ambiant et en air intérieur.



## ORGANISATION DE L'ETUDE

Au démarrage de l'étude, l'utilisation de notre plateforme de modélisation urbaine sur Lille a permis d'identifier les niveaux d'exposition de l'ensemble des écoles de l'agglomération. Un classement a pu être opéré à l'aide des concentrations moyennes annuelles en **dioxyde d'azote** et en **particules PM10** estimées au niveau de chaque école primaire de la commune de Lille par le modèle urbain existant pour l'**année 2011**, afin d'orienter le plan d'échantillonnage vers dix sites fortement et faiblement exposés à la pollution de proximité automobile. Parmi ces 10 écoles, 2 ont ensuite fait l'objet de mesures par **atmo** Nord - Pas-de-Calais, au travers de 2 campagnes hiver/été pour chaque établissement.

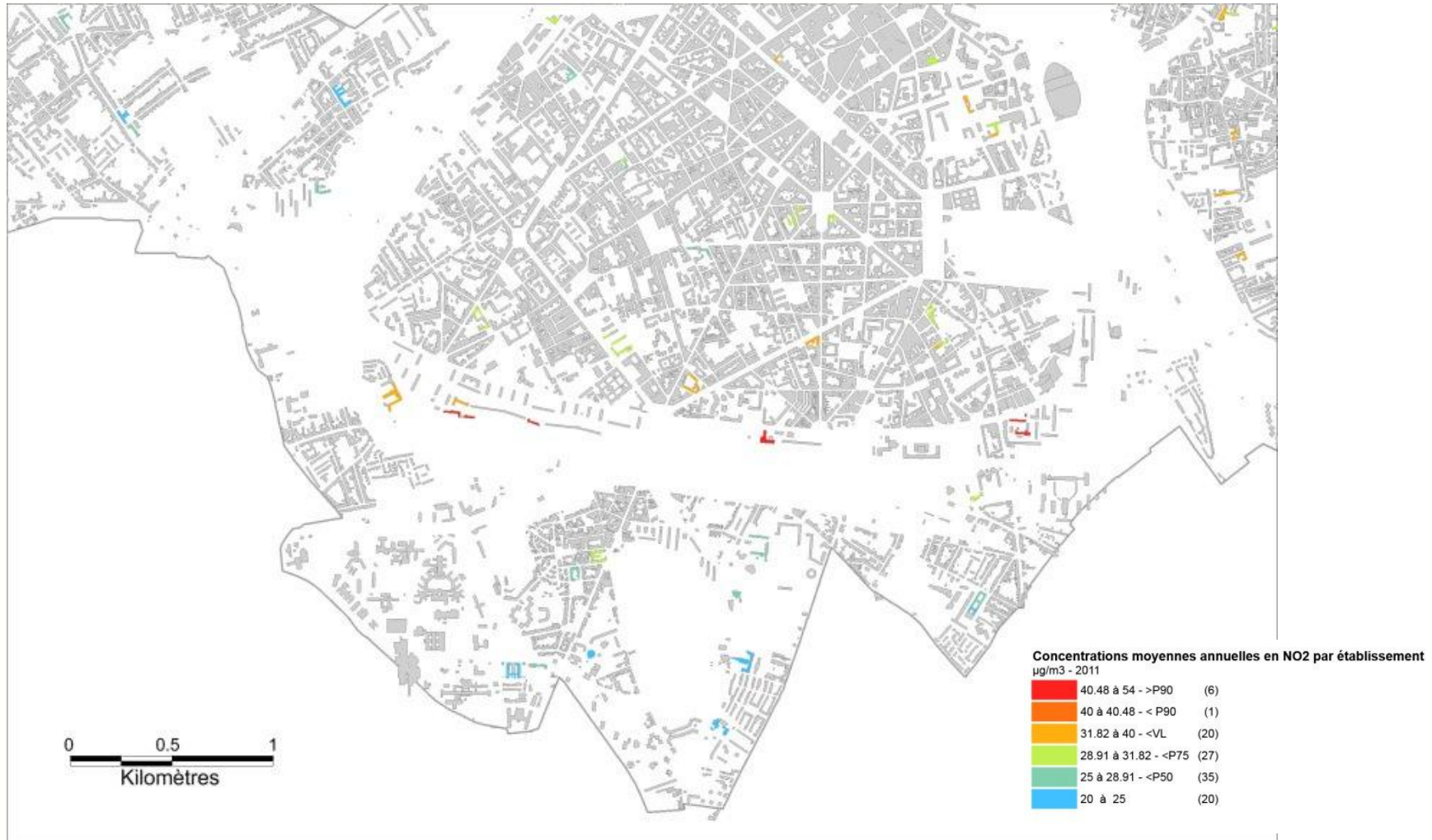
### Sélection des 10 écoles via le modèle urbain

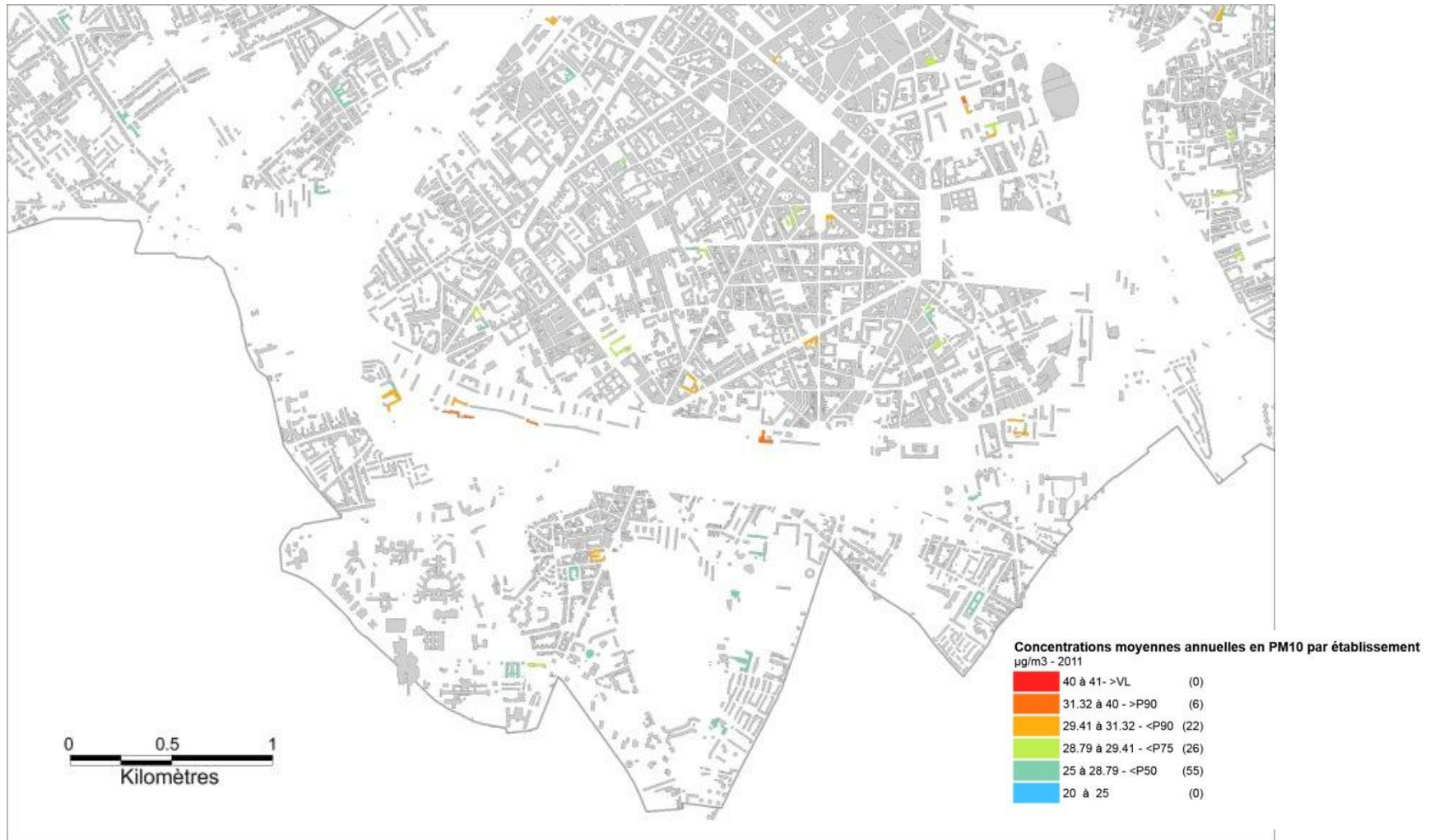
La plateforme de modélisation urbaine sur l'agglomération de Lille, en service à **atmo** Nord - Pas-de-Calais depuis 2009, a servi d'outil d'aide à la sélection des établissements scolaires. Les sorties de la plateforme permettent de cartographier les concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote et en particules PM10 sur une grille d'une résolution de 50 m. Cette grille des concentrations, pour l'année 2011, a été croisée avec la couche « Bâti indifférencié » de la BD Topo IGN, au sein de laquelle avaient été sélectionnés les contours de bâtiments scolaires, pour estimer une concentration moyenne en polluants par bâtiment. La carte représente donc une concentration moyenne annuelle estimée au niveau de chaque établissement scolaire. Cette concentration est corrélée à la proximité des sources de pollution trafic, ce qui a permis de classer les établissements en fonction de leur niveau d'influence par la pollution de proximité automobile.

Les cartes suivantes illustrent la méthode de choix en représentant les contours des bâtiments scolaires classés en fonction de la concentration moyenne estimée en NO<sub>2</sub> et PM10 à proximité du bâtiment (exemple de la zone de Lille Sud).

Les établissements ont été classés par concentration estimée selon une répartition se référant à la valeur limite en moyenne annuelle (40 µg/m<sup>3</sup> pour les deux polluants), ainsi que par centiles 50, 75 et 90 des concentrations estimées sur l'ensemble des établissements de la commune de Lille.









Sur base de ces travaux, une liste de 10 écoles a été retenue et validée en comité de pilotage le 16 septembre 2013, selon le découpage suivant :

Critères de sélection des écoles			Maternelle	Elémentaire
Localisation en zone impactée par la pollution atmosphérique	Construction ancienne	Présence d'un système de ventilation	-	-
		Absence de système de ventilation	2	2
	Construction récente	Présence d'un système de ventilation	-	-
		Absence de système de ventilation	0	1
Localisation en zone peu impactée par la pollution atmosphérique	Construction ancienne	Présence d'un système de ventilation	-	-
		Absence de système de ventilation	1	1
	Construction récente	Présence d'un système de ventilation	1	1
		Absence de système de ventilation	1	0
TOTAL			5	5

## Sélection des points de mesures de nos 2 écoles

Un repérage de terrain avec le CEREMA a permis de sélectionner les 2 écoles concernées par les mesures, au sein de 2 groupes scolaires (expositions pressenties faible et élevée) :

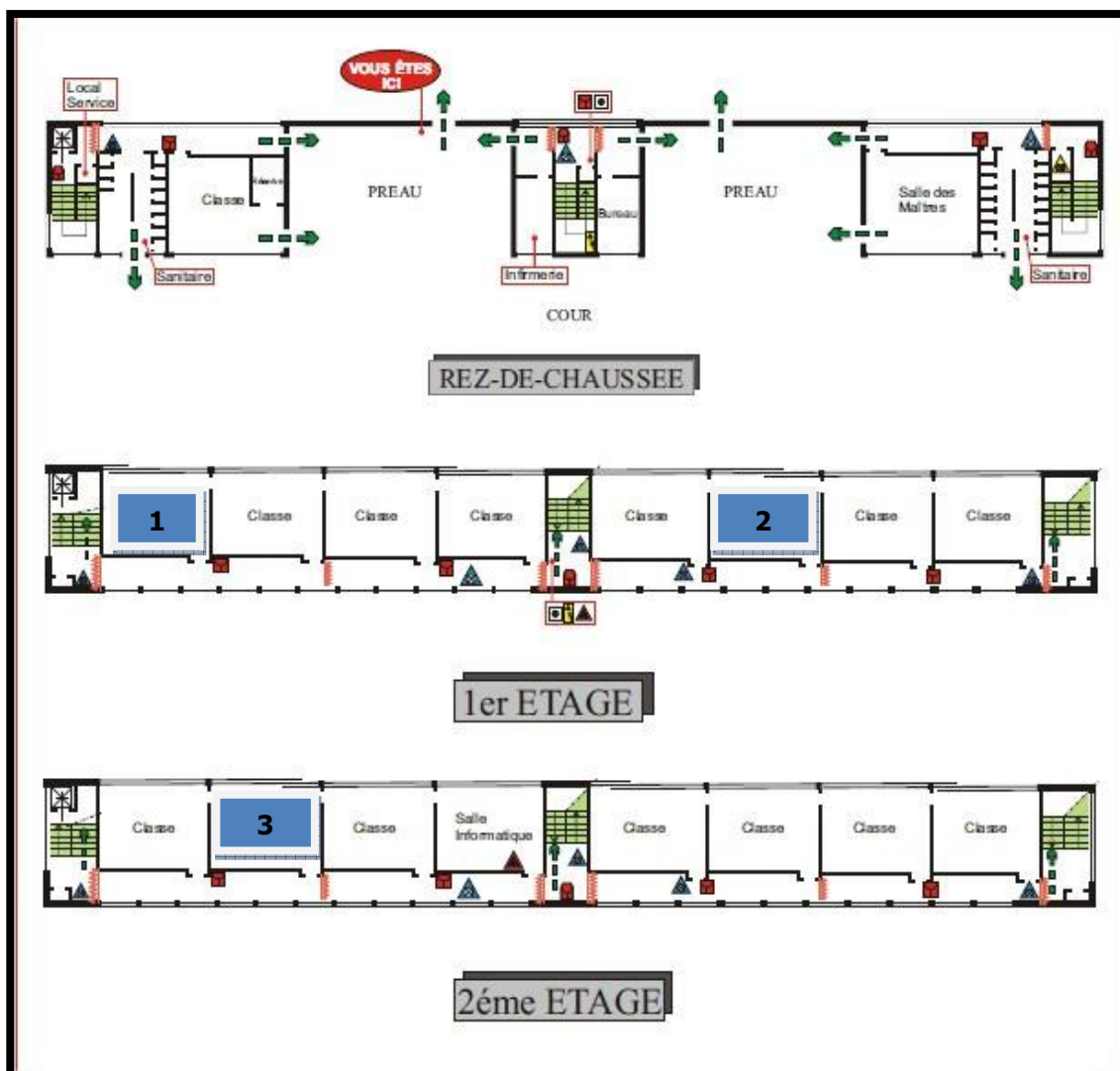
- **Ecole élémentaire Thierry Launay** : ancienne, performances énergétiques F, localisée en zone très fortement impactée par la pollution atmosphérique, en bordure de voie de circulation, mais avec salles de classe qui donnent sur la cour protégée de la circulation par le bâtiment.
- **Ecole élémentaire Briand Buisson** : récente, bonnes performances énergétiques, ventilation double flux, localisée en zone peu impactée par la pollution atmosphérique, en bordure de voie de circulation, avec des salles de classe orientées vers la route et vers la cour.

Au sein de ces deux établissements, les sites ont été choisis afin de définir le plan d'échantillonnage.

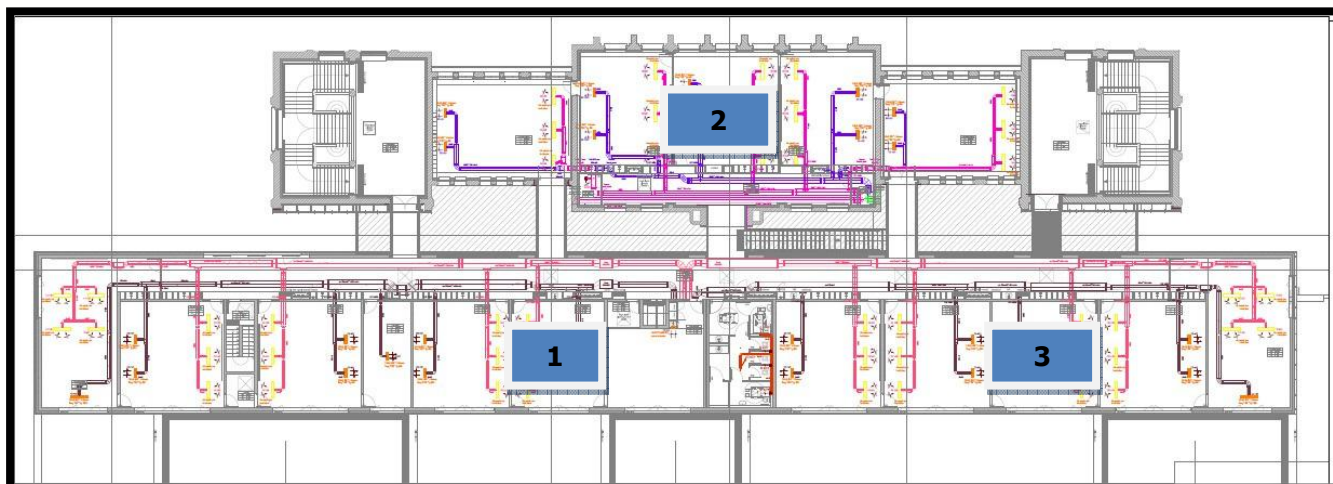
Les mesures seront réalisées à la fois en intérieur (3 classes) et en extérieur (1 point de mesure), pour chaque établissement, en présence des élèves, du lundi matin au vendredi après-midi (soit 4,5 jours).

Pour la pose des moyens de mesures, les interventions sont programmées pendant les horaires de récréations.

Les campagnes de mesures **atmo** Nord - Pas-de-Calais et CEREMA sont menées en complément, afin d'approfondir le lien entre pollution extérieure et pollution intérieure, mais leurs résultats n'ont pas vocation à être comparés (les objectifs de mesures et les moyens utilisés ne sont pas les mêmes).



Plan de situation des 3 salles de classes investiguées au sein de l'école Thierry Launay



*Plan de situation des 3 salles de classes investiguées au sein de l'école Briand Buisson*

Afin d'aider à l'interprétation des données, des paramètres supplémentaires ont été recueillis par le biais de **questionnaires ménage et de budgets espace-temps-activités**, remis par **atmo Nord - Pas-de-Calais** pour chaque classe.

Les budgets espace-temps-activités ont été remplis par les enseignants et concernaient l'ouverture des fenêtres et des portes, l'effectif présent, les activités, les produits utilisés, le fonctionnement du chauffage et la fumée de tabac environnementale.

Les questionnaires ménage, remplis par les agents d'entretien, ciblaient le nettoyage (produits, fréquence), l'ouverture des fenêtres et l'usage éventuel de désodorisants d'intérieur.

L'interprétation des résultats est en partie basée sur les informations fournies dans ces questionnaires. Ils ont été dans l'ensemble bien renseignés, un peu moins au cours de la phase 2 par les enseignants (2 budgets espace-temps-activités non remplis : 1 sur Thierry Launay et 1 sur Briand Buisson). Ils ont permis d'obtenir, pour certains paramètres, des informations utiles à l'interprétation.

De son côté, le CEREMA a renseigné un questionnaire « diagnostic établissements d'enseignement », notamment en lien avec les Services Techniques de la ville, le chef d'établissement et le personnel d'entretien. Les données recueillies apportent des informations sur l'année de construction, les travaux éventuels de rénovation, les systèmes de chauffage et de ventilation, les matériaux d'ameublement, les revêtements, l'environnement extérieur, les activités de nettoyage, etc.



## Paramètres surveillés

### Les paramètres de confort (T°, HR et CO<sub>2</sub>)

Les paramètres de température (T°C) et d'humidité relative (HR%) sont des facteurs importants d'influence dans les émissions des composés organiques volatils, mais également pour le confort des occupants, de même que le dioxyde de carbone qui permet d'évaluer le taux de renouvellement d'air.

Selon la norme AFNOR XP X 43-407 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels – 2006), il est conseillé de maintenir une humidité relative entre 40 et 60% et une température de l'ordre de 22°C. Dans les locaux à pollution non spécifique, la teneur ambiante en CO<sub>2</sub> ne doit pas dépasser le seuil de 1 000 ppm (au-delà de 2 000 ppm, il existe un risque de somnolence). Le taux de CO<sub>2</sub> d'une pièce traduit la qualité du renouvellement d'air de la pièce : un taux élevé correspond à un mauvais renouvellement d'air.

Selon le Règlement Sanitaire Départemental type<sup>1</sup>, la valeur réglementaire est fixée à 1 300 ppm.

### Les aldéhydes

#### [Sources en air ambiant](#)

Les aldéhydes sont classés parmi les composés organiques volatils (COV) présents dans l'atmosphère. Ils proviennent de sources naturelles, mais également de l'activité humaine : circulation automobile et grandes sources fixes émettent des aldéhydes au cours de la combustion incomplète de produits organiques. Ils sont également présents en tant que polluants secondaires dans le smog photochimique, issus des processus de photooxydation.

Les principaux aldéhydes rencontrés dans l'air extérieur sont le formaldéhyde (HCHO), et l'acétaldéhyde (CH<sub>3</sub>CHO). Les aldéhydes sont connus pour être odorants, mais leurs effets sur la santé ne sont pas totalement identifiés : à faible concentration ils peuvent être des irritants des voies respiratoires, et certains d'entre eux sont classés comme cancérigènes probables ou possibles.

Le formaldéhyde est un irritant puissant, classé parmi les substances CMR (cancérigène, mutagène et reprotoxique) et reconnu de classe 1 par le CIRC (centre international de recherche sur le cancer) depuis juin 2004.

#### [Sources en air intérieur](#)

Les émissions intérieures en formaldéhyde, notamment par les bois agglomérés et collés, mais également les nombreuses autres sources intérieures :

- varient en fonction du revêtement des panneaux de particules,
- augmentent avec la chaleur et la présence d'humidité,
- augmentent avec la mise en marche du chauffage et la diminution de la ventilation,
- diminuent avec l'âge du matériau (matériau pouvant émettre du formaldéhyde pendant plusieurs années après son installation).

Des études ont montré que les teneurs de formaldéhyde pouvaient varier en fonction des conditions ambiantes (la formation de formaldéhyde augmente avec les concentrations d'ozone à l'extérieur par pénétration en air intérieur et réaction avec d'autres composés organiques volatils). Les concentrations de formaldéhyde sont souvent plus élevées durant la saison printemps-été.

<sup>1</sup> Source Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)



Aldéhydes recherchés	Sources intérieures connues
Formaldéhyde	Produits de construction et de décoration (bois collés, plaques de plâtre, mousses isolantes urée-formol, enduits préservateurs du bois, certains vernis pour parquet, certaines colles pour textiles muraux, laines d'isolation contenant un liant organique, etc.), résines, textiles, ameublement, fumée de tabac, bougies, bâtonnets d'encens, produits nettoyants pour sol, cosmétiques, papier à copier sans carbone, émission de livres et magazines neufs, photocopieurs, photochimie, etc.
Acétaldéhyde	Photochimie, fumée de tabac, photocopieurs, panneaux de bois brut et panneaux de particules, combustion (fumée de tabac et utilisation d'appareils de cuisson au gaz).
Acroléine	Fumée de tabac environnementale et vapeurs libérées lors de la cuisson des huiles végétales et animales.
Propanal	Fumée de tabac.
Butanal	Photocopieurs et imprimantes à tambours.
Benzaldéhyde	Peintures à phase solvant, parquets traités et photocopieurs.
Isopentanal	Parquet traité et panneaux de particules.
Pentanal	Livres et magazines neufs, panneaux de particules, peintures à phase solvant.
Hexanal	Panneaux de particules et de bois brut, produits de traitement du bois, livres et magazines neufs, peintures à phase solvant.

## Les autres composés organiques volatils (COV)

### [Sources en air ambiant](#)

Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) sont particulièrement suivis ; le benzène notamment, qui est introduit dans l'essence depuis quelques années en remplacement du plomb afin d'augmenter le pouvoir antidétonant de l'essence.

Les COV sont des composés, naturels ou non, qui s'évaporent plus ou moins facilement dans les conditions de température ambiante, se mélangeant alors aisément à l'air.

### [Sources en air intérieur](#)

Dans les ambiances intérieures, ils sont présents dans de nombreux produits : parfums, peintures, lasures, vernis, colles, mastics, produits d'entretien et de nettoyage, produits de préservation du bois (charpentes, meubles), etc.



COV recherchés	Sources intérieures connues
benzène	Carburants, fumée de tabac, produits de bricolage, ameublement, matériaux de construction et éléments de décoration.
toluène	Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé et vapeurs d'essence.
xylènes (m+p et o)	Peintures, vernis, colles et insecticides.
éthylbenzène	Carburants et cires.
1,2,4-triméthylbenzène	Solvants pétroliers, carburants, goudrons et vernis.
1,4-dichlorobenzène	Produits de type antimites, désodorisant et insecticide.
styrène	Matières plastiques, matériaux isolants, carburants et fumée de tabac.
n-décane	White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, moquettes et tapis.
n-undécane	White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois et nettoyeurs sol.
cyclohexane	Colles et adhésifs utilisés pour : pose de moquettes, de plinthes murales, de revêtements de protection dans les escaliers, réparation d'objets divers, peintures et vernis, etc.
alpha-pinène	Désodorisants, parfums d'intérieur et produits d'entretien.
limonène	Désodorisants, parfums d'intérieur, produits d'entretien, cires et nettoyeurs pour sol.
2-éthoxyéthanol	Peintures, laques, vernis et encres d'imprimerie.
2-butoxyéthanol	Peintures, vernis, traitement du bois, calfatage siliconé, fongicides et herbicides.
1-méthoxy-2-propanol	Laques, peintures, vernis, savons et cosmétiques.
trichloroéthylène	Peintures, vernis, colles et dégraissant métaux.
tétrachloroéthylène	Moquettes, tapis et nettoyage à sec.
2-éthyl-1-hexanol	Solvants aqueux.
n-butylocétate	Parquets et solvants.

## Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

### Sources en air ambiant

Il se forme à haute température. C'est une combinaison entre l'oxygène et l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles. Sont incriminés, les foyers de combustion, les procédés industriels et surtout la circulation automobile. L'installation de pots catalytiques réduit les émissions des véhicules mais l'augmentation du trafic et du nombre des voitures rend cette diminution insuffisante. Le dioxyde d'azote est un gaz agressif pulmonaire pouvant altérer la fonction respiratoire, voire augmenter chez les enfants la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. Le dioxyde d'azote est analysé dans l'air ambiant par chimiluminescence.

### Sources en air intérieur

En air intérieur, le NO<sub>2</sub> est le traceur de la combustion. Il est émis principalement par le fonctionnement (avec combustion) des équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, l'utilisation des appareils de cuisson et la fumée de tabac. Le NO<sub>2</sub> provenant de l'extérieur pénètre facilement à l'intérieur des bâtiments. Le rapport intérieur/extérieur des teneurs rencontrées permet alors de mettre en évidence l'influence d'éventuelles sources intérieures, même en cas d'air extérieur pollué.





## Les poussières en suspension PM10 et PM2,5

### [Sources en air ambiant](#)

Une partie des poussières qui se trouve dans l'air est d'origine naturelle, mais s'y ajoutent des particules de compositions chimiques diverses émises notamment par les installations de combustion, les transports et les moteurs diesels. Elles peuvent provoquer des difficultés respiratoires chez les personnes fragiles, notamment chez l'enfant. Certaines d'entre elles ont des propriétés mutagènes ou cancérogènes.

### [Sources en air intérieur](#)

Les particules provenant de l'air extérieur peuvent pénétrer à l'intérieur des bâtiments, notamment par le système de ventilation. D'autres sources de particules sont présentes à l'intérieur, en relation avec les activités des occupants : tabagisme, fonctionnement des appareils de chauffage et de combustion, ménage et déplacements (remise en suspension de la poussière). Ces particules restent plus ou moins longtemps en suspension selon leur taille, avant de se déposer.

## L'ozone (O<sub>3</sub>)

### [Sources en air ambiant](#)

Bénéfique dans les hautes couches de l'atmosphère, il est par contre très nocif dans l'air que nous respirons. Pour rappel, c'est un polluant secondaire, c'est-à-dire qu'il n'est pas émis directement mais résulte de la réaction chimique entre plusieurs polluants de l'air : essentiellement par les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, sous l'effet du rayonnement solaire. Il a un fort pouvoir oxydant et peut donc provoquer des brûlures des muqueuses de la gorge ou des poumons.

### [Sources en air intérieur](#)

En environnement intérieur, ce gaz caractérisé par une odeur âcre est émis par les imprimantes laser et les photocopieurs (les plus récents étant désormais munis d'un filtre à ozone). En raison de l'existence d'un transfert entre l'air extérieur et l'air intérieur, une part de l'ozone issu de l'environnement extérieur peut ainsi être retrouvée en air intérieur notamment par l'ouverture des fenêtres. En l'absence de source intérieure, et dans des conditions d'aération normales, les teneurs intérieures représentent environ 20% des teneurs extérieures, en lien avec la forte réactivité de ce polluant avec les surfaces à l'intérieur des locaux.



## Dispositif de mesures utilisé

Afin de mesurer les concentrations des polluants, les salles de classe ont été équipées d'appareils électriques et/ou de capteurs spécifiques. Deux techniques sont exploitées sur cette campagne de mesures, en fonction des polluants étudiés.

### Analyseurs automatiques



Les analyseurs automatiques sont des appareils électriques qui mesurent en continu et en temps réel les concentrations des polluants.

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la température et l'humidité relative sont mesurés à l'aide d'un analyseur Q-Trak en continu, avec un pas de temps de 15 minutes.

Les particules en suspension ont été mesurées à l'aide des appareils GRIMM afin de comptabiliser les particules en suspension présentes toutes les 15 minutes pendant la durée du prélèvement.



### Préleveurs passifs (ou tubes passifs)



Les mesures par prélèvement passif, communément appelées « mesures par tubes passifs » sont utilisées pour la surveillance ponctuelle de polluants. Sans aspiration mécanique, les polluants (ici les composés organiques volatils, les aldéhydes, le dioxyde d'azote et l'ozone) sont piégés au passage de l'air par simple diffusion moléculaire sur un milieu absorbant ou adsorbant en fonction de la nature du polluant. Après exposition, les échantillons sont envoyés en laboratoire pour analyses.

Ce moyen de prélèvement ne permet pas de mettre en évidence les pointes de pollution.



## Synthèse des mesures déployées

Sites pour chaque école	Polluant mesuré	Matériel	Nombre	Durée des mesures
Classes numérotées 1 dans les plans précédents : classes équipées de mesures en continu et de mesures passives	PM10 et PM2,5	Grimm	1	2 périodes de 4,5 jours (été / hiver)
	CO <sub>2</sub> , T° et HR	Q-Trak	1	
	COV	Tubes passifs	2	
	ALD*	Tubes passifs	2	
	NO <sub>2</sub>	Tubes passifs	2	
	O <sub>3</sub>	Tubes passifs	2	
Classes numérotées 2 et 3 dans les plans précédents : classes équipées de mesures passives	COV	Tubes passifs	1	2 périodes de 4,5 jours (été / hiver)
	ALD*	Tubes passifs	1	
	NO <sub>2</sub>	Tubes passifs	1	
	O <sub>3</sub>	Tubes passifs	1	
Extérieur	PM10 et PM2,5	Grimm	1	2 périodes de 4,5 jours (été / hiver)
	CO <sub>2</sub> , T° et HR	Q-Trak	1	
	COV	Tubes passifs	1	
	ALD*	Tubes passifs	1	
	NO <sub>2</sub>	Tubes passifs	1	
	O <sub>3</sub>	Tubes passifs	1	

\*ALD : Aldéhydes.



## Illustrations pour l'école Thierry Launay



## Illustrations pour l'école Briand Buisson





# REPERES REGLEMENTAIRES

## Valeurs réglementaires en air extérieur

Pour l'interprétation des données, nous disposons de diverses valeurs réglementaires (valeurs limites, valeurs cibles, objectifs...) en air extérieur. Ces normes sont définies au niveau européen dans des directives, puis sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

**La valeur limite** est un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

**La valeur cible** est un niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

**L'objectif de qualité** est un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble. (Source : Article R.221-1 du Code de l'Environnement).

Les tableaux suivants regroupent les valeurs pour chaque polluant réglementé et surveillé pendant l'étude :

Polluant	Normes en 2014 <i>(Source : Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air)</i>		
	Valeur limite	Objectif de qualité / Objectif à long terme	Valeur cible
Benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	<b>5 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>	<b>2 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>	-
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	<b>40 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i> <b>200 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne horaire, à ne pas dépasser plus de 18 heures/an</i>	-	-
Particules en suspension (PM10)	<b>40 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i> <b>50 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne à ne pas dépasser plus de 35 jours/an</i>	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>	-
Particules en suspension (PM <sub>2,5</sub> )	<b>26 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>	<b>10 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> <i>en moyenne annuelle</i>
Ozone (O <sub>3</sub> )	-	<b>Protection de la santé :</b> <b>120 µg/m<sup>3</sup></b> <i>pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures glissantes</i>  <b>Protection de la végétation :</b> <b>AOT40<sup>1</sup> = 6 000 µg/m<sup>3</sup>.h</b>	<b>Protection de la santé :</b> <b>120 µg/m<sup>3</sup></b> <i>pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures glissante, à ne pas dépasser plus de 25 jours/an en moyenne sur 3 ans</i>  <b>Protection de la végétation :</b> <b>AOT40 = 18 000 µg/m<sup>3</sup>.h</b> <i>en moyenne sur 5 ans</i>

<sup>1</sup> AOT40 = la somme des différences entre les concentrations horaires en ozone supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup> et 80 µg/m<sup>3</sup>, basée uniquement sur les valeurs horaires mesurées de 8 heures à 20 heures sur la période de mai à juillet.



# Valeurs réglementaires et valeurs guides en air intérieur (VGAI)

## Valeurs réglementaires en air intérieur

	Valeurs réglementaires	
	Valeur guide	Valeur d'investigations complémentaires
Formaldéhyde	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b> dès 2015 <i>pour une exposition de longue durée</i> <b>10 µg/m<sup>3</sup></b> dès 2023 <i>pour une exposition de longue durée</i>	<b>100 µg/m<sup>3</sup></b>
Benzène	<b>5 µg/m<sup>3</sup></b> depuis 2013 <i>pour une exposition de longue durée</i> <b>2 µg/m<sup>3</sup></b> dès 2016 <i>pour une exposition de longue durée</i>	<b>10 µg/m<sup>3</sup></b>
Dioxyde de carbone	-	Indice de confinement = 5

(Sources : Décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène et 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)

## Valeurs guides de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail)

	VGAI		
	Court terme	Intermédiaire	Long terme
Formaldéhyde (parution 2007)	<b>50 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 2 heures	-	<b>10 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > à 1 an
Benzène (parution 2008)	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 1 à 14 jours	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 14 jours à 1 an	<b>10 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > à 1 an
Trichloroéthylène (parution 2009)	-	<b>800 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 14 jours à 1 an	<b>2 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10 <sup>-6</sup>
Tétrachloroéthylène (parution 2010)	<b>1 380 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 1 à 14 jours	-	<b>250 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > 1 an
Particules PM10 et PM2,5 (parution 2010)	<p align="center"><u>Pas de VGAI proposées</u>            L'ANSES recommande la mise en œuvre des valeurs guides de l'OMS pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur :</p>		
	<b>50 µg/m<sup>3</sup></b> pour les PM10 <b>25 µg/m<sup>3</sup></b> pour les PM2,5 sur 24 heures		<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> pour les PM10 <b>10 µg/m<sup>3</sup></b> pour les PM2,5 sur le long terme
Dioxyde d'azote (parution 2013)	<b>200 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 1 heure	-	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > 1 an
Acroléine (parution 2013)	<b>6,9 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 1 heure	-	<b>0,8 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > 1 an
Acétaldéhyde (parution 2014)	<b>3 000 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition de 1 heure	-	<b>160 µg/m<sup>3</sup></b> pour une exposition > 1 an



## Valeurs repères d'aide à la gestion de l'air dans les espaces clos pour les PM10

Le Haut Conseil de la Santé Publique en France propose des valeurs de gestion provisoires :

	Valeur d'action immédiate ou rapide	Valeur repère	Valeur cible
Poussières en suspension PM10	75 µg/m <sup>3</sup>	30 µg/m <sup>3</sup> en 2015  2017 : 27 µg/m <sup>3</sup> 2019 : 24 µg/m <sup>3</sup> 2021 : 21 µg/m <sup>3</sup> 2023 : 18 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>

## Valeurs réglementaires en atmosphère de travail

La prévention des maladies d'origine professionnelle demande que l'exposition des personnes aux polluants présents dans l'air des lieux de travail soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possibles. Des valeurs d'exposition professionnelle (VLEP) ont donc été définies par le ministère chargé du travail et par la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie.

La VME ou **valeur limite de moyenne exposition** : c'est la valeur destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen terme, mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

La VLE ou **valeur limite d'exposition à court terme** : c'est la valeur dont le respect permet d'éviter le risque d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

Le tableau suivant regroupe les valeurs pour chaque polluant réglementé :

Polluant	VME	VLE
1-méthoxy-2-propanol (mg/m <sup>3</sup> )	375	568
2-éthoxyéthanol (mg/m <sup>3</sup> )	19	-
1,2,4-triméthylbenzène (mg/m <sup>3</sup> )	100	-
1,4-dichlorobenzène	4 500 µg/m <sup>3</sup>	306 mg/m <sup>3</sup>
2-butoxyéthanol	9 800 µg/m <sup>3</sup>	147,6 mg/m <sup>3</sup>
Styrène (mg/m <sup>3</sup> )	215	-
Benzène (µg/m <sup>3</sup> )	3 250	-
Trichloroéthylène (mg/m <sup>3</sup> )	405	1 080
Ethylbenzène (mg/m <sup>3</sup> )	442	884
Toluène (mg/m <sup>3</sup> )	375	550
Cyclohexane (mg/m <sup>3</sup> )	1 050	1 300
Xylènes (mg/m <sup>3</sup> )	221	442
Formaldéhyde (µg/m <sup>3</sup> )	610	1 230
Acétaldéhyde (mg/m <sup>3</sup> )	180	-
Acroléine (µg/m <sup>3</sup> )	-	250
Propanal (mg/m <sup>3</sup> )	31	20

(Source : INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) – ND 2098-174-99, Hygiène et sécurité du travail, 1<sup>er</sup> trimestre 1999, n°174)



## Valeurs recueillies dans des études antérieures similaires

Pour les polluants autres que le formaldéhyde et le benzène, ne disposant pas de VGAI ou d'autre valeur repère de comparaison, les teneurs seront comparées aux valeurs relevées dans d'autres études.

### Autres aldéhydes

Polluants (µg/m <sup>3</sup> )	OQAI <sup>1</sup>	ASPA <sup>2</sup>	atmo Nord - Pas-de-Calais <sup>3</sup>	Air Breizh <sup>4</sup>	Lig'Air <sup>5</sup>	Air Normand <sup>6</sup> (été)	Air PACA <sup>7</sup>
Propanal	-	moy <sup>8</sup> : 3 min : < 0,4 méd <sup>9</sup> : 2 max : 19	moy : 2,7 min : 1,2 max : 6,7	moy : 1,5 min : 1 méd : 1,6 max : 1,8	min : 1 max : 4	moy : 2,4 min : 1,9 max : 2,8	moy : 1,31 min : 1,2 max : 1,5
Butanal	-	moy : 8 min : 1 méd : 7 max : 30	moy : 7,7 min : 3,9 max : 14,5	moy : 4,7 min : 3,7 méd : 4,6 max : 6,7	min : 3 max : 14	moy : 4,3 min : 4,1 max : 4,8	-
Benzaldéhyde	-	moy : 1 min : < 0,4 méd : 1 max : 6	moy : 0,8 min : 0,4 max : 1,2	moy : 0,8 min : 0,3 méd : 0,6 max : 2,1	min : 0 max : 4	moy : 0,7 min : 0,3 max : 1	moy : 0,3 min : < 0,2 max : 0,5
Isopentanal	-	moy : 1 min : < 0,5 méd : 1 max : 2	moy : 0,9 min : 0,5 max : 1,9	moy : 0,7 min : 0,3 méd : 0,6 max : 1,8	min : 0 max : 3	moy : 0,7 min : 0,6 max : 0,9	moy : < 0,3
Pentanal	-	moy : 2 min : 1 méd : 2 max : 19	moy : 3,8 min : 1,8 max : 9,6	moy : 1,6 min : 1,1 méd : 1,5 max : 2,4	min : 1 max : 13	moy : 2 min : 1,4 max : 2,7	moy : 0,9 min : 0,35 max : 1,4
Hexanal	min : 6,4 méd : 18,1 max : 44,2	-	moy : 16,8 min : 4,7 max : 45,5	moy : 8,3 min : 5 méd : 8,3 max : 12,6	min : 5 max : 46	moy : 12,9 min : 11,1 max : 14,1	-

<sup>1</sup> Campagne pilote (2001) – mai / juin 2001 – 12 écoles primaires, 4 classes maternelles, 2 dortoirs

<sup>2</sup> Campagne sur Strasbourg du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (2004-2005) – novembre 2004 / janvier 2005 – 222 classes primaires

<sup>3</sup> Campagne dans la région Nord - Pas-de-Calais (2008) – mars à juin 2008 – 10 écoles et crèches

<sup>4</sup> Campagne sur l'agglomération de Rennes du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Bretagne (2009-2010) – juin 2009 / janvier 2010 – 5 écoles primaires

<sup>5</sup> Etat des lieux de la qualité de l'air à l'intérieur des classes par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en région Centre (2008-2009) – janvier 2010 – Etude AICOLE (l'Air à l'Intérieur des ÉCOLEs en région Centre) – 27 écoles urbaines et rurales

<sup>6</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Normandie (2012-2013) – crèche du CHU de Rouen

<sup>7</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Provence - Alpes - Côte d'Azur (2013) – une école primaire de la ville de Nice

<sup>8</sup> moyenne

<sup>9</sup> médiane





Autres composés organiques volatils

Polluants ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ORAMIP <sup>1</sup>	atmo Nord - Pas-de-Calais <sup>2</sup>	ASPA <sup>3</sup>	ASPA <sup>4</sup>	ASPA <sup>5</sup>	Air Normand <sup>6</sup> (été/hiver)
Toluène	7,3	moy : 10,1 min : 3,5 max : 40	8,2	moy : 3,7 min : 2,9 max : 5,1	1,8	moy : 8,9 / 4,6 min : 8,2 / 4,5 max : 10 / 4,9
m- + p-xylène	2,4	moy : 6,5 min : 1,6 max : 17	3,2	moy : 2,2 min : 2 max : 2,9	2,2	moy : 6,8 / 3,8 min : 6,7 / 3,8 max : 7,2 / 3,9
o-xylène	1	moy : 2,3 min : 0,7 max : 6,3	1,4	moy : 0,8 min : 0,7 max : 1,2	0,9	
Ethylbenzène	0,8	moy : 2,1 min : 0,6 max : 5,3	1,2	moy : 1 min : 0,6 max : 2,1	1,6	moy : 0,7 / 1 min : 0,6 / 1 max : 0,9 / 1,1
1,2,4-triméthylbenzène	-	moy : 7,6 min : 1,1 max : 30,2	8,9	-	-	moy : 2 / 1,6 min : 1,3 / 1,5 max : 3 / 1,8
1,4-dichlorobenzène	-	moy : 0,2 min : 0,1 max : 0,6	2,6	moy : 1,4 min : 0,7 max : 3,3	0,3	moy : < 0,1 / < 0,1
Styrène	0,4	moy : 0,8 min : 0,5 max : 1,4	1,4	moy : 1 min : 0,9 max : 1,2	2,6	moy : 0,8 / 0,7 min : 0,6 / 0,6 max : 1,3 / 1
n-décane	5,8	moy : 4,6 min : 1 max : 12,9	13	moy : 0,4 min : 0,4 max : 0,5	0,5	moy : 2,6 / 2,5 min : 2,5 / 2,3 max : 2,8 / 2,7
n-undécane	3,7	moy : 7 min : 1,5 max : 22	30	moy : 1 min : 0,6 max : 1,9	1,1	moy : 5,9 / 5,5 min : 5,5 / 3 max : 6,3 / 7,3
Cyclohexane	-	moy : 2,1 min : 0,6 max : 6,8	1	-	-	-
Alpha-pinène	-	moy : 22,5 min : 2,4 max : 127,5	8,3	moy : 4,7 min : 1,1 max : 14,9	49,3	moy : 3,9 / 2 min : 2,6 / 1,6 max : 6,2 / 2,4
Limonène	-	moy : 10,5 min : 1,7 max : 31,1	18	moy : 2,4 min : 1,2 max : 5,7	8,7	moy : 6,8 / 5 min : 4,8 / 3,1 max : 10,9 / 7

<sup>1</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Midi - Pyrénées (juillet 2005) – crèche de Cugnaux

<sup>2</sup> Campagne dans la région Nord - Pas-de-Calais (2008) – mars à juin 2008 – 10 écoles et crèches

<sup>3</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (novembre 2008) – école primaire Pierre Curie à Erstein

<sup>4</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (juin 2009) – école Jules Verne de Staffelfelden

<sup>5</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (juin 2009) – école de Zimmersheim

<sup>6</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Normandie (2012-2013) – crèche du CHU de Rouen



Polluants ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ORAMIP <sup>1</sup>	atmo Nord - Pas-de-Calais <sup>2</sup>	ASPA <sup>3</sup>	ASPA <sup>4</sup>	ASPA <sup>5</sup>	Air Normand <sup>6</sup> (été/hiver)
2-éthoxyéthanol	-	moy : 1,4 min : < LD max : 7,1	1,4	moy : 3,2 min : 0,8 max : 8,6	< 0,1	-
2-butoxyéthanol	-	moy : 9 min : 0,3 max : 30	4,5	moy : 4,8 min : 1,3 max : 8,3	0,3	moy : 12,5 / 5 min : 2 / 2,2 max : 18 / 7,1
1-méthoxy-2-propanol	-	moy : 13,3 min : 0,2 max : 101,6	57	moy : 2,1 min : 0,9 max : 3,2	0,5	moy : 1 / 1,8 min : 0,3 / 1,3 max : 2,1 / 2,7
2-éthyl-1-hexanol	-	moy : 5,9 min : 0,2 max : 43	8	moy : 14,3 min : 2,2 max : 44	2,5	-
n-butylacétate	-	moy : 2,2 min : 0,1 max : 9,7	24	moy : 7,4 min : 1,4 max : 23,1	1,5	-

 Etude européenne SINPHONIE<sup>7</sup>

Polluants	Unité	Min	Médiane	Max
Benzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< LQ	2	38
Trichloroéthylène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< LQ	< LQ	126
Tétrachloroéthylène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< LQ	< LQ	81
Limonène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< LQ	9,3	672
Formaldéhyde	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,3	12	66
Dioxyde d'azote	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1	11	88
Ozone	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< LQ	3,2	142
Poussières en suspension PM <sub>2,5</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3,6	37	250
Dioxyde de carbone	ppm	269	1 257	4 957

<sup>1</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Midi - Pyrénées (juillet 2005) – crèche de Cugnaux

<sup>2</sup> Campagne dans la région Nord - Pas-de-Calais (2008) – mars à juin 2008 – 10 écoles et crèches

<sup>3</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (novembre 2008) – école primaire Pierre Curie à Erstein

<sup>4</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (juin 2009) – école Jules Verne de Staffelfelden

<sup>5</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Alsace (juin 2009) – école de Zimmersheim

<sup>6</sup> Mesure de qualité de l'air intérieur par le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Normandie (2012-2013) – crèche du CHU de Rouen

<sup>7</sup> 112 écoles et crèches instrumentées – résultats parus en 2013



# RESULTATS DE L'ETUDE

## Contexte météorologique

Le contexte météorologique peut avoir un impact sur la qualité de l'air intérieur. En effet, les conditions météorologiques vont influencer le comportement des occupants (chauffage, aération...), ce qui va modifier les sources et les conditions de dispersion des polluants intérieurs. De plus, la qualité de l'air extérieur va également varier selon la météorologie, sous l'effet de conditions plus ou moins favorables à la dispersion des polluants (vents, précipitations, pressions...), et influencer la qualité de l'air intérieur par apport potentiel de polluants extérieurs. Ainsi, il est important d'étudier les conditions météorologiques dans lesquelles les mesures des polluants ont été effectuées.

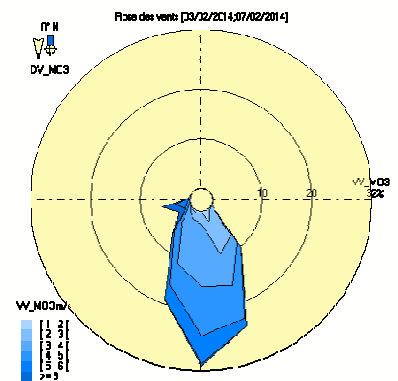
Les données météorologiques inscrites dans les tableaux sont issues de la station fixe de Sequedin.

### Phase 1

		<u>Thierry Launay</u> Période du 03 au 07 février 2014	<u>Briand Buisson</u> Période du 10 au 21 février 2014
Température (°C)	Moyenne	7,9	7,6
	Minimum	4,3	3,1
	Maximum	12,8	13,5
Pression atmosphérique (hPa)	Moyenne	995,4	1002,7
Vent (m/s)	Vitesse moyenne	4,1	3,2
	Minimum	0,9	0,5
	Maximum	9,0	6,8
Humidité relative (%)	Moyenne	80,4	84,3

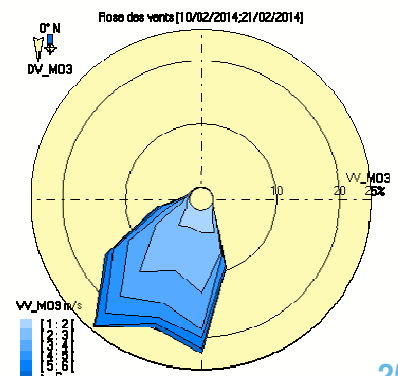
### Thierry Launay – du lundi 03 au vendredi 07 février 2014

La semaine de mesures a été caractérisée par des conditions météorologiques variables : les journées de lundi et mardi ont bénéficié d'un temps calme, le ciel était dégagé et ensoleillé, et les températures très douces. Ensuite, et jusqu'à la fin de la semaine, le temps s'est dégradé : les averses de pluie ont été de plus en plus fréquentes et des rafales de vent se sont fait ressentir dans la nuit du jeudi au vendredi. Le vent a globalement été de secteur Sud et la température moyenne était de 7,9°C.



### Briand Buisson – du lundi 10 au vendredi 21 février 2014

La première semaine de mesures a été caractérisée par des conditions météorologiques variables : l'alternance entre averses et éclaircies a été récurrente et parfois accompagnée de rafales de vent. Les températures relevées ont été douces pour la saison, avec une moyenne de 6,3°C (pas de gelées matinales).





Durant la seconde semaine, les conditions météorologiques ont été globalement agréables. Lundi et mardi, le ciel est resté quelque peu couvert, alternant grisaille et éclaircies. A partir de mercredi, le temps s'est nettement amélioré, laissant place à un ciel dégagé et ensoleillé, et ce jusqu'au jeudi. Le vendredi, il y a eu quelques averses de pluie le matin, puis de nouveau un temps agréable l'après-midi. La température moyenne relevée était de 8,2°C. Les vents dominants ont été de secteur Sud – Sud-Ouest.

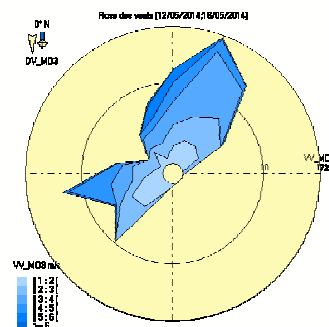
**Globalement pour la phase 1 de mesure, les conditions météorologiques ont été variables, plutôt favorables à une bonne qualité de l'air extérieur, ce qui a pu globalement limiter l'influence de la pollution extérieure sur l'air intérieur.**

 [Phase 2](#)

		<b>Thierry Launay</b> Période du 12 au 16 mai 2014	<b>Briand Buisson</b> Période du 19 au 23 mai 2014
<b>Température (°C)</b>	Moyenne	11,9	17,5
	Minimum	6,1	11,1
	Maximum	17,9	26,0
<b>Pression atmosphérique (hPa)</b>	Moyenne	1 024,2	1 005,5
<b>Vent (m/s)</b>	Vitesse moyenne	2,5	1,9
	Minimum	0,4	0,3
	Maximum	6,0	5,4
<b>Humidité relative (%)</b>	Moyenne	72,9	75,2

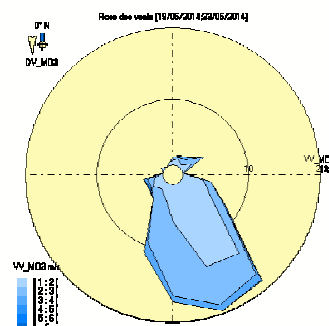
**Thierry Launay – du lundi 12 au vendredi 16 mai 2014**

Le début de semaine a été caractérisé par un temps maussade, nuageux voire orageux (en particulier le mardi). Ensuite, les conditions se sont améliorées : le ciel s'est progressivement dégagé, laissant place à de belles éclaircies mercredi et jeudi, pour terminer avec une journée très ensoleillée le vendredi. Les vents dominants ont été de secteur Nord – Nord-Est et de secteur Sud - Ouest. Les températures ont été variées, de 6,1°C pour la minimale à 17,9°C pour la maximale (obtenue le vendredi).



**Briand Buisson – du lundi 19 au vendredi 23 mai 2014**

Lors de cette seconde phase de mesures, les conditions météorologiques ont été variables. En début de semaine, le temps a été calme et ensoleillé. Ensuite, la tendance a rapidement changé : des averses orageuses sont tombées dès le mardi soir et le temps est resté ainsi orageux jusqu'à la fin de la semaine, alternant éclaircies et averses. Les températures ont oscillé entre 11°C et 26°C, et les vents dominants étaient de secteur Sud – Sud-Est, faibles à modérés.



**Globalement, pour la phase 2, les conditions ont été moins favorables à une bonne dispersion des polluants et ont plutôt engendré une mauvaise qualité de l'air. Cette pollution extérieure a pu influencer les niveaux de certains polluants en air intérieur.**



# Exploitation des résultats de mesures

## Dispositif de mesures fixes de référence

Les données issues des écoles Thierry Launay et Briand Buisson ont été comparées aux stations de mesures fixes les plus proches mesurant les mêmes paramètres, sur des typologies variées.

Les stations fixes utilisées pour cette étude sont les suivantes :

Polluant	Station fixe	Typologie
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	- Lille Fives - Roubaix Serres	- Urbaine - Proximité automobile
Poussières en suspension (PM10)	- Lille Fives - Roubaix Serres	- Urbaine - Proximité automobile
Poussières en suspension (PM2,5)	- Lille Fives - Roubaix Serres	- Urbaine - Proximité automobile
Ozone (O <sub>3</sub> )	- Marcq-en-Baroeul	- Urbaine

La carte ci-dessous localise les différents sites de mesures concernés par l'étude.





## Bilan métrologique

Sur le plan technique, on note l'absence de vandalisme au cours des 2 campagnes, sur les 2 sites. Par ailleurs, le caisson étanche développé spécifiquement pour l'étude, ayant permis l'installation en extérieur de matériels de mesure de la qualité de l'air intérieur (Q-Trak et Grimm), a correctement joué son rôle de protection.

**Les données délivrées par les appareils de mesures automatiques** sont systématiquement validées puis agrégées afin de calculer des paramètres statistiques comparables à la réglementation en vigueur et interpréter rigoureusement la qualité de l'air sur la zone d'étude concernée. Les étapes de validation sont détaillées en annexe 1.

**Pour les mesures par prélèvement passif**, celles-ci sont techniquement validées en laboratoire par comparaison avec les échantillons blancs, non exposés pendant la période de mesures. Puis, les données sont examinées en considérant le contexte environnemental du site de mesures, de la même manière que la validation environnementale des données issues des analyseurs automatiques.

Une fois les données validées, un taux de fonctionnement est calculé pour chaque paramètre mesuré. Il s'agit du pourcentage de données valides d'un appareil de mesures, sur une période définie (année civile, phase de mesures, semaine...).

Un **taux de fonctionnement inférieur à 75%** signifie que la concentration moyenne du polluant n'est pas représentative sur le temps d'exposition (ici équivalent à une période de mesures). **Aucune comparaison avec les valeurs réglementaires du polluant pour l'année de l'étude n'est possible.**

### 1ère phase

La campagne « hiver » s'est déroulée du 03 au 21/02/2014 :

- 4,5 jours pour Thierry Launay : du lundi 03/02/2014 à 10h au vendredi 07/02/2014 à 15h ;
- 2 x 4,5 jours pour Briand Buisson : du lundi 10/02/2014 à 10h au vendredi 14/02/2014 à 15h et du lundi 17/02/2014 à 10h au vendredi 21/02/2014 à 15h.

Les taux de fonctionnement sont détaillés en annexe 2. Ils sont satisfaisants (c'est-à-dire supérieur à 75%) sauf dans le cas de :

- Paramètres de confort – mesure en extérieur – Ecole Thierry Launay : 26% ;
- Particules PM10 et PM2,5 – mesure en extérieur – Ecole Thierry Launay : 43% ;
- Ozone – mesures de la station fixe de Marcq-en-Baroeul : 9,2%.

Les appareils de mesure en continu (Q-Trak et Grimm), installés en extérieur à Thierry Launay, ont fait l'objet de plusieurs coupures électriques, occasionnant une perte de données importante et par conséquent un taux de fonctionnement insuffisant.

Des pertes de données ont également eu lieu à Briand Buisson lors de la première semaine de mesures, pour la mesure des particules à la fois en intérieur et en extérieur. Pour cette raison, les mesures en continu ont été prolongées pendant une seconde semaine de mesure et exploitées pour la période du 17 au 21/02/2014, afin de totaliser un taux de fonctionnement suffisant.

### 2ème phase

La campagne « été » s'est déroulée du 12 au 23/05/2014 :

- 4,5 jours pour Thierry Launay : du lundi 12/05/2014 à 10h au vendredi 16/05/2014 à 15h ;
- 4,5 jours pour Briand Buisson : du lundi 19/05/2014 à 10h au vendredi 23/05/2014 à 15h.

Les taux de fonctionnement sont détaillés en annexe 2. Ils sont satisfaisants sauf dans le cas de la station fixe de Lille Fives qui présente des taux de fonctionnement en NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2,5 inférieurs à 75%.



## Paramètres de confort

La technique de mesure par Q-Trak est spécifique de l'air intérieur. Les appareils sont étalonnés avant chaque campagne de terrain.

Afin de comparer les résultats obtenus à ceux de l'air ambiant (le dioxyde de carbone ne faisant pas partie des objectifs de surveillance de nos stations fixes), un Q-Trak a également été placé en extérieur. **Cette mesure du CO<sub>2</sub> dans l'air ambiant est ainsi une mesure indicative. Les teneurs extérieures ne sont pas comparables à des valeurs obtenues par d'autres moyens de mesure.**

### [Dioxyde de carbone](#)

#### [Moyennes durant la campagne de mesure](#)

Le pas de temps de notre appareil, réglé en quart-heure, ne nous permet pas de calculer l'indice de confinement (calcul sur un pas de temps de 10 minutes).

Ecole Thierry Launay		Dioxyde de carbone en ppm	
		Classe 1	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	2 398 le 04/02/2014 à 12h	NR <sup>1</sup>
	Phase 2	2 855 le 13/05/2014 à 10h	315 le 16/05/2014 à 5h
Moyenne	Phase 1	640	NR
	Phase 2	727	253
	<b>Campagne</b>	<b>683</b>	<b>NR</b>

Ecole Briand Buisson		Dioxyde de carbone en ppm		
		Classe 1	Classe 2 <sup>2</sup>	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	1 090 le 20/02/2014 à 10h	NM <sup>3</sup>	274 le 18/02/2014 à 22h
	Phase 2	1 012 le 23/05/2014 à 13h	1 112 le 23/05/2014 à 13h	255 le 23/05/2014 à 5h
Moyenne	Phase 1	415	NM	255
	Phase 2	309	412	224
	<b>Campagne</b>	<b>362</b>	<b>NR</b>	<b>239</b>

<sup>1</sup> NR : non représentatif

<sup>2</sup> Sur Briand Buisson, la première phase a montré des résultats en aldéhydes et autres COV plus marqués en classe 2. Cette salle n'étant pas située dans la même partie de bâtiment que les 2 autres (le bâtiment est plus ancien et le volume de la salle plus important, en raison de la hauteur sous plafond) et n'étant pas ventilée par la même CTA, il a été choisi d'installer un Q-Trak en phase 2, pour mesurer le CO<sub>2</sub> et étudier ainsi son niveau de confinement, en comparaison de la classe 1.

<sup>3</sup> NM : non mesuré

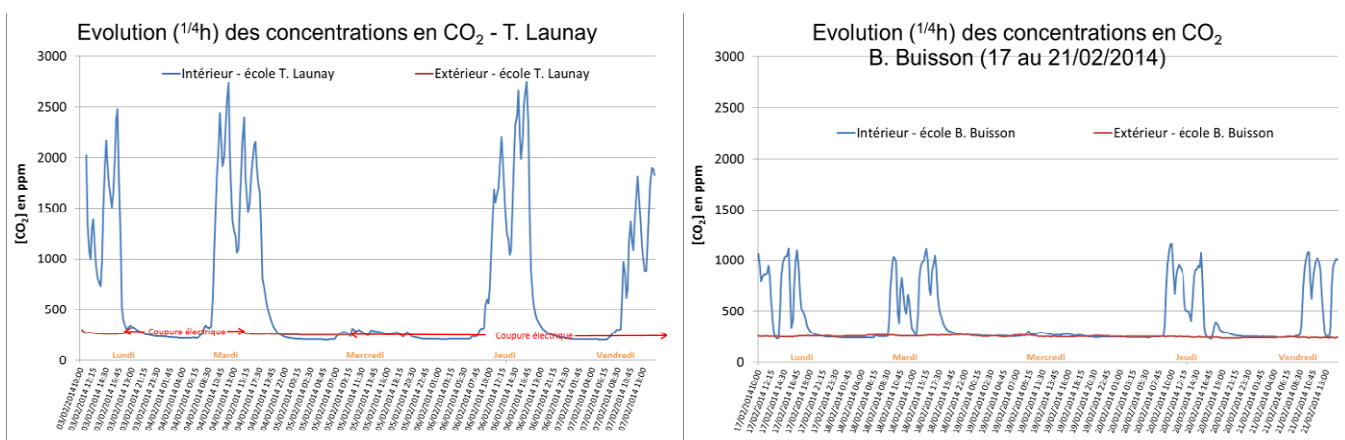


En 2008, lors de notre campagne régionale, la teneur moyenne en dioxyde de carbone sur 10 établissements était de 1 052 ppm (entre 583 et 1 577), avec une valeur maximale relevée à 4 922 ppm.

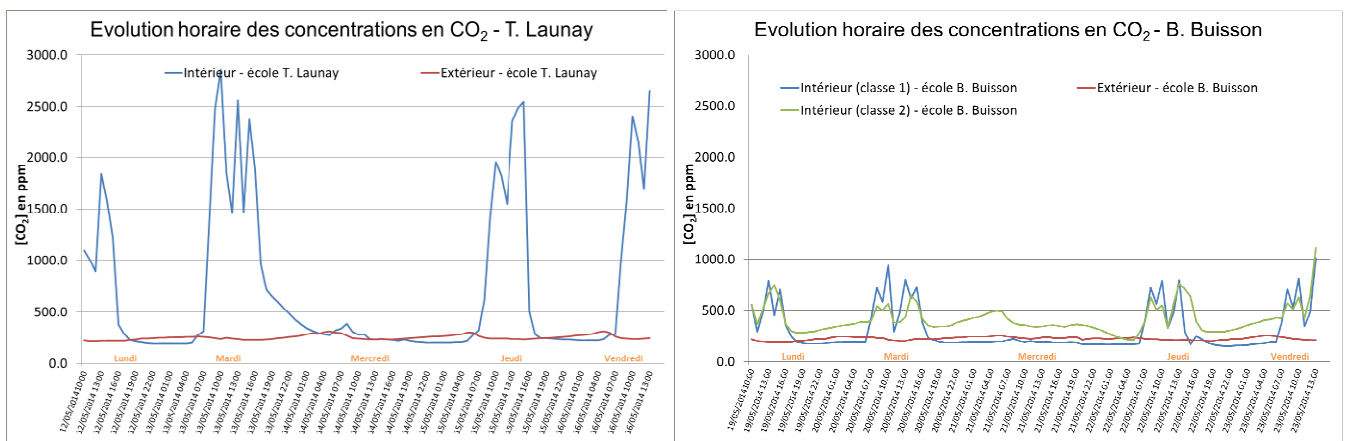
**Les deux écoles de la campagne SCOL-AIR montrent ainsi des valeurs situées plutôt dans la fourchette basse et même très basse pour Briand Buisson. Les teneurs moyennes restent inférieures aux seuils de 1 000 et 1 300 ppm.**

Les teneurs intérieures sont logiquement supérieures à celles relevées à l'extérieur, en raison du dioxyde de carbone dégagé par la respiration, en période d'occupation des locaux.

Evolution des concentrations (pas de temps : quart-horaire et horaire)



*Evolution des concentrations en dioxyde de carbone pendant la phase 1 (hiver)*



*Evolution des concentrations en dioxyde de carbone pendant la phase 2 (été)*

**Au cours des 2 phases de mesure, pour les 2 établissements, on relève des pics de dioxyde de carbone en lien avec les périodes d'occupation des locaux par les enfants et les enseignants :**

- on observe que les enfants n'ont pas classe la journée de mercredi (confirmé par les budgets espace-temps-activités),
- on observe globalement 4 pics par journée les autres jours de semaine, entre l'arrivée et la sortie de l'école, correspondant aux périodes de récréations du matin et de l'après-midi, ainsi qu'à la pause du midi. La





diminution du taux de CO<sub>2</sub> aux périodes de récréation est également relevée par les enseignants des classes équipées de mesures en continu, qui ont renseigné les budgets espace-temps-activités pendant les mesures.

**En dehors de ces périodes d'occupation scolaire, le taux de dioxyde de carbone intérieur est proche de la concentration extérieure.**

Le mercredi, on note des pics ponctuels et modérés, correspondant à la présence du personnel d'entretien :

- Thierry Launay : lavage du sol et nettoyage du mobilier le 05/02 matin et le 14/05 matin,
- Briand Buisson : nettoyage du mobilier le 19/02 matin et le 21/05 matin.

Sur l'établissement Thierry Launay, en période d'occupation des enfants, **on dépasse largement le seuil de 1000 ppm** (limite réglementaire et normative dans les espaces intérieurs la plus usuelle, exigée en France par le RSDT (non résidentiel)), **ainsi que le seuil de 2000 ppm** (risque de somnolence). Ainsi, en période de présence des enfants, le **renouvellement d'air s'avère insuffisant**. L'école ne présente cependant pas un taux de confinement extrême (correspondant à une concentration en CO<sub>2</sub> supérieure à 1 700 ppm 100% du temps).

La concentration moyenne en dioxyde de carbone de la phase 2 est légèrement supérieure à celle de la phase 1. Dans les budgets espace-temps-activités, on relève ainsi une ouverture des portes moins importante en phase 2 : 20 min/jour (10 matin + 10 après-midi), contre 1h/jour en phase 1 (30 min matin + 30 min après-midi).

**On constate que les périodes de renouvellement d'air pendant les récréations n'ont dans cette classe pas suffi à ramener les concentrations de CO<sub>2</sub> à des niveaux acceptables.**

Sur l'école Briand Buisson, la concentration en CO<sub>2</sub> est **globalement inférieure au seuil de 1 000 ppm** (dépassements ¼ h très ponctuels en phase 1), ce qui correspond à un niveau de confinement quasi nul et donc à un très bon taux de renouvellement d'air. Le seuil de 2000 ppm n'est quant à lui jamais atteint. On note en phase 2 que le renouvellement d'air est moins efficace en classe 2 qu'en classe 1 (visible le mercredi, en l'absence des enfants confirmée par le budget espace-temps-activités). L'hypothèse d'un confinement plus important dans cette salle semble donc se confirmer, la cinétique de diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> étant plus lente, avec maintien d'un niveau de fond plus élevé. Ces constats laissent à penser que les CTA<sup>1</sup> jouent correctement leur rôle dans le système de VMC<sup>2</sup> en place au sein de l'établissement. Le fonctionnement de la CTA en charge de la classe 2 est cependant à contrôler.

Pour la classe 1, la concentration moyenne en dioxyde de carbone de la phase 1 est légèrement supérieure à celle de la phase 2. Le budget espace-temps-activités de la phase 2 n'ayant pas été renseigné, l'interprétation n'est pas possible.

<sup>1</sup> Centrale de Traitement de l'Air

<sup>2</sup> Ventilation Mécanique Contrôlée



## Température

### Moyennes durant la campagne de mesure

Ecole Thierry Launay		Température en °C	
		Classe 1	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	25 le 03/02/2014 à 17h et le 04/02/2014 à 16h	NR
	Phase 2	24 le 16/05/2014 à 13h	23 le 16/05/2014 à 13h
Moyenne	Phase 1	22	NR
	Phase 2	20	14
	<b>Campagne</b>	<b>21</b>	<b>NR</b>

Ecole Briand Buisson		Température en °C	
		Classe 1	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	23 le 20/02/2014 à 15h	15 le 19/02/2014 à 13h
	Phase 2	24 le 20/05/2014 à 13h	29 le 19/05/2014 à 16h
Moyenne	Phase 1	21	8
	Phase 2	22	18
	<b>Campagne</b>	<b>21,5</b>	<b>13</b>

En 2008, lors de notre campagne régionale, la température moyenne sur 10 établissements était de 22,7°C (entre 20,5 et 27,5), avec une valeur maximale relevée à 37,9°C.

Selon la norme AFNOR XP X 43-401 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels-1998), il est conseillé d'avoir une température de l'ordre de 22°C. **Dans le cadre de la campagne SCOL-AIR, les relevés de température sont corrects pour les 2 établissements.**



 Humidité relative

Moyennes durant la campagne de mesure

Ecole Thierry Launay		Humidité Relative en %	
		Classe 1	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	45 le 07/02/2014 à 12h	NR
	Phase 2	61 le 13/05/2014 à 13h	81 le 14/05/2014 à 5h
Moyenne	Phase 1	34	NR
	Phase 2	45	56
	<b>Campagne</b>	<b>39,5</b>	<b>NR</b>

Ecole Briand Buisson		Humidité Relative en %	
		Classe 1	Extérieur
Maximum horaire	Phase 1	54 le 20/02/2014 à 19h	91 le 20/02/2014 de 7h à 9h
	Phase 2	65 le 20/05/2014 à 17h	92 le 21/05/2014 à 1h
Moyenne	Phase 1	40	77
	Phase 2	52	65
	<b>Campagne</b>	<b>46</b>	<b>71</b>

En 2008, lors de notre campagne régionale, l'humidité relative moyenne sur 10 établissements était de 47,1% (entre 31,4 et 64,3), avec une valeur maximale relevée à 77,8%.

Selon la norme AFNOR XP X 43-401 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels-1998), il est conseillé de maintenir une humidité relative entre 40 et 60%. **Dans le cadre de la campagne SCOL-AIR, les relevés d'humidité relative sont corrects pour les 2 établissements.** L'air intérieur a été plus sec pendant la période hivernale (phase 1), notamment à l'école Thierry Launay, où l'humidité relative est faible en début de semaine puis augmente progressivement en parallèle au taux d'humidité extérieure. Le taux d'humidité plus faible en début de semaine peut aussi être lié à des températures intérieures légèrement plus élevées, par l'usage accru du chauffage, en compensation des températures extérieures plus fraîches. Il pourrait être envisagé l'installation d'un système d'humidification de l'air pour compenser la sécheresse de l'air intérieur.



## Analyse des polluants

Les données extérieures relevées au cours de la campagne SCOL-AIR ont pour objectif d'être comparées aux valeurs relevées en air intérieur, mais ne sont pas représentatives de la teneur moyenne sur les sites des 2 établissements au cours d'une année (une représentativité de 14% de l'année aurait été nécessaire pour la comparaison aux valeurs réglementaires annuelles, soit 2 phases de mesures de 4 semaines).

### Les aldéhydes

 Moyennes durant la campagne de mesures

Les résultats détaillés classe par classe sont présentés en annexe 3.

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Campagne SCOL-AIR sur Thierry Launay			Extérieur
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Formaldéhyde	7,5	6,5	8,2	1,5
Acétaldéhyde	3,3	2,9	3,7	1,1
Acroléine	< LD <sup>1</sup>			< LD
Propanal	1,6	1,6	1,7	0,5
Butanal	IC <sup>2</sup>			IC
Benzaldéhyde	0,4	0,4	0,5	0,2
Isopentanal	0,2			0,1
Pentanal	2,2	2,1	2,3	< LD
Hexanal	7,7	6,3	9	0,6

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Campagne SCOL-AIR sur Briand Buisson			Extérieur
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Formaldéhyde	11,9	11,1	15,8	2,1
Acétaldéhyde	4,3	3,7	5,1	1,6
Acroléine	< LD			< LD
Propanal	2,9	1,9	3,9	0,7
Butanal	IC			IC
Benzaldéhyde	1	0,8	1,4	0,3
Isopentanal	0,2	0,2	0,3	0,1
Pentanal	3,1	2,9	3,4	< LD
Hexanal	12,4	10,3	15,7	0,9

<sup>1</sup> < LD : inférieur à la limite de détection

<sup>2</sup> IC : Interférence Chromatographique



**Au regard de la valeur réglementaire applicable aux ERP pour le formaldéhyde, aucun dépassement n'est constaté pour les 2 établissements. Pour l'école Thierry Launay, les teneurs sont même inférieures au seuil de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , applicable à l'horizon 2023.**

Au regard des VGAI (ANSES) ou des autres valeurs repères existantes, les valeurs sont respectées pour l'acétaldéhyde.

**Les résultats en acroléine ne sont pas concluants.** En effet, il semble que la technique par tubes passifs ne soit pas adaptée au prélèvement de cette molécule, notamment du fait de son instabilité sur le support de piégeage.

Les valeurs de **propanal, benzaldéhyde, isopentanal et hexanal** ont été comparées aux VLEP et aux données d'études existantes : on ne note cependant pas de valeur anormalement élevée sur les deux écoles pour ces polluants.

**Pour la majorité des aldéhydes les concentrations intérieures sont toutes plus élevées que dans l'air ambiant** (ratio [Int.] / [Ext.] qui varie de 2 à 13 en fonction du composé). Les aldéhydes présents en air intérieur pourraient provenir d'apports de l'air extérieur, auxquels s'ajoutent les émissions des sources intérieures.

Seul le **pentanal** montre des résultats un peu différents : il n'est retrouvé qu'à l'intérieur des 2 établissements. Il existe donc une ou plusieurs sources intérieures spécifiques. Les valeurs relevées restent cependant faibles, de l'ordre de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur Thierry Launay et  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur Briand Buisson (ces valeurs restent du même ordre de grandeur que celles observées dans les autres études similaires recensées).

Globalement les concentrations sont légèrement inférieures à Thierry Launay par rapport à Briand Buisson, tant en air intérieur qu'en air extérieur. Cela pourrait d'une part s'expliquer par des conditions météorologiques plus favorables à une bonne qualité de l'air lors de ces périodes de mesures, limitant les apports de pollution par l'air extérieur. D'autre part, le bâtiment de cette école est plus ancien, et du fait d'une isolation de moins bonne qualité, l'air y est renouvelé plus fréquemment, ce qui pourrait permettre une meilleure évacuation des polluants émis en intérieur.

On constate également que les concentrations de la seconde phase sont supérieures à celle de la première phase, pour la majorité des résultats, ce qui peut s'expliquer par le caractère volatil des aldéhydes, dont l'évaporation est favorisée par les températures plus élevées lors du mois de mai. Seul le formaldéhyde montre une tendance légèrement différente : ses sources étant principalement intérieures, les variations en air extérieur sont moins significatives.

*A noter l'absence de résultat en butanal, sur les 2 établissements et au cours des 2 phases, en raison d'une interférence chromatographique lors de l'analyse, empêchant la séparation du butanal. Le laboratoire ne connaît pas la source de cette interférence, mais suspecte que le méthyléthylcétone, encore appelé butanone, puisse être responsable de cette interférence.*

*Pour les deux phases, les blancs « labo » et « terrain » ne présentent pas cette interférence à l'analyse, contrairement aux tubes installés sur les sites des deux établissements. Il ne s'agit donc ni d'un problème analytique, ni d'une erreur humaine ou d'une contamination lors du transport, mais bien d'une influence locale. Après recherche, au regard de notre inventaire des émissions et selon le Registre Français des Emissions Polluantes<sup>1</sup>, nous n'avons pas identifié de source environnementale de butanone à proximité, concernant les gros émetteurs, ce qui ne signifie pas que cette source n'existe pas, juste qu'elle n'est pas recensée.*

**A la lecture des résultats, pas de valeur significative nécessitant un regard particulier sur les budgets espace-temps-activités, qui mettrait en évidence une activité ou un usage spécifique.**

<sup>1</sup> Site internet : <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>



## Les composés organiques volatils

 Moyennes durant la campagne de mesures

Les résultats détaillés classe par classe sont présentés en annexe 4.

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Campagne SCOL-AIR sur Thierry Launay			Extérieur
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Benzène	0,9	0,9	1	0,9
Cyclohexane	0,3	0,3	0,4	0,2
1-méthoxy-2-propanol	6,6	1,6	16	< LD
Trichloroéthylène	< LD			< LD
2-éthoxyéthanol	< LD			< LD
Toluène	2,8	2,5	3,3	2,2
Tétrachloroéthylène	0,1			0,1
n-butylacétate	1,9	0,5	4,1	0,1
Ethylbenzène	0,3	0,3	0,4	0,2
m- + p-xylène	0,8	0,7	1	0,6
o-xylène	0,3	0,3	0,4	0,2
Styrène	0,5	0,4	0,6	0,2
2-butoxyéthanol	0,1	0,1	0,3	< LD
Alpha-pinène	0,3	0,2	0,4	< LD
n-décane	0,6	0,6	0,8	0,3
1,2,4-triméthylbenzène	0,6	0,6	0,7	0,3
1,4-dichlorobenzène	0,1			0,1
2-éthyl-1-hexanol	0,4	0,3	0,5	< LD
Limonène	2,9	2,3	3,3	0,4
n-undécane	0,8	0,8	0,9	0,3

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Campagne SCOL-AIR sur Briand Buisson			Extérieur
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Benzène	0,9	0,9	1	1,1
Cyclohexane	0,6	0,6	0,7	0,5
1-méthoxy-2-propanol	4,2	2,5	6,8	< LD
Trichloroéthylène	< LD	< LD	0,1	< LD
2-éthoxyéthanol	< LD			< LD
Toluène	3,6	3,1	4,4	1,4
Tétrachloroéthylène	0,1	0,1	0,2	0,1
n-butylacétate	6,4	5,8	7	0,1
Ethylbenzène	0,9	0,7	1,1	0,2
m- + p-xylène	2,3	1,9	2,7	0,4
o-xylène	0,9	0,7	1,1	0,1
Styrène	0,6	0,6	0,7	0,2
2-butoxyéthanol	0,4	0,3	0,6	< LD
Alpha-pinène	0,4	0,4	0,5	< LD
n-décane	0,5	0,5	0,7	0,3
1,2,4-triméthylbenzène	1,2	1	1,6	0,2
1,4-dichlorobenzène	0,1			< LD
2-éthyl-1-hexanol	0,7	0,6	0,9	< LD
Limonène	2,9	2,7	3,2	0,1
n-undécane	1,1	1	1,5	0,3



**Les résultats de mesure montrent qu'il n'y a pas d'exposition au trichloroéthylène et au 2-éthoxyéthanol sur les 2 sites**, aussi bien en intérieur qu'en extérieur. A noter également que pour le **1,4-dichlorobenzène**, les valeurs relevées sont proches de la limite de détection.

**Au regard des VGAI (ANSES) ou des autres valeurs repères existantes, les valeurs sont respectées pour le trichloroéthylène, le tétrachloroéthylène, le toluène, les xylènes et le styrène.**

**Quatre composés sont retrouvés uniquement à l'intérieur des 2 établissements :**

- **le 1-méthoxy-2-propanol**, qui présente les valeurs intérieures parmi les plus élevées relevées dans l'ensemble des classes, en comparaison des autres COV,
- **le 2-butoxyéthanol**,
- **l'alpha-pinène**,
- **le 2-éthyl-1-hexanol**.

Les travaux réalisés sur les 2 établissements : peintures et faux-plafonds à l'école Thierry Launay il y a plus de 5 ans et livraison du bâtiment Briand Buisson il y a moins d'un an (réhabilitation et construction neuve) pourraient expliquer les concentrations en 1-méthoxy-2-propanol (respectivement  $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Pour les trois autres composés, les teneurs restent faibles (légèrement supérieures sur Briand Buisson) en comparaison d'autres études similaires.

Contrairement au formaldéhyde, dont les teneurs en air extérieur sont faibles, **la contribution en benzène de l'air extérieur est significative**. Ainsi, le benzène a été mesuré dans des teneurs similaires en air intérieur et en air extérieur. Les teneurs relevées en intérieur et en extérieur sont similaires entre les deux établissements. La proximité des axes routiers à l'école Thierry Launay n'a pas eu d'impact distinct au cours de la campagne. Au regard de la valeur réglementaire applicable aux ERP pour le benzène, **aucun dépassement de la valeur de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'est cependant constaté pour les 2 établissements.**

Le **limonène et l'alpha-pinène** peuvent être considérés en partie comme des traceurs des activités de ménage, mais les valeurs observées sont faibles.

A défaut de VGAI, les teneurs des 6 derniers COV (**cyclohexane, n-butylacétate, éthylbenzène, n-décane, 1,2,4-triméthylbenzène et n-undécane**) ont été comparées aux VLEP et aux données d'études existantes. On ne note pas de valeur anormalement élevée sur l'ensemble des sites de mesures.

Globalement les concentrations en air intérieur sont plus élevées lors de la phase du mois de mai, ce qui est cohérent avec les conditions météorologiques (notamment les températures plus élevées) plus favorables à leur volatilisation. Cette tendance est beaucoup moins nette sur les niveaux des COV relevés en air extérieur, ce qui conforte l'influence prépondérante des sources d'émissions intérieures (ménage, travaux, matériaux de construction) pour ces composés.



## Le dioxyde d'azote

 Moyennes durant la campagne de mesures

Ecole Thierry Launay		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
Moyenne	Phase 1	22,6	24,0	24,4	32,8	20,6	24,4
	Phase 2	22,7	27,8	27,3	31,9	19,3	33,9
	Campagne	<b>22,6</b>	<b>25,9</b>	<b>25,8</b>	<b>32,3</b>	<b>19,9</b>	<b>29,1</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>0,69</b>	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>			

Les concentrations moyennes en dioxyde d'azote relevées à l'extérieur de l'école Thierry Launay sont proches de celles de la station de proximité automobile de Roubaix Serres. **L'exposition au trafic mise en évidence par la modélisation (choix initial de cette école) est confirmée par la mesure de terrain (la moyenne de la campagne SCOL-AIR est même légèrement supérieure à celle de la station fixe).**

Les 3 salles de classe sont orientées côté cour, mais les classes 2 et 3 montrent des teneurs proches, légèrement supérieures à celles de la classe 1. Elles se situent pourtant à des étages différents et sont réparties dans chacune des ailes du bâtiment : la classe 1 et la classe 3, situées respectivement au 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étage dans l'aile gauche du bâtiment et la classe 2 est située au 1<sup>er</sup> étage dans l'aile droite de l'école. L'orientation des vents laisse penser à un effet couloir des bâtiments vers la cour d'école (influence de l'A25 / Périphérique Sud de Lille).

Ecole Briand Buisson		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
Moyenne	Phase 1	18,5	21,1	17,6	29,5	28,6	35,4
	Phase 2	14,9	19,2	19,5	20,6	NR <sup>1</sup>	24,1
	Campagne	<b>16,7</b>	<b>20,1</b>	<b>18,5</b>	<b>25</b>	<b>NR</b>	<b>29,7</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>0,66</b>	<b>0,80</b>	<b>0,74</b>			

Les concentrations moyennes en dioxyde d'azote relevées à l'extérieur de Briand Buisson sont cette fois plus proches de celles de la station urbaine de Lille Fives. **Le choix initial de cette école, comme moins exposée, est de nouveau confirmé par la mesure terrain.**

Pour Briand Buisson, l'exposition est plus élevée au NO<sub>2</sub> côté rue (sur laquelle donne la classe 2), que côté cour (sur laquelle sont orientées la classe 1 et la classe 3).

A titre de comparaison, en 2008 lors de notre campagne régionale :

- la teneur moyenne en dioxyde d'azote sur 10 établissements était de 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en intérieur (entre 6 et 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et de 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en extérieur (entre 9 et 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- le ratio  $[\text{NO}_2]_{\text{Int.}} / [\text{NO}_2]_{\text{Ext.}}$  des 10 établissements était compris entre 0,52 et 0,92.

**Un risque possible de dépassement de la VGAI long terme (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition > 1 an) pourrait être envisagé sur l'ensemble du bâtiment Thierry Launay, ainsi que pour la classe 2 de Briand Buisson.**

**On note une forte influence de l'air extérieur sur l'air intérieur pour ce polluant, avec globalement plus de 70% du dioxyde d'azote extérieur qui est retrouvé en milieu intérieur pour les deux écoles (un abattement plus important est observé sur Briand Buisson).**

<sup>1</sup> NR : non représentatif





## Les poussières en suspension (PM10 et PM2,5)

Les particules mesurées sont de deux types :

- les particules PM2,5 = particules dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 µm (soit 0,0025 mm),
- les particules PM10 = particules dont le diamètre est inférieur ou égal à 10 µm (soit 0,01 mm).

### Moyennes des PM10 durant la campagne de mesures

Ecole Thierry Launay		Concentrations en µg/m <sup>3</sup>			
		Classe 1	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
PM10	Phase 1	21,7	NR <sup>1</sup>	10,3	12,9
	Phase 2	40,1	16,7	18	21,9
	<b>Campagne</b>	<b>30,9</b>	<b>NR</b>	<b>14,1</b>	<b>17,4</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>NR</b>			

Ecole Briand Buisson		Concentrations en µg/m <sup>3</sup>			
		Classe 1	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
PM10	Phase 1	18,8	13,6	15,1	18,3
	Phase 2	29,4	10,9	NR	16,1
	<b>Campagne</b>	<b>24,1</b>	<b>12,2</b>	<b>NR</b>	<b>17,2</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>1,9</b>			

Concernant les PM10 en air intérieur, il n'existe pas de VGAI, mais l'ANSES recommande l'utilisation des valeurs proposées par l'OMS. **Ainsi, au regard de ces valeurs, les 2 établissements pourraient présenter un risque possible de dépassement de la valeur OMS à long terme (20 µg/m<sup>3</sup>).**

Ce résultat est à relativiser car les enfants ne sont pas présents 100% du temps. Ainsi, si l'on compare les moyennes des 2 établissements avec la valeur OMS sur 24 heures (50 µg/m<sup>3</sup>), on est alors en-dessous.

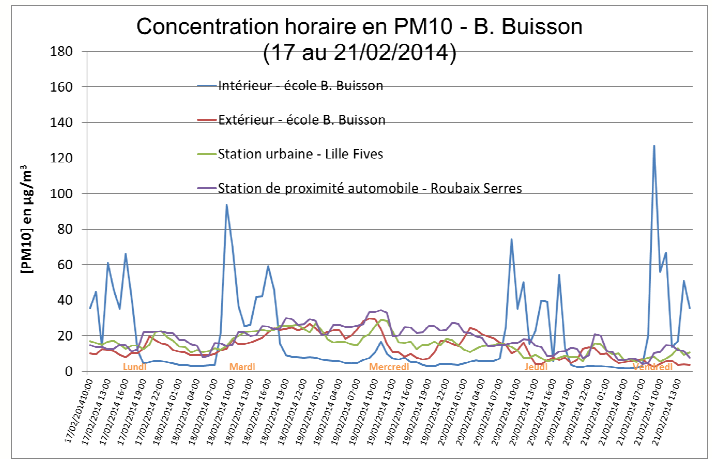
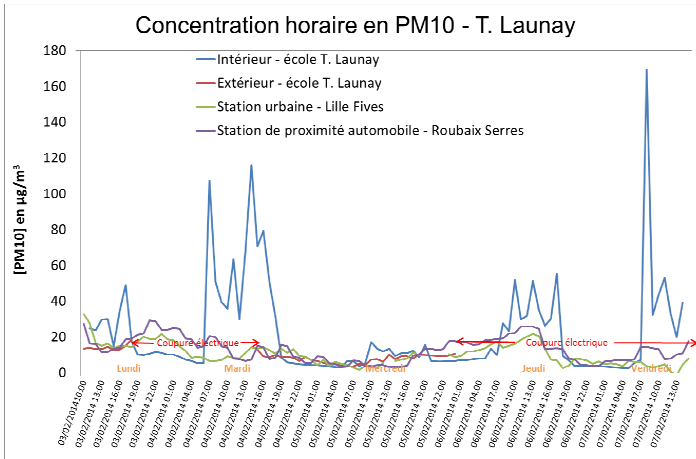
A titre informatif, en 2008 lors de notre campagne régionale, la teneur moyenne en PM10 sur 10 établissements variait entre 25 et 136 µg/m<sup>3</sup>.

Le taux de fonctionnement de la phase 1 n'étant pas représentatif en air extérieur pour l'école Thierry Launay, la comparaison avec les stations fixes n'est pas possible. Globalement, en air extérieur autour des écoles, les concentrations sont du même ordre de grandeur que celles de la station urbaine de Lille Fives, et inférieures à celles de la station de proximité automobile de Roubaix Serres, ce qui tend à montrer que les écoles sont soumises à un niveau de fond urbain en PM10, sans que l'influence du trafic automobile soit prépondérante (au regard de Roubaix Serres). La moyenne relevée à l'intérieur des écoles est en revanche nettement plus importante, probablement en lien avec des activités qui provoquent la remise en suspension des poussières. Le rapport entre les concentrations intérieures et extérieures s'élève d'ailleurs à 1,9 (site de Briand Buisson), ce qui montre qu'en moyenne sur la campagne les niveaux de concentrations en PM10 sont deux fois plus importants dans la classe.

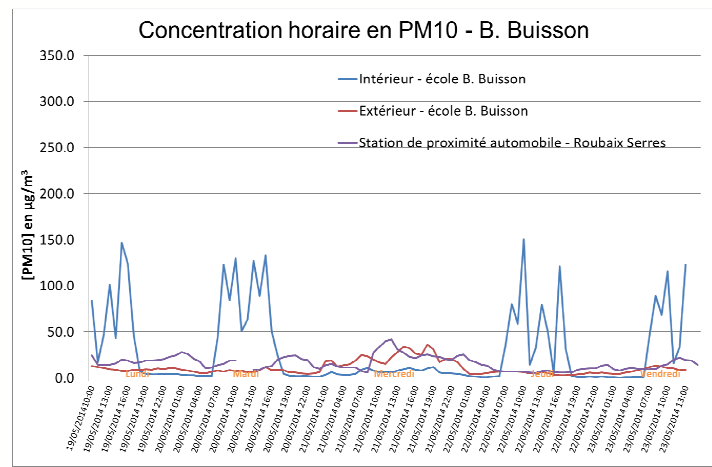
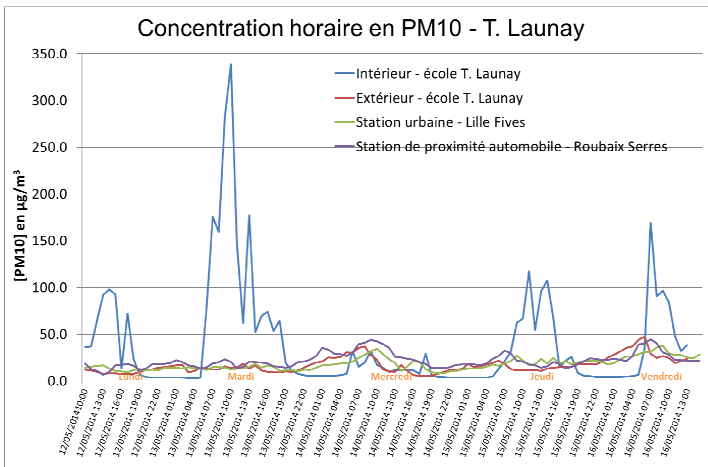
<sup>1</sup> NR : non représentatif



## Evolution des concentrations horaires en PM10



Evolution des concentrations en poussières en suspension PM10 pendant la phase 1 (hiver)



Evolution des concentrations en poussières en suspension PM10 pendant la phase 2 (été)

L'évolution des concentrations horaires montre que l'exposition aux PM10 dans les salles de classe est due principalement à la remise en suspension aux périodes de présence et d'activités, qu'il s'agisse de celle des enfants (pics les lundi – mardi et jeudi – vendredi) ou de celle du personnel d'entretien (1 seule personne le mercredi).

Pendant les périodes de calme, les niveaux rejoignent les valeurs observées en air extérieur, et ils augmentent très nettement dès qu'il y a de l'activité dans la classe. Ainsi, des concentrations maximales sont observées lors des activités de ménage, aux heures de récréations, ainsi qu'en début et en fin de classe. Ce constat est en lien, durant ces activités, avec les mouvements de l'air engendrés par le piétinement des enfants et des adultes, favorisant la remise en suspension des poussières.



☺ Moyennes des PM2,5 durant la campagne de mesures

Ecole Thierry Launay		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		Classe 1	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
PM2,5	Phase 1	9,2	NR <sup>1</sup>	7,3	9,3
	Phase 2	11,5	13,2	18	17,2
	<b>Campagne</b>	<b>10,3</b>	<b>NR</b>	<b>12,6</b>	<b>13,2</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>NR</b>			

Ecole Briand Buisson		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		Classe 1	Extérieur	Station de Lille Fives	Station de Roubaix Serres
PM2,5	Phase 1	5,6	12,3	11,8	13,1
	Phase 2	5,7	7,8	NR	12,9
	<b>Campagne</b>	<b>5,6</b>	<b>10</b>	<b>NR</b>	<b>13</b>
<b>Rapport Intérieur/Extérieur</b>		<b>0,56</b>			

Concernant les PM2,5 en air intérieur, il n'existe pas non plus de VGAI, et l'ANSES recommande également l'utilisation des valeurs proposées par l'OMS. **Ainsi, l'école Thierry Launay pourrait présenter un risque de dépassement de la valeur OMS à long terme ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La valeur à court terme ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24 heures) est quant à elle respectée sur les 2 établissements.**

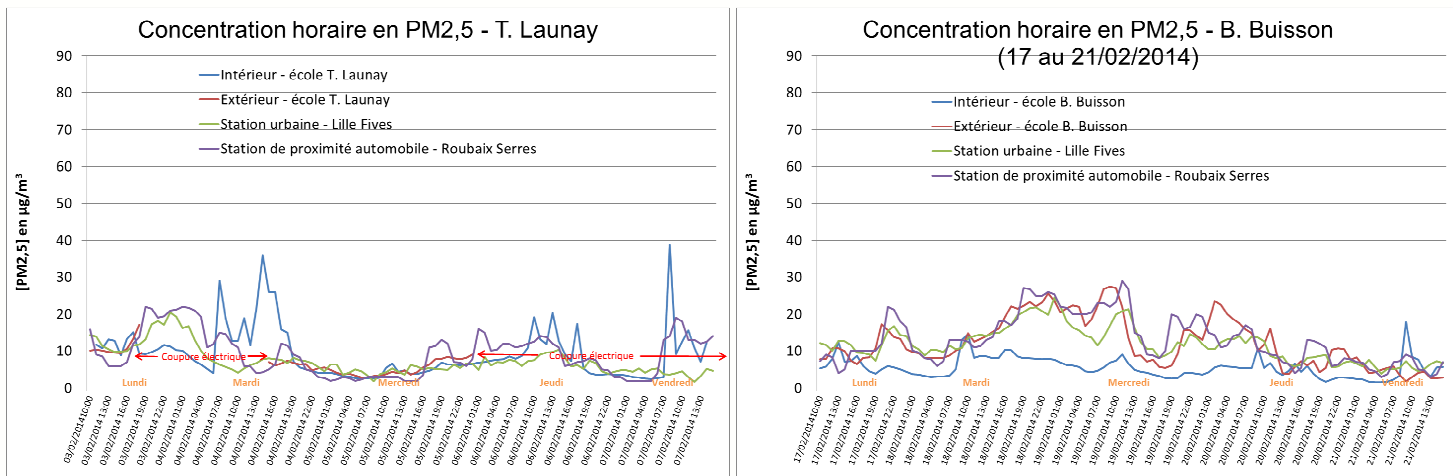
A titre informatif, en 2008 lors de notre campagne régionale, la teneur moyenne en PM2,5 sur 10 établissements variait entre 7 et  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le taux de fonctionnement de la phase 1 n'étant pas représentatif en air extérieur pour l'école Thierry Launay, la comparaison avec les stations fixes n'est pas possible. Les concentrations en PM2,5 relevées en air extérieur situent les deux écoles dans un niveau de fond urbain, proche de celui de la station urbaine de Lille Fives et inférieur aux niveaux rencontrés en proximité automobile. L'influence des sources intérieures est moins flagrante que pour les PM10. En effet, on constate que les niveaux de concentrations moyens pour les PM2,5 dans les classes sont plus faibles que ceux de l'extérieur, ce qui montre que les sources intérieures n'augmentent pas considérablement le niveau de pollution.

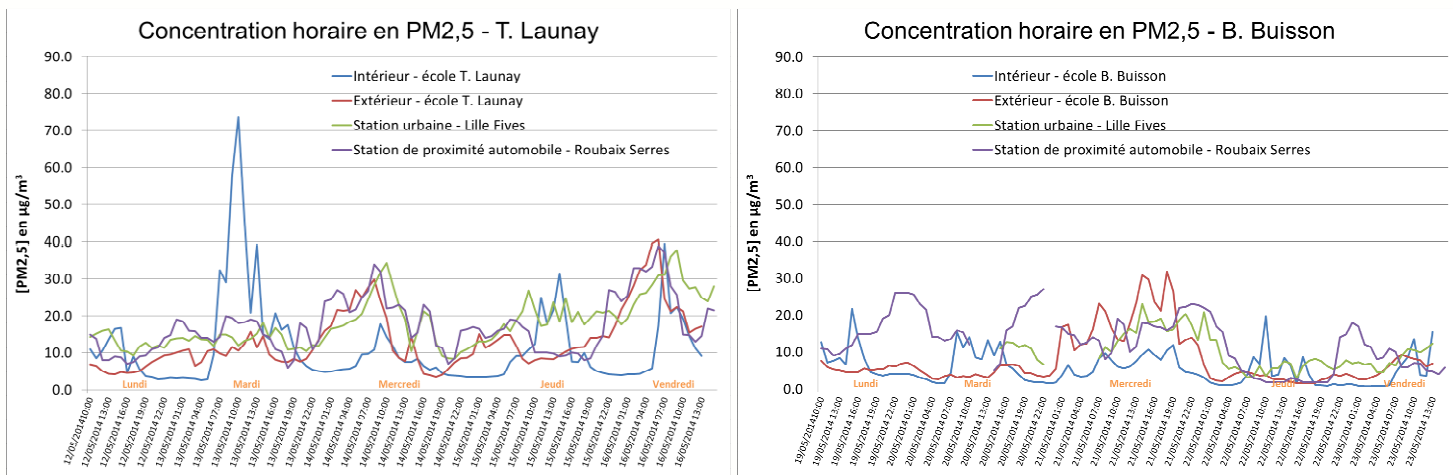
<sup>1</sup> NR : non représentatif



## Evolution des concentrations horaires en PM<sub>2,5</sub>



Evolution des concentrations en poussières en suspension PM<sub>2,5</sub> pendant la phase 1 (hiver)



Evolution des concentrations en poussières en suspension PM<sub>2,5</sub> pendant la phase 2 (été)

Le rapport  $[PM_{2,5}] / [PM_{10}]$  permet de connaître la proportion de particules plus fines en air intérieur. En 2008, lors de notre campagne régionale, ce ratio pour les 10 établissements était compris entre 0,16 et 0,31. Dans le cadre de la campagne SCOL-AIR, il est de 0,33 pour Thierry Launay et de 0,23 pour Briand Buisson. Les PM<sub>2,5</sub> trouvent en général peu de sources dans l'air intérieur d'une classe, contrairement à un logement (absence notamment de tabagisme, d'appareils de chauffage et de combustion, etc.). La présence plus importante des PM<sub>2,5</sub> à Thierry Launay par rapport aux PM<sub>10</sub> souligne un apport de source de pollution extérieure plus important sur cette école.

Ce ratio est confirmé par les courbes de concentrations en PM<sub>2,5</sub> ci-dessus, enregistrées au cours de la campagne SCOL-AIR. En effet, tandis que les courbes intérieures de Briand Buisson sont bien inférieures à celles de l'environnement proche extérieur ou de nos stations fixes, laissant penser à un abatement du bâtiment via le système de ventilation double flux, les courbes intérieures de Thierry Launay suivent celles de l'air ambiant, confirmant l'influence de l'environnement extérieur et le manque d'étanchéité du bâtiment (renseigné par le CEREMA lors du prédiagnostic).

Pendant les périodes d'occupation, la remise en suspension par les déplacements des enfants est observable par des augmentations de concentrations, qui restent néanmoins plus modérées que celles relevées sur les PM<sub>10</sub>.



## L'ozone

### Moyennes durant la campagne de mesures

L'ozone n'est pas un composé habituellement recherché dans nos études en air intérieur, notamment dans les écoles puisqu'elles ne présentent pas de source spécifique dans les salles de classe. Par ailleurs, il n'existe pas de VGAI ou de valeur repère de comparaison, en dehors des valeurs réglementaires en air ambiant. Ces mesures ont été réalisées à la demande de la Ville de Lille, à titre indicatif.

Ecole Thierry Launay		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur	Station de Marcq-en-Barœul
Moyenne	Phase 1	NR <sup>1</sup>	NR	NR	NR	NR <sup>2</sup>
	Phase 2	2,3	4,2	5,5	45,1	60,1
	Campagne	NR	NR	NR	NR	NR

Les tubes passifs n'ayant pas été reçus avant le démarrage de la phase 1, l'ozone n'a pu être mesuré sur la période hivernale pour Thierry Launay.

Les valeurs intérieures relevées lors de la phase 2 sont quant à elles très faibles, et bien inférieures aux concentrations relevées en air extérieur.

Ecole Briand Buisson		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur	Station de Marcq-en-Barœul
Moyenne	Phase 1	9,2	4,0	5,3	42,1	57
	Phase 2	14,4	8,6	13,1	55,4	72,7
	Campagne	11,8	6,3	9,2	48,7	64,8

Sur l'école Briand Buisson, qui dispose de résultats pour les 2 phases de mesures, on constate des valeurs plus élevées en phase 2, ce qui est cohérent avec la saisonnalité du polluant (présence plus importante en lien avec l'ensoleillement et la chimie de ce polluant).

Les teneurs en intérieur sont très fluctuantes en fonction des salles de classe, en lien avec les interactions du formaldéhyde et des autres COV en présence, ainsi qu'avec la forte réactivité de ce polluant avec les surfaces à l'intérieur des locaux.

**En l'absence de source intérieure, et dans des conditions d'aération normales, les teneurs intérieures représentent environ 20% des teneurs extérieures (en lien avec la forte réactivité de ce polluant avec les surfaces à l'intérieur des locaux). Cette valeur semble confirmée au regard des données recueillies : pour les deux établissements, on constate un abattement de l'ordre de 80%.**

**Il est possible de supposer que les faibles concentrations en ozone en air intérieur s'expliquent par une destruction chimique de l'ozone, au profit de la création de dioxyde d'azote, en lien avec les concentrations relativement élevée de ce polluant en milieu intérieur.**

<sup>1</sup> NR : non réalisé

<sup>2</sup> NR : non représentatif



# TRAVAUX DE MODELISATION

## Objectifs de l'étude

L'étude spécifique de modélisation urbaine réalisée dans le cadre de SCOL-AIR a pour objectif d'établir des données de concentrations NO<sub>2</sub> et PM10 spatialisées autour des deux écoles étudiées (Thierry Launay et Briand Buisson), au cours des campagnes de mesure en air extérieur. Ces données, une fois cartographiées, ont pour objectif d'identifier l'influence des différentes sources routières proches sur les concentrations.

La plateforme de modélisation urbaine, existant sur l'agglomération de Lille, est l'outil privilégié pour répondre à ce besoin. Les données d'émissions et le paramétrage du modèle qui existaient ont ainsi été repris pour les besoins de SCOL-AIR, et deux nouveaux domaines de simulations centrés sur les écoles ont été créés.

Ces simulations doivent également permettre de tester le comportement de la plateforme sur l'agglomération de Lille à haute résolution sur de nouveaux sites de fond et en proximité automobile, avec une comparaison modèle / mesure sur site (air extérieur).

A l'issue de l'étude, les concentrations calculées par le modèle seront proposées, avec leurs incertitudes estimées, au CEREMA pour la réalisation d'une étude de modélisation des transferts air extérieur / air intérieur.

## Paramètres de la modélisation

### Le modèle utilisé

Le modèle ADMS Urban version 3.1, développé par Cambridge Environmental Research Consultants (CERC), a été utilisé. Les principales fonctionnalités d'ADMS Urban sont :

- la multitude des applications, de l'étude d'impact environnemental à l'évaluation de la qualité de l'air à l'échelle de l'agglomération en passant par la planification de la circulation urbaine,
- la modélisation simultanée de, dans un seul et même domaine, jusqu'à 3000 sources linéaires routières, 1500 sources industrielles (ponctuelles, linéaires, surfaciques, et volumiques), et d'une grille de 3000 cellules,
- un modèle de rue canyon intégré,
- un modèle de chimie réactive de base, impliquant les espèces NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, et la génération de particules de sulfates à partir du SO<sub>2</sub>,
- un préprocesseur météo calculant les paramètres de la couche limite atmosphérique à partir de plusieurs données d'entrées comme la vitesse du vent, le jour et l'heure ainsi que la couverture nuageuse, ou la vitesse du vent, le flux de chaleur sensible et la hauteur de couche limite,
- le calcul du flux et de la dispersion au-dessus des topographies complexes et autour des bâtiments.

Plus de précisions sur le modèle sont présentées en annexe 5.

### Les périodes simulées

Les mesures en air extérieur ont été réalisées en deux phases, hivernale (en février) et estivale (en mai). Au cours de chacune de ces phases, deux périodes mesures se sont succédées, la première sur le site de Thierry Launay, la seconde sur le site de Briand Buisson.

Pour les besoins de l'étude de modélisation, les périodes simulées ont été calées sur le début et la fin des deux phases, en incluant chaque fois les deux périodes :

- phase hiver : du 03/02/14 00:00 au 21/02/14 23:00 ;
- phase été : du 12/05/14 00:00 au 23/05/14 23:00.

Les concentrations en NO<sub>2</sub> et PM10 ont été simulées sur le pas de temps horaire, qui correspond à la fréquence des séries de données météo disponibles.



La comparaison modèle / mesure a été calée sur les débuts et fin de mesures PM10 réalisées par **atmo** Nord - Pas-de-Calais. Le tableau suivant reprend ces paramètres.

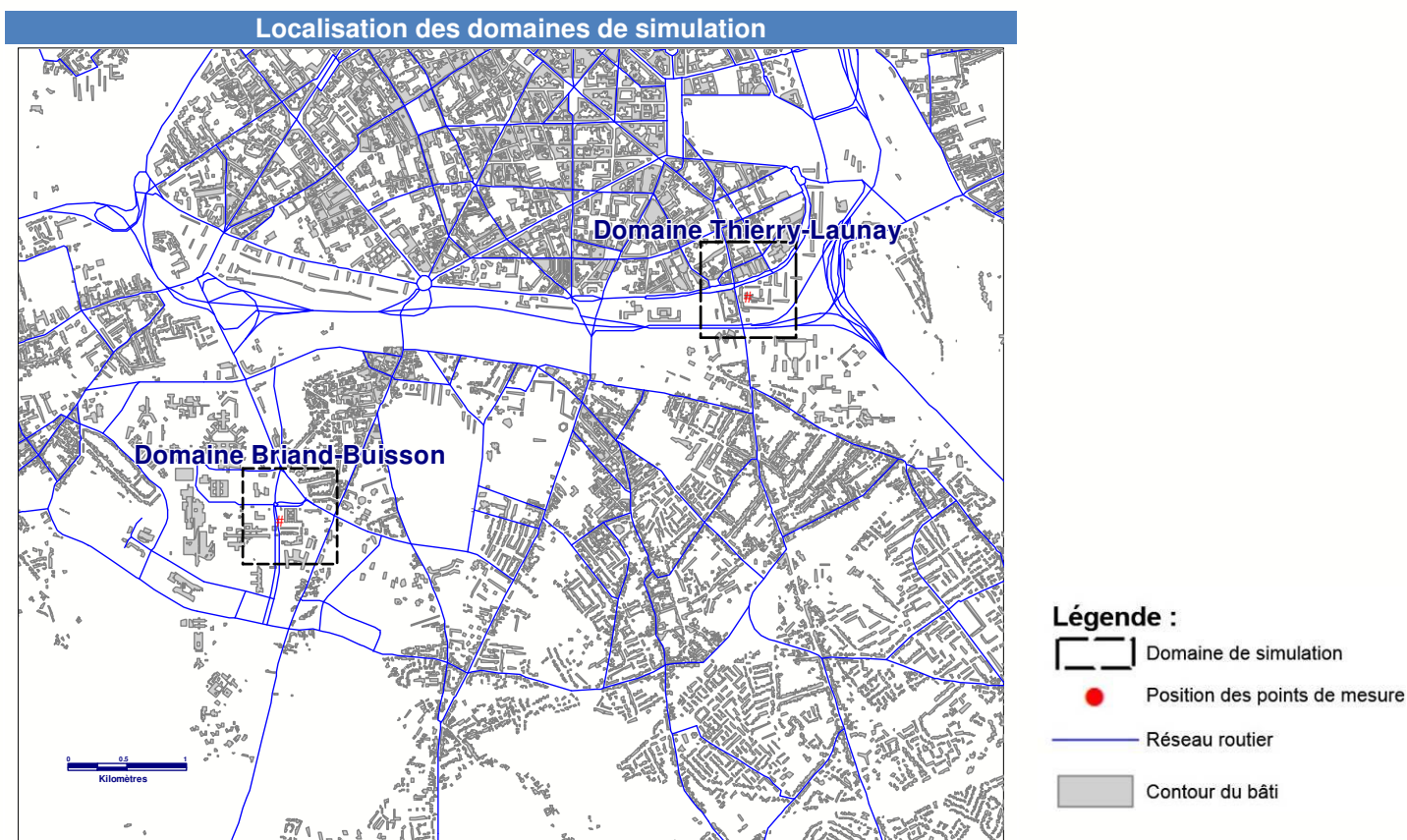
	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Polluant / site	PM10 T.Launay	PM10 T.Launay	PM10 B.Buisson	PM10 B.Buisson	NO <sub>2</sub> T.Launay	NO <sub>2</sub> T.Launay	NO <sub>2</sub> B.Buisson	NO <sub>2</sub> B.Buisson
Début	03/02/2014 11:00	12/05/2014 10:00	10/02/2014 12:00	19/05/2014 10:00	03/02/2014 01:00	12/05/2014 01:00	12/02/2014 17:00	16/05/2014 19:00
Fin	06/02/2014 01:00	16/05/2014 13:00	21/02/2014 23:00	23/05/2014 13:00	06/02/2014 01:00	16/05/2014 13:00	21/02/2014 23:00	23/05/2014 23:00

Pour les cartographies, les concentrations ont été agrégées en moyenne sur toute la durée de la période simulée, ce qui inclut à chaque fois les périodes de mesures réalisées sur les deux écoles.

## Les domaines de simulation

### Périmètres des domaines

Deux domaines centrés sur les écoles Thierry Launay et Briand Buisson ont été paramétrés. Leur taille est de 500 mètres de côté, ce qui permet d'y inclure les principales sources routières influentes, notamment pour Thierry Launay avec l'autoroute A25.

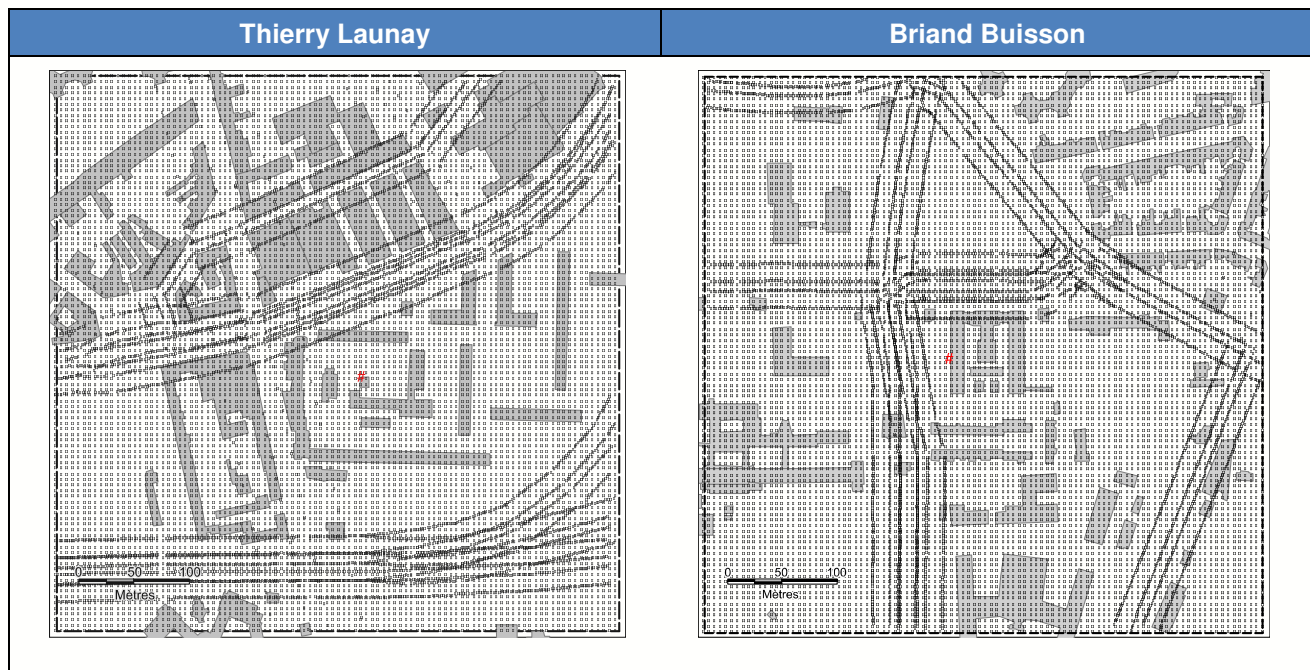







## [Grilles de sorties](#)

Pour les besoins de la comparaison modèle/mesure, un point de calcul a été configuré dans le modèle au niveau de la position des capteurs de la campagne air extérieur.

Pour les cartographies, les points de calcul ont été répartis dans les domaines sur une grille régulière de 5 mètres, ainsi que de part et d'autre des axes routiers via la fonction de « maillage intelligent » d'ADMS Urban.



### Légende

-  Point de grille
-  Position des points de mesure
-  Contour du bâti

## Autres paramètres

### [Données météorologiques](#)

Les données moyennes horaires de la station Météo France de Lesquin ont été utilisées, combinées à des sorties du modèle météo de la plateforme de prévision ESERALDA. Deux séries chronologiques de données météo ont ainsi été constituées, et leur début et leur fin correspondent à celles des phases hiver et été prédéfinies pour l'étude.

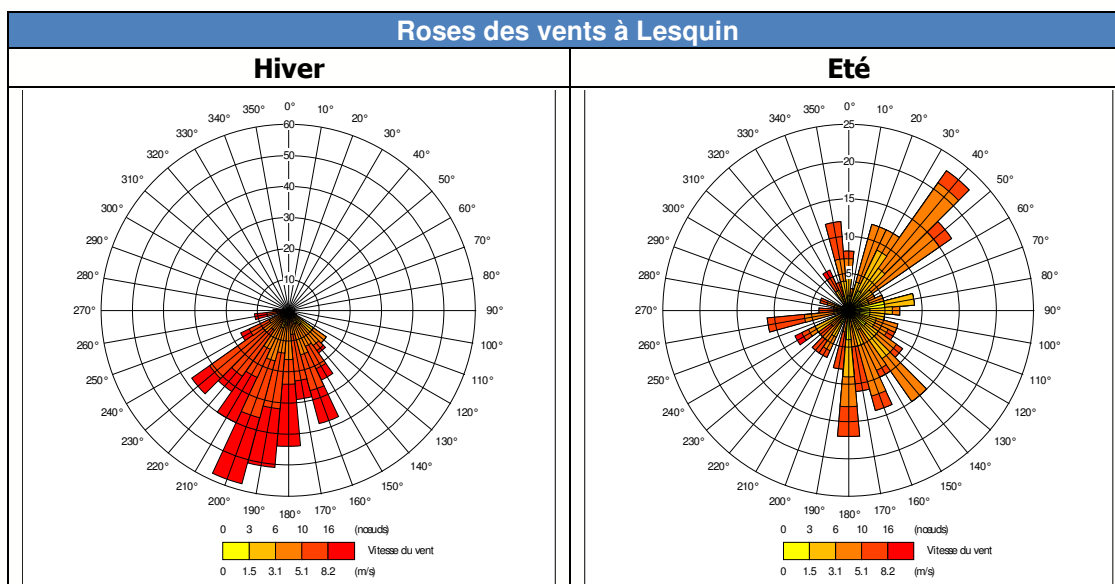
Les paramètres utilisés sont donc :

- vitesse du vent,
- direction du vent,
- température,
- précipitations,
- humidité relative,





- nébulosité,
- flux de chaleur sensible (paramètre modélisé),
- hauteur de couche limite (paramètre modélisé).



### [Modèle de chimie réactive et pollution de fond](#)

Le schéma de chimie réactive d'ADMS Urban permet de simuler des réactions chimiques et photochimiques de base, notamment celles impliquant les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Ainsi l'estimation des concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) à partir des émissions en NO<sub>x</sub> utilise ce schéma. L'utilisation de ce schéma nécessite une pollution de fond en valeur horaire pour chaque échéance calculée.

La pollution de fond est également nécessaire pour estimer la part de pollution qui rentre dans le domaine de simulation après avoir été émise et transportée, sur une distance plus ou moins longue, depuis des sources extérieures. On utilise en règle générale les données d'une station de mesure périurbaine ou rurale proche.

Pour l'étude, les concentrations horaires en oxydes d'azote et ozone de la station d'Outreau, ainsi que celles, en PM<sub>10</sub>, de la station de Wingles, ont été utilisées.

### [Topographie et forme du bâti](#)

La topographie n'a pas été activée et n'entre pas en compte dans le domaine de simulation. En règle générale, elle n'a d'influence que lorsqu'il existe des pentes importantes dans le domaine de simulation (de plus de 10 %). Les formes du bâti urbain ne sont prises en compte que par l'intermédiaire du paramètre de hauteur du bâti de part et d'autre de la rue et de largeur de celle-ci, ce qui permet au modèle de déterminer si la rue est de type canyon. En dehors de cette paramétrisation, la forme du bâti et son influence sur la dispersion ne peuvent être prises en compte dans ADMS Urban, qui n'est pas un modèle d'écoulement 3D.



# Estimation des émissions

## Données d'entrée

En règle générale, la modélisation urbaine intègre 3 types de sources de polluants :

- les sources linéaires (routes),
- les sources ponctuelles (cheminées d'usines),
- les sources surfaciques (habitat, ou secteur résidentiel et tertiaire).

Les données qui y sont associées dans le modèle, correspondent aux sources de polluants explicites définies par les activités émettrices de polluants. Ajoutées à d'autres types de sources (par exemple : autres transports, agriculture et sylviculture, etc.), ces données forment un inventaire des émissions de polluants qui vise à spatialiser de la manière la plus exhaustive possible les émissions.

La méthode de modélisation employée dans cette étude est basée sur une simulation de la dispersion des polluants émis par des sources linéaires, ponctuelles et surfaciques, avec utilisation d'une pollution de fond périurbaine.

Les sources modélisées sont donc :

- le trafic automobile sur les axes principaux,
- le secteur résidentiel, tertiaire et commercial,
- les industries.

Toutes les sources modélisées dans cette étude ont été reprises de la plateforme de modélisation urbaine ADMS Urban qui couvre l'agglomération de Lille depuis 2009. Ce domaine couvre une surface de 24 par 30 km, soit largement plus grande que celle des domaines qui ont été simulés autour des écoles Thierry Launay et Briand Buisson. Il est également divisé en deux interfaces de modélisation, et c'est l'interface couvrant la partie Sud de l'agglomération qui a été utilisée, avec la totalité des sources qui y sont décrites.

## Trafic automobile

### [Données à disposition](#)

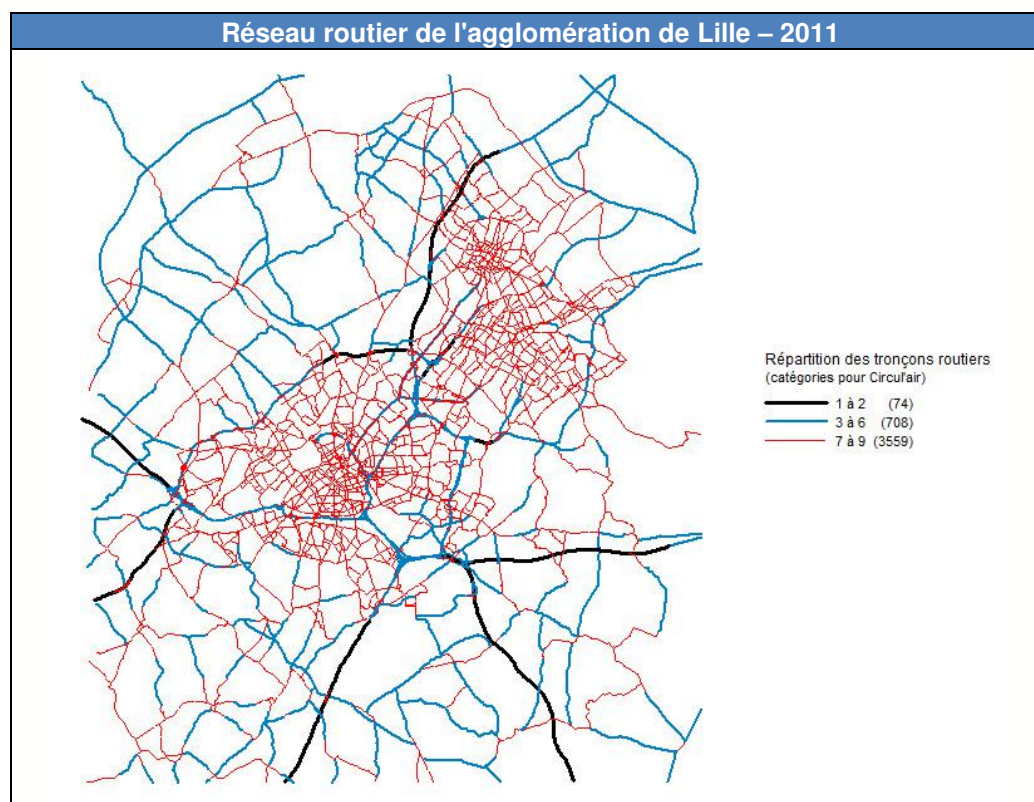
Le calcul des émissions de polluants du trafic automobile s'effectue à partir de comptages routiers, combinés à des facteurs d'émission qui dépendent de la composition du parc roulant empruntant les routes. Les comptages doivent, dans la mesure du possible, nous renseigner sur l'évolution du trafic dans le temps, car il subit des variations importantes en fonction de l'heure de la journée, de jour de la semaine, voire même du mois.

Le réseau routier de la plateforme de modélisation urbaine lilloise s'appuie sur les éléments suivants :

- Données de comptage du Conseil Général du Nord (toutes dates) ;
- Données de comptages de la DRE du Nord – Pas-de-Calais (2006) ;
- Réseau routier créé par **atmo** Nord - Pas-de-Calais de 2008 (la géométrie et les différents champs d'information restent relativement valables) ;
- Réseau routier schématique créé par le modèle de trafic EMME/2, fourni par Lille-Métropole (réseau affecté par les matrices issues de l'enquête ménage 2006 et de l'enquête cordon 2007, avant d'être recalée par des comptages en section) ;
- Données de comptage fournies par Lille-Métropole (2011) ;
- Base de données topographique (BD TOPO, de 2009).

### [Estimation des émissions routières](#)

Les différentes étapes de traitement de ces données sources mènent à la constitution d'un réseau référentiel de sources routières, représentatif de l'année 2011.



Une fois ce réseau constitué, les émissions du secteur routier par polluant ont été calculées via le logiciel Circul'air, basé sur la méthodologie COPERT IV<sup>1</sup>. Cette étape fait intervenir différents profils temporels. Ces derniers peuvent être obtenus à partir de comptages permanents (type SIREDO) et se situent donc sur les axes autoroutiers et la N41. Deux autres profils ont été choisis pour représenter les autres tronçons: le profil "route" qui dispose de coefficients de saturation classiques et le profil "urbain" qui souligne particulièrement les heures de pointe (soir et matin).

Les émissions du secteur routier ont donc été estimées pour les polluants suivants :

- CO,
- NO<sub>x</sub>,
- COV,
- SO<sub>2</sub>,
- C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (benzène)
- C<sub>4</sub>H<sub>6</sub> (butadiène),
- NO<sub>2</sub>,
- PM<sub>10</sub>,
- TSP<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Computer Program to calculate Emissions from Road Transport, logiciel dont le développement est financé par l'Agence Européenne de l'Environnement, et basé sur la méthodologie de calcul des émissions EMEP-CORINAIR.

<sup>2</sup> Poussières totales.



## Secteur résidentiel et tertiaire

Traité dans le modèle ADMS Urban en tant que source volumique, le secteur résidentiel, tertiaire et commercial regroupe en réalité un ensemble de sources, répertoriées au préalable dans l'inventaire régional des émissions de polluants.

Les données brutes permettant le calcul des rejets de ce secteur sont de plusieurs sortes.

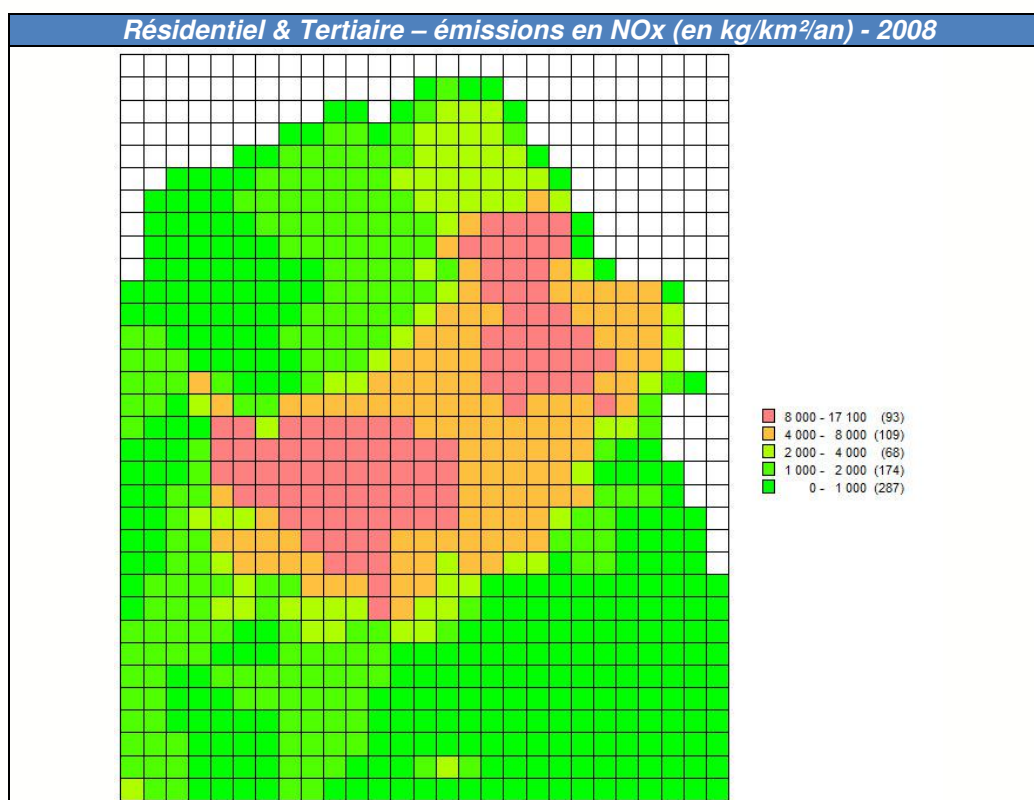
En premier lieu, l'activité humaine que représente l'habitat est comptabilisée par le biais du fichier de détails logement de l'INSEE (version 99). Y sont répertoriés, pour chaque commune, les différents logements présents ainsi qu'un certain nombre de paramètres comme le combustible employé pour le chauffage et la production d'eau chaude, la surface, l'ancienneté, le type individuel ou collectif, etc.

Des facteurs de consommation unitaires sont ensuite appliqués par type de combustible, puis ces produits, sous forme de consommations de combustibles, sont multipliés par des facteurs d'émissions de polluants. On obtient donc des valeurs de rejets de polluants par commune.

Bien que le logement constitue la majorité des rejets du secteur, les rejets des chauffages des activités tertiaires sont également inventoriés et leurs rejets estimés. Ainsi par exemple, les rejets des établissements d'enseignement sont estimés d'après leur population d'élèves.

L'inventaire régional des émissions de polluants ayant une résolution spatiale à la commune, les données ont été désagrégées sur un maillage kilométrique.

La figure ci-dessous est un exemple de la table finale du résidentiel et tertiaire pour les NOx. Chaque cellule (ou maille) représente un kilomètre carré, il y a donc 891 mailles, comme la surface complète du domaine de modélisation en km<sup>2</sup>. Les mailles représentées en blanc sont celles couvrant intégralement le territoire de la Belgique, et pour lesquelles les émissions du secteur résidentiel/tertiaire n'ont pas pu être estimées.





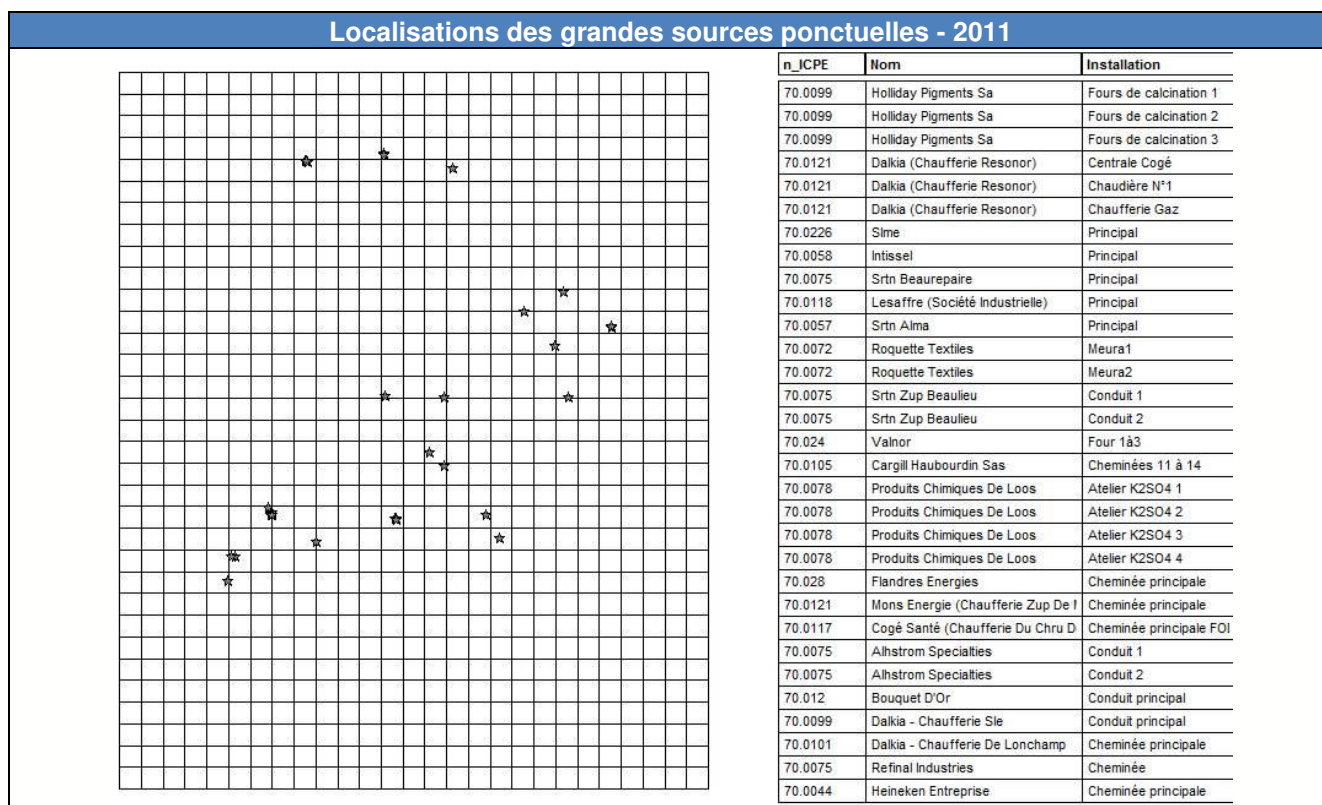
## Secteur industriel

Les travaux d'inventaire et de description des sources industrielles s'appuient sur les déclarations au GERE 2010, une unique source de données qui regroupe l'ensemble des rejets dans l'air par les industries du Nord - Pas-de-Calais. Ce fichier permet d'identifier 31 grandes sources ponctuelles localisées dans le domaine et donc décrites dans l'inventaire des émissions de la plateforme urbaine lilloise. Les caractéristiques particulières des installations (débit nominal des cheminées, températures, hauteur, etc.) sont fournies par les industriels concernés, par leurs arrêtés d'exploitations.

Les polluants industriels retenus sont les suivants :

- SO<sub>2</sub>,
- NO<sub>x</sub>,
- COV,
- TSP.

Sur le graphique ci-dessous, la localisation des grandes sources ponctuelles est projetée sur la grille kilométrique employée pour le secteur résidentiel et tertiaire.



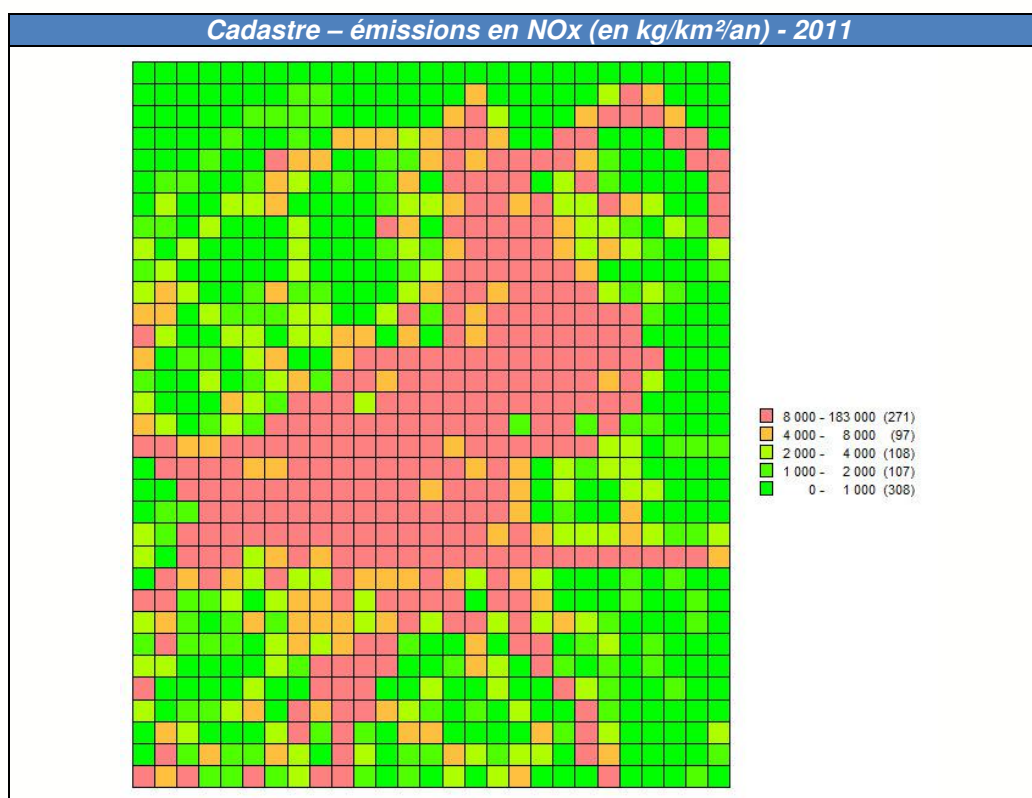


## Agrégation des émissions et cadastre

Une fois les trois principales sources d'émission décrites dans le modèle (routier, résidentiel & tertiaire, industries), il est alors possible de créer un cadastre : il représente la somme de toutes les émissions de ces trois types de sources, et sa fonction est de renseigner les émissions de manière faiblement détaillée, et donc au final moins exigeante en temps de calcul des concentrations, dans le cas où par exemple le domaine de simulation est divisé en plusieurs parties pour le calcul des concentrations. C'est notamment le cas avec l'agglomération de Lille qui est divisée en deux sous-domaines, Nord et Sud.

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé le sous domaine Sud<sup>1</sup>, au sein duquel les sources – routes, résidentiel & tertiaire, industries, sont décrites explicitement. L'ensemble des points de calculs des domaines des deux écoles s'y trouvent. Pour prendre en compte les émissions du sous-domaine Nord, le cadastre a été utilisé.

Notre cadastre est donc représenté sous forme d'un maillage kilométrique dont l'émission, par maille, est le résultat d'une agrégation des émissions de la totalité des sources qui s'y trouvent.



<sup>1</sup> Ce domaine inclut l'ensemble de la commune de Lille et s'étend au Sud jusqu'à Seclin.



# Résultats des simulations

## Comparaison modèle / mesure

Pour chaque période modélisée, les séries de concentrations horaires simulées au niveau des capteurs air extérieur des deux écoles ont été comparées avec les mesures recueillies. Les points modélisés ont été paramétrés pour tenir compte à la fois de la position des capteurs dans le domaine et de la hauteur à laquelle ils étaient placés.

La législation européenne impose des objectifs de qualité des données modélisées en termes d'incertitudes (Directive 2008/50/CE). Ces objectifs sont traduits en erreur relative : en moyenne annuelle cette erreur ne doit pas dépasser 30% pour le dioxyde d'azote, et 50% pour les PM10. Ces objectifs sont atteints avec la plateforme de modélisation urbaine de Lille.

Les modélisations réalisées dans le cadre de l'étude SCOL-AIR portent sur des périodes de mesures courtes, de l'ordre de quelques jours à une semaine. Par exemple, la période exploitable la plus courte pour une comparaison modèle / mesure est de 73 heures, et la plus longue de 276 heures (soit plus de 11 jours).

D'une manière générale, la qualité des comparaisons modèle-mesure s'améliore :

- à mesure que l'on augmente la durée de l'échantillonnage (annuelle par rapport à mensuelle ou horaire) ;
- et lorsque l'on s'intéresse à des valeurs moyennes plutôt qu'à des valeurs extrêmes (percentiles 98).

Par conséquent, la comparaison des erreurs relatives obtenues à l'issue de notre modélisation, avec les objectifs de qualité de la Directive, est fortement pénalisée, puisque portant sur des périodes beaucoup plus courtes que l'année. Les résultats doivent donc être pris avec précaution.

Les autres paramètres (coefficient de corrélation, NMSE, biais normalisé) sont issus des recommandations du « Guide pour une modélisation avec une résolution spatiale fine des concentrations en milieu urbain »<sup>1</sup> utilisé dans les AASQA. Il préconise des critères statistiques complémentaires à prendre en compte et intervalles souhaités pour une bonne aptitude du modèle à reproduire les niveaux mensuels et trimestriels (donnée de base : horaire si mesure par analyseur ou hebdomadaire si mesure par tube). Ces valeurs de référence sont données dans le tableau suivant.

Paramètres statistiques	Intervalle acceptable pour une comparaison modèle / mesure			
	NO <sub>2</sub>	PM10 et PM2,5	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	O <sub>3</sub>
Biais normalisé	- 30 % à 30 %	- 30 % à 30 %	- 30 % à 30 %	- 30 % à 30 %
NMSE <sup>2</sup>	< 50%	nd <sup>3</sup>	nd	< 50%
Coef. corrélation	0,6 à 1	0,6 à 1	nd	0,7 à 1

<sup>1</sup> « GREX URB », septembre 2010

<sup>2</sup> Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne normalisée, elle est exprimé en % et renseigne sur l'écart relatif entre les données simulées et les observations. Plus la NMSE est faible, plus les quantités simulées par le modèle sont proches des observations. La NMSE décrit l'erreur totale.

<sup>3</sup> nd : non déterminé



Le tableau suivant rassemble donc l'ensemble des paramètres de comparaison modèle / mesure établis à l'issue des simulations.

Polluant / site	Début	Fin	Période heures	Pourcentage exploitable pour le score <sup>1</sup>	Coefficient de corrélation <sup>2</sup>	Erreur relative <sup>3</sup>	NMSE <sup>4</sup>	Biais normalisé <sup>5</sup>
NO <sub>2</sub> T.Launay	03/02/2014 01:00	06/02/2014 01:00	73	64,38	0,8	18%	59%	17%
NO <sub>2</sub> T.Launay	12/05/2014 01:00	16/05/2014 13:00	109	91,74	0,4	25%	59%	22%
NO <sub>2</sub> B.Buisson	12/02/2014 17:00	21/02/2014 23:00	223	88,34	0,5	- 34%	100%	- 41%
NO <sub>2</sub> B.Buisson	16/05/2014 19:00	23/05/2014 23:00	173	98,27	0,4	43%	101%	36%
PM10 T.Launay	03/02/2014 11:00	06/02/2014 01:00	63	69,84	0,6	86%	nd <sup>6</sup>	60%
PM10 T.Launay	12/05/2014 10:00	16/05/2014 13:00	100	91	0,8	31%	nd	27%
PM10 B.Buisson	10/02/2014 12:00	21/02/2014 23:00	276	91,3	0,5	65%	nd	49%
PM10 B.Buisson	19/05/2014 10:00	23/05/2014 13:00	100	100	0,4	29%	nd	25%

Pour le dioxyde d'azote, l'objectif de qualité en terme d'erreur relative serait atteint sur la moitié des périodes. Néanmoins, la durée de ces périodes est très variable, de l'ordre de 3 à 10 jours.

Pour les particules en suspension PM10, l'objectif serait également atteint sur la moitié des périodes, mais toujours avec une variabilité forte de leurs durées respectives.

On observe la même tendance du modèle à estimer correctement une période sur deux vis-à-vis du biais normalisé et du coefficient de corrélation. Pour le dioxyde d'azote, le critère de la NMSE n'est pas respecté. La pondération par la durée limitée des périodes de comparaison modèle/mesure s'applique également pour ces critères.

## Dioxyde d'azote

Les graphiques suivants représentent les évolutions comparées des concentrations mesurées et simulées en dioxyde d'azote. **Le modèle a plusieurs fois surestimé des pics de concentrations**, ce qui explique une partie de l'écart global.

<sup>1</sup> Basé sur le nombre d'heures sur lesquelles la comparaison modèle / mesure est possible, et dépend du fonctionnement des analyseurs.

<sup>2</sup> Compris entre - 1 et 1, sans dimension, plus le coefficient est élevé, plus le modèle reproduit bien les variations temporelles des observations. Le coefficient de corrélation permet de quantifier l'erreur locale.

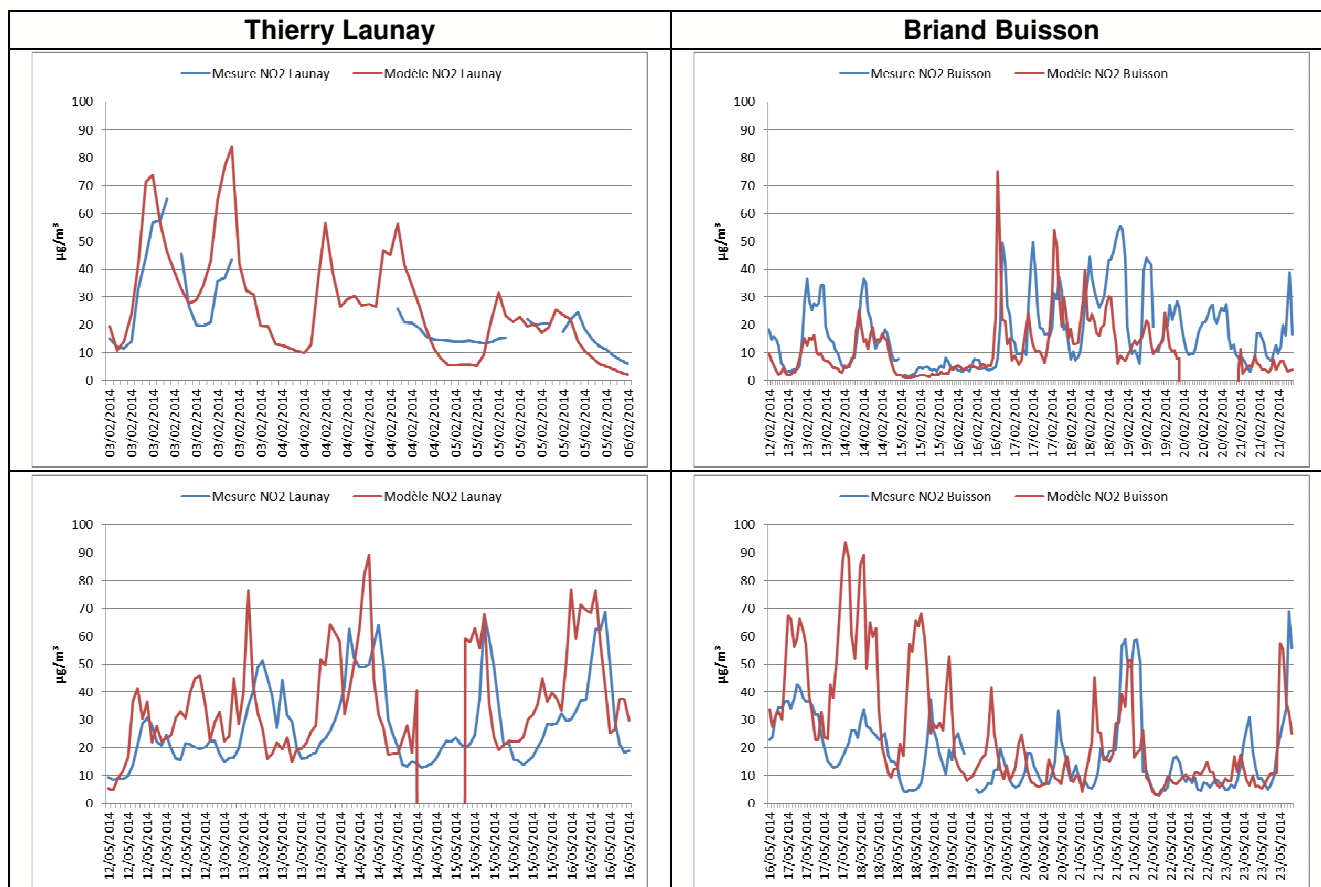
<sup>3</sup> Il s'agit de l'écart relatif entre la mesure et le modèle.

<sup>4</sup> Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne normalisée, décrit l'erreur totale du modèle.

<sup>5</sup> Exprimé en %, il renseigne sur la tendance relative du modèle à sur (biais positif) ou sous (biais négatif) estimer les observations. Il quantifie l'erreur systématique.

<sup>6</sup> nd : non déterminé

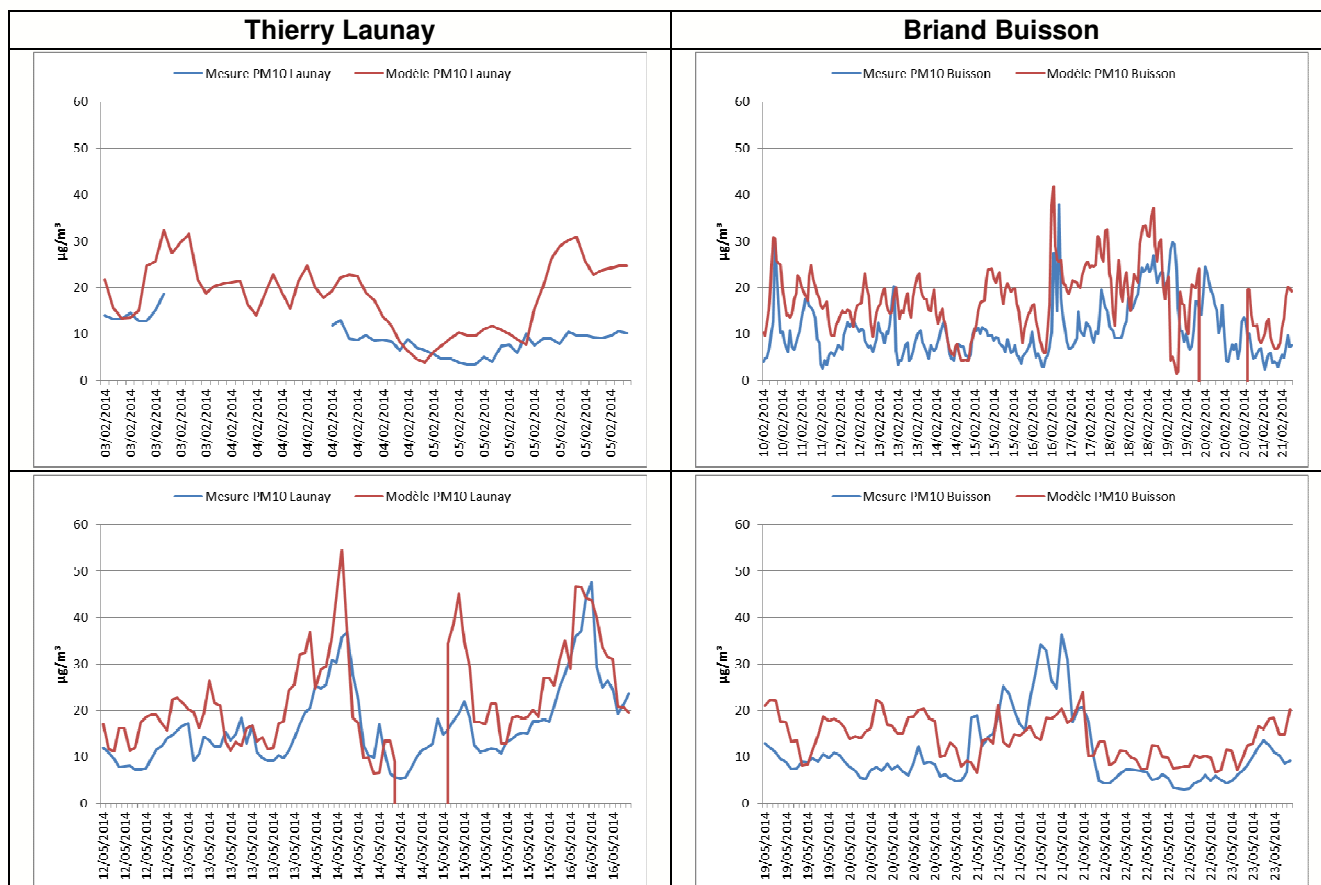




### [Particules en suspension PM10](#)

Les graphiques suivant représentent les évolutions comparées des concentrations mesurées et simulées en particules en suspension PM10. **Globalement, le modèle a eu tendance à surestimer les concentrations, ce qui a pour cause probable une pollution de fond trop élevée (pollution entrée dans le modèle).**

L'analyse des mesures PM10 en air extérieur effectuées pendant la campagne montre qu'elles sont assez comparables aux mesures de la station urbaine de Lille Fives, ce qui exclut une sous-estimation de la partie mesures dans cette comparaison avec le modèle.



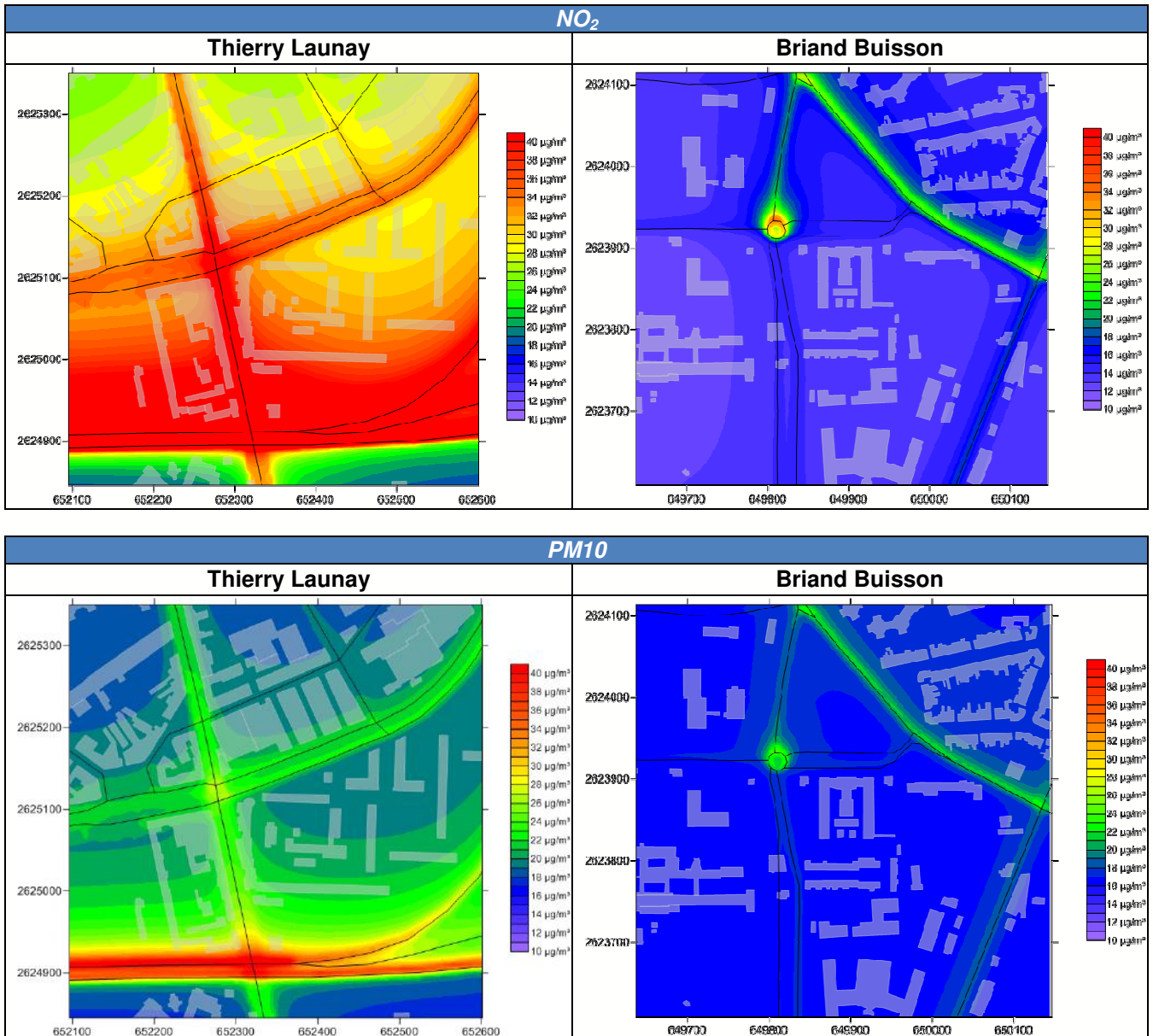
## Cartographies

Les concentrations moyennes, agrégées sur les périodes de simulations décrites plus haut, ont été cartographiées. La méthode employée est une interpolation par triangulation des concentrations de l'ensemble des points de calcul des deux domaines. La grille de sortie de cette interpolation a une résolution de 5 mètres. Sur chaque carte, les contours du bâti ainsi que le linéaire routier ont été représentés. Les repères des axes correspondent aux coordonnées Lambert II étendu.

Ces cartes sont issues des sorties modèle et ne font pas intervenir de corrections éventuelles par des mesures.



Phase hiver



Sur la phase hiver, on retrouve bien une **exposition plus marquée de l'école Thierry Launay en comparaison de celle de Briand Buisson**, qu'il s'agisse du dioxyde d'azote ou des  $PM_{10}$ . On obtient donc une confirmation des critères de classification des écoles fixés en amont de la réalisation de l'étude sur la base des concentrations annuelles du modèle urbain.

Sur les deux sites, l'influence des principaux axes routiers est marquée.

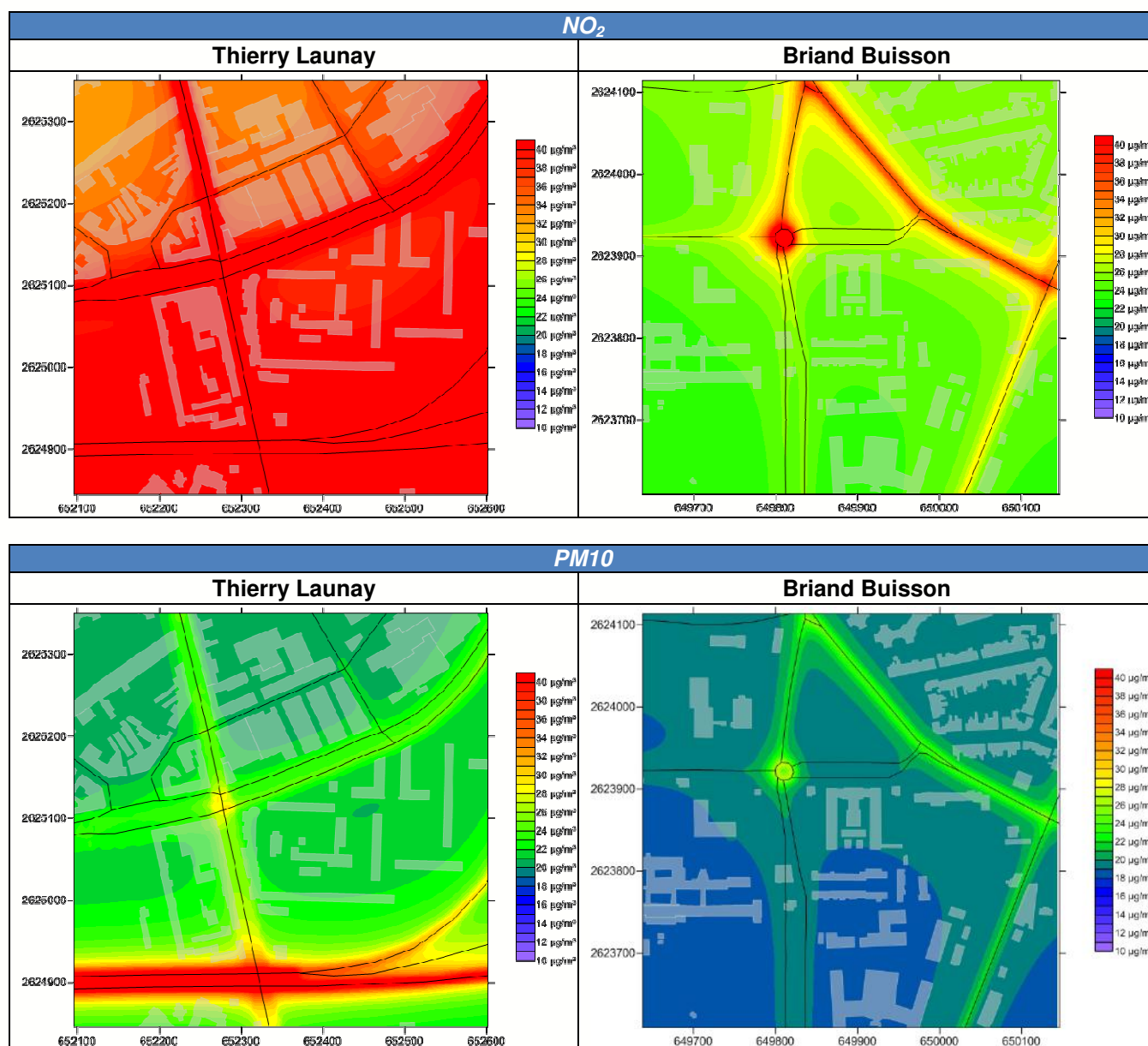
L'autoroute A25 est l'axe le plus important, et son influence est sensible quasiment jusque dans la cour de l'école Thierry Launay pour le  $NO_2$  et les  $PM_{10}$ . Globalement les conditions météorologiques sont assez dispersives au cours de la phase hiver, avec une fréquence élevée de vent forts de secteur Sud à Sud - Ouest. Cette météo a eu pour effet de transporter la pollution émise par l'A25 en majorité vers le Nord.

Toujours sur le domaine Thierry Launay, l'influence des axes du Boulevard de Belfort au Nord, et de la rue Armand Carrel / rue de Douai à l'Ouest sont également visibles, mais dans une moindre mesure.



Sur Briand Buisson, la pollution est répartie avec des gradients beaucoup plus faibles. On constate une influence modérée de la rue Gustave Courbet au Nord - Est ainsi que du rond-point au Nord - Ouest, mais compte tenu des vents dominants pendant la période, ils n'influencent pas les concentrations au niveau de l'école. Ce site correspond donc bien à une situation de fond.

 Phase été



Pour la phase été, l'exposition au dioxyde d'azote est plus marquée sur les 2 établissements en comparaison de la phase hiver. Sur Thierry Launay, l'influence des grands axes comme l'A25 est plus forte et dépasse les limites de l'établissement, si l'on garde la concentration moyenne de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en référence. Les concentrations moyennes maximales en  $\text{NO}_2$  ont été obtenues au cours de cette période de simulation. L'exposition est également plus marquée autour des grands axes pour Briand Buisson (en particulier la rue Gustave Courbet), et s'accompagne d'une élévation du niveau de fond au Sud du domaine.



La même tendance est observée pour les particules : influence plus marquée des axes routiers majeurs et élévation du niveau de fond.

La principale explication de cet écart entre les deux périodes se situe au niveau des données météo. La rose des vents mesurés à Lesquin pendant la période estivale montre des conditions moins favorables à la dispersion des polluants qu'en hiver, en particulier de par la fréquence des vents faibles (inférieurs à 5 m/s).

En outre à l'échelle régionale, ces conditions de dispersion défavorables sont accompagnées d'une hausse du niveau de fond en polluants. Le tableau suivant donne par exemple une indication de la différence des niveaux de fond moyens pris en compte dans la simulation par le biais des mesures en NOx d'Outreau et en PM10 de Wingles.

	NO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO <sub>2</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOx $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moyenne période hiver	1,5	7,2	9,4	16,3
Moyenne période été	1,6	11,3	13,6	14,6



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du projet SCOL-AIR porté par la Ville de Lille (Service des Risques Urbains et Sanitaires), **atmo** Nord - Pas-de-Calais a réalisé deux campagnes de mesures de la qualité de l'air à l'intérieur et aux abords de deux écoles élémentaires (Thierry Launay et Briand Buisson).

Le bilan météorologique montre que lors de la 1<sup>ère</sup> phase de mesures, les 2 établissements ont fait l'objet de pertes de données, notamment :

- Sur les données extérieures de Thierry Launay : CO<sub>2</sub>, PM10 et PM2,5,
- Sur les données à la fois intérieures et extérieures de Briand Buisson : PM10 et PM2,5.

Les créneaux d'intervention étant pré-réservés avec les chefs d'établissement, seul Briand Buisson a pu faire l'objet d'une prolongation des mesures identique et consécutive à celle prévue, pour les polluants concernés. Ainsi, les taux de fonctionnement n'ont été finalement insatisfaisants que pour les paramètres extérieurs de Thierry Launay.

Concernant les **paramètres de confort**, les relevés de température et d'humidité relative sont corrects pour les 2 établissements. Seule l'humidité relative de la classe 1 de l'école Thierry Launay semble trop faible en période d'utilisation du chauffage pendant l'hiver. Le **renouvellement d'air** est tout à fait correct sur Briand Buisson : les faibles taux de CO<sub>2</sub> relevés montrent l'efficacité du système de ventilation double flux en place, facilitant l'évacuation régulière des émissions au sein des différentes salles de classe. L'intérêt ne peut être démontré que dans le cadre d'une installation correcte, entretenue régulièrement pour être efficace (le renouvellement d'air de la classe 2 est ainsi moins bien réalisé qu'en classe 1, en raison d'un mauvais fonctionnement de la CTA). Sur l'école Thierry Launay, le renouvellement d'air est quant à lui moins bon, car l'école ne dispose pas d'un système de ventilation. Par ailleurs, on constate que les périodes de renouvellement d'air pendant les récréations ne suffisent pas à ramener les concentrations de CO<sub>2</sub> à des niveaux acceptables. L'intérêt d'agir sur les pratiques d'ouverture des portes et fenêtres est alors démontré.

Pour les composés chimiques (**COV et aldéhydes**), les 2 établissements respectent les valeurs réglementaires en formaldéhyde et en benzène. Pour les aldéhydes, les niveaux de concentrations semblent résulter d'apports par la pollution extérieure et par les sources d'émissions intérieures (matériaux, ameublement...). Pour les COV, le constat est plus variable : certains d'entre-eux ne sont liés qu'à des activités intérieures comme des travaux (Thierry Launay), une construction récente (Briand Buisson), ou des activités de ménage. Le benzène en revanche est très influencé par les niveaux de concentrations de l'air extérieur, et reflète le niveau de fond urbain.

S'agissant de l'**ozone**, les concentrations sont très faibles et confirment l'absence de source intérieure.

Pour le **dioxyde d'azote**, un risque de dépassement de la VGAI existe sur l'ensemble du bâtiment de Thierry Launay, ainsi que pour les salles de classe donnant sur le côté rue à Briand Buisson. Les niveaux retrouvés en air intérieur pour ce polluant sont très liés à ceux de l'air extérieur et de la présence de ses sources. Ainsi, les classes de l'école Thierry Launay, située en proximité d'axes routiers plus fréquentés, sont plus impactées.

Sur le sujet des poussières en suspension, les **PM10** montrent un risque possible de dépassement de la VGAI sur les 2 établissements, en lien avec la présence des occupants et leurs activités, qu'il s'agisse des enfants ou du personnel d'entretien, notamment par la remise en suspension avec le piétinement. Pour les **PM2,5**, seul l'établissement Thierry Launay présente un risque de dépassement de la VGAI possible, en raison de l'influence de l'environnement proche et du manque d'étanchéité du bâtiment. A l'opposé, les mesures de terrain montrent que les classes de l'école Briand Buisson sont bien moins exposées à ces 3 polluants (NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2,5), bénéficiant notamment d'une influence positive de la ventilation double flux.

**Ces résultats n'ont ainsi pas nécessité de déclenchement de la cellule de gestion (valeurs réglementaires actuelles respectées).**



L'étude spécifique de modélisation urbaine réalisée dans le cadre de l'étude avait pour objectif d'établir des données de concentrations NO<sub>2</sub> et PM10 spatialisées autour des deux écoles sur des périodes correspondant aux campagnes de mesure en air extérieur. Ces données, une fois cartographiées, doivent permettre d'identifier l'influence des différentes sources routières proches sur les concentrations.

Dans le cadre des travaux de modélisation, l'étude de dispersion a été menée sur la base des données d'inventaire et des paramètres présents dans la plateforme de modélisation urbaine de l'agglomération de Lille, basée sur le modèle ADMS Urban, et en place depuis 2009 à **atmo Nord - Pas de-Calais**.

Les résultats de la comparaison **modèle/mesure ont montré que les objectifs en termes d'indicateurs statistiques habituellement employés sont atteints sur 50% des périodes de comparaison**, malgré une durée exploitable largement inférieure à celle du mois voire de l'année.

Les cartographies des moyennes en NO<sub>2</sub> et PM10 obtenues à l'issue des simulations **montrent une influence du trafic routier et confirment le choix préalable des deux établissements scolaires** pour leur niveau potentiel d'exposition. En particulier, l'influence de l'autoroute A25 a été mise en évidence par les simulations du domaine Thierry Launay, ce qui est cohérent avec les observations faites par les mesures de dioxyde d'azote, qui ont montré un impact important des sources extérieures.

Un écart de concentrations a été mis en évidence entre les deux périodes de simulations, qui peut s'expliquer principalement par des conditions de dispersion moins favorables au cours de la phase estivale.

**Les concentrations simulées vont être proposées dans le cadre d'une étude de modélisation des transferts de pollution extérieur / intérieur menée par le CEREMA.** L'étude pourra s'appuyer sur la résolution spatiale fine (5 m) et temporelle horaire des données, accompagnée d'une estimation de leur incertitude.

Au travers de cette campagne SCOL-AIR, on note deux axes de travail prioritaires pour l'amélioration de la qualité de l'air dans les écoles de la Ville de Lille : **ventiler et réduire les sources de pollution** (à la fois dans les aspects construction, rénovation, mais également l'entretien, l'ameublement et les produits ménagers).

Les travaux de rénovation des écoles devront permettre de mieux isoler les bâtiments de la pollution extérieure, en les couplant à un système de ventilation adapté ou des pratiques d'aération des occupants, afin de faciliter le renouvellement d'air et ainsi ne pas nuire à la santé des enfants.

Une vigilance accrue sera à apporter sur les matériaux utilisés et l'acquisition du mobilier.

**Des actions peuvent d'ores et déjà être mise en place**, notamment à l'école Thierry Launay :

- par les services techniques, afin de faciliter l'aération, avec la mise en place de fenêtres permettant une ouverture sur l'extérieur, sans risque de chute pour les élèves,
- par les enseignants afin d'améliorer la ventilation pendant la récréation, dans un premier temps en ouvrant plus souvent les fenêtres et en laissant la porte de la salle de classe ouverte. L'école pouvant être sous l'influence de sources de pollution extérieures multiples et variables selon les directions de vent, aucun côté du bâtiment ne peut être privilégié. Néanmoins afin de limiter l'influence du trafic automobile, il est conseillé d'éviter d'ouvrir les fenêtres lors de la pointe de circulation du matin (8h – 10h),
- avec le personnel d'entretien pour travailler sur l'ouverture des fenêtres pendant les activités de ménage (actuellement rarement le cas), en dehors des épisodes de pollution de l'air extérieur. Pour réduire la remise en suspension des poussières, un nettoyage humide est recommandé,
- par la Ville de Lille avec l'achat de boîtiers indicateurs de confinement permettant de tester la mise en œuvre des bonnes pratiques et de les faire évoluer au besoin. Un système d'humidification de l'air pourrait permettre de réduire la sécheresse de l'air pendant les périodes d'utilisation du chauffage.

Lors de la construction de nouvelles écoles, la Ville de Lille pourra étudier avec **atmo Nord - Pas-de-Calais**, via son outil de modélisation urbaine, les secteurs les moins exposés (accompagnement de la Ville de Lille dans ses projets d'urbanisme).



Afin d'affiner les résultats de cette étude, il pourrait être pertinent de faire une évaluation de la qualité de l'air dans une école plus proche d'un axe routier (par exemple dans le Faubourg de Béthune). L'hypothèse de la destruction de l'ozone et de la formation de NO<sub>2</sub> en air intérieur pourrait être étudiée par des mesures continues de dioxyde d'azote et de monoxyde d'azote dans des classes. Enfin, des périodes de mesures plus longues (deux périodes de 4 semaines) seraient à privilégier pour estimer l'exposition des enfants sur une année entière, notamment aux poussières en suspension PM10 et PM2,5.

Le Décret n°2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public imposait jusqu'en septembre dernier la mise en œuvre d'une surveillance de la qualité de l'air dans les établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans et dans les écoles maternelles avant le 1er janvier 2015. Ce dispositif a récemment évolué pour orienter les maîtres d'ouvrage sur la mise en place d'actions d'amélioration de la qualité de l'air plutôt que sur la mise en œuvre d'une surveillance systématique (les nouveaux décrets d'application sont en cours de validation). La qualité de l'air intérieur reste ainsi un enjeu de santé important en région Nord - Pas-de-Calais. Il est nécessaire de poursuivre la mise en œuvre de bonnes pratiques dans les écoles et réaliser au besoin des mesures en complément en cas de suspicion (mesurer sur des périodes plus longues, sur d'autres typologies de bâti, lutter contre les inégalités sociales et géographiques, etc.). L'utilisation de la mallette écol'air reste actuellement un guide disponible pour la mise en place de bonnes pratiques.





# ANNEXES

## Annexe 1 : validation des données issues des appareils automatiques

**Concernant les paramètres mesurés par les appareils automatiques**, trois niveaux de validation sont effectués en application des règles et recommandations du guide relatif à la méthodologie à suivre pour une conforme surveillance de la qualité de l'air, rédigé par l'ADEME et plusieurs AASQA<sup>1</sup> :

- Des prévalidations automatiques réalisées par les appareils - mesure, système d'acquisition et poste central d'enregistrement des données (niveau 1) ;
- La validation technique des données réalisée par un technicien (niveau 2) ;
- La validation étude environnementale des données effectuée par un ingénieur d'études (niveau 3).

La validation technique consiste principalement en un examen de la conformité de la réponse du processus système (mesure, acquisition et enregistrement des données) : historique des événements intervenus (défauts des appareils, dépassements de seuils...), informations sur l'étalonnage, informations sur les opérations de maintenance... Cette étape permet d'invalidier ou de corriger les données brutes erronées existantes après le niveau 1 de validation.

La validation étude environnementale, quant à elle, se base sur les phénomènes environnementaux propres à la typologie du site de mesures : examen de la pertinence et de la cohérence des données (temporelle, spatiale, physico-chimique, adéquation aux conditions météorologiques et au contexte géographique...).

<sup>1</sup> ADEME, *Règles et recommandations en matière de : Validation des données – Critères d'agrégation – Paramètres statistiques*, 2003, Paris.



## Annexe 2 : taux de fonctionnement des appareils de mesure

 1<sup>ère</sup> phase

Polluant	Site de mesures	Typologie	Taux de fonctionnement en %
Paramètres de confort	- Thierry Launay	Classe 1	98%
	- Thierry Launay	Extérieur	26%
	- Briand Buisson	Classe1	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
Aldéhydes	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
Composés Organiques Volatils	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100%
	- Lille Fives	Urbaine	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100%
	- Lille Fives	Urbaine	100%
Poussières en suspension (PM10 et PM2,5)	- Thierry Launay	Classe 1	98%
	- Thierry Launay	Extérieur	43%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100% et 100%
	- Lille Fives	Urbaine	96,7% et 100%
	- Briand Buisson	Classe 1	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	98,3% et 100%
- Lille Fives	Urbaine	95,8% et 99,2%	
Ozone (O <sub>3</sub> )	- Thierry Launay	3 salles de classe	NR <sup>1</sup>
	- Thierry Launay	Extérieur	NR
	- Marcq-en-Baroeul	Urbaine	9,2%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
	- Marcq-en-Baroeul	Urbaine	81,7%

<sup>1</sup> NR : non réalisé



2<sup>ème</sup> phase

Polluant	Site de mesures	Typologie	Taux de fonctionnement en %
Paramètres de confort	- Thierry Launay	Classe 1	98%
	- Thierry Launay	Extérieur	98%
	- Briand Buisson	Classe 1	98%
	- Briand Buisson	Classe 2	98%
	- Briand Buisson	Extérieur	98%
Aldéhydes	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
Composés Organiques Volatils	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100%
	- Lille Fives	Urbaine	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100%
- Lille Fives	Urbaine	9,2%	
Poussières en suspension (PM10 et PM2,5)	- Thierry Launay	Classe 1	98%
	- Thierry Launay	Extérieur	98%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	100% et 100%
	- Lille Fives	Urbaine	100% et 98,3%
	- Briand Buisson	Classe 1	98%
	- Briand Buisson	Extérieur	98%
	- Roubaix Serres	Proximité automobile	98,3% et 96,7%
- Lille Fives	Urbaine	9,2% et 62,5%	
Ozone (O <sub>3</sub> )	- Thierry Launay	3 salles de classe	100%
	- Thierry Launay	Extérieur	100%
	- Marcq-en-Baroeul	Urbaine	100%
	- Briand Buisson	3 salles de classe	100%
	- Briand Buisson	Extérieur	100%
	- Marcq-en-Baroeul	Urbaine	100%



## Annexe 3 : Concentrations en aldéhydes classe par classe

Ecole Thierry Launay		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur
Formaldéhyde	Phase 1	5,8	5,4	5,2	1,8
	Phase 2	10,6	10,3	7,8	1,3
	<b>Campagne</b>	<b>8,2</b>	<b>7,8</b>	<b>6,5</b>	<b>1,5</b>
Acétaldéhyde	Phase 1	2,7	2,3	2,0	0,6
	Phase 2	4,7	4,5	3,8	1,7
	<b>Campagne</b>	<b>3,7</b>	<b>3,4</b>	<b>2,9</b>	<b>1,1</b>
Acroléine	Phase 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Phase 2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD<sup>1</sup></b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
Propanal	Phase 1	1,3	1,2	1,1	0,3
	Phase 2	2,2	2,2	2,1	0,7
	<b>Campagne</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>0,5</b>
Butanal	Phase 1	IC <sup>2</sup>	IC	IC	IC
	Phase 2	IC	IC	IC	IC
	<b>Campagne</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>
Benzaldéhyde	Phase 1	0,4	0,3	0,3	< 0,1
	Phase 2	0,7	0,7	0,5	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
Isopentanal	Phase 1	0,2	0,2	0,2	< 0,1
	Phase 2	0,2	0,2	0,3	0,2
	<b>Campagne</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
Pentanal	Phase 1	1,9	1,8	1,9	< 0,3
	Phase 2	2,8	2,7	2,3	< 0,3
	<b>Campagne</b>	<b>2,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>&lt; 0,3</b>
Hexanal	Phase 1	6,3	4,6	4,9	< 0,5
	Phase 2	11,7	11,3	7,7	0,8
	<b>Campagne</b>	<b>9</b>	<b>7,9</b>	<b>6,3</b>	<b>0,6</b>

<sup>1</sup> < LD : inférieur à la valeur de détection

<sup>2</sup> IC : interférence chromatographique



Ecole Briand Buisson		Concentrations en µg/m <sup>3</sup>			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur
Formaldéhyde	Phase 1	6,4	11,2	8,0	1,9
	Phase 2	11,3	20,4	14,2	2,3
	<b>Campagne</b>	<b>8,8</b>	<b>15,8</b>	<b>11,1</b>	<b>2,1</b>
Acétaldéhyde	Phase 1	3,5	4,7	4,3	1,0
	Phase 2	3,9	5,6	4,3	2,2
	<b>Campagne</b>	<b>3,7</b>	<b>5,1</b>	<b>4,3</b>	<b>1,6</b>
Acroléine	Phase 1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1
	Phase 2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
Propanal	Phase 1	2,4	3,3	2,8	0,3
	Phase 2	3,3	4,5	3,5	1,1
	<b>Campagne</b>	<b>1,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,1</b>	<b>0,7</b>
Butanal	Phase 1	IC	IC	IC	IC
	Phase 2	IC	IC	IC	IC
	<b>Campagne</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>
Benzaldéhyde	Phase 1	0,6	1,0	0,7	< 0,1
	Phase 2	1,0	1,8	1,3	0,6
	<b>Campagne</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1</b>	<b>0,3</b>
Isopentanal	Phase 1	0,2	0,3	0,2	< 0,1
	Phase 2	0,3	0,3	0,2	0,2
	<b>Campagne</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
Pentanal	Phase 1	3,3	3,4	3,1	< 0,3
	Phase 2	2,6	3,5	2,9	< 0,4
	<b>Campagne</b>	<b>2,9</b>	<b>3,4</b>	<b>3</b>	<b>&lt; LD</b>
Hexanal	Phase 1	9,3	14,0	10,5	< 0,6
	Phase 2	11,4	17,5	12,4	1,2
	<b>Campagne</b>	<b>10,3</b>	<b>15,7</b>	<b>11,4</b>	<b>0,9</b>



## Annexe 4 : Concentrations en COV classe par classe

Ecole Thierry Launay		Concentrations en µg/m <sup>3</sup>			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur
Benzène	Phase 1	1,2	1,2	1,0	0,9
	Phase 2	0,8	0,9	0,8	0,9
	<b>Campagne</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
Cyclohexane	Phase 1	0,2	0,4	0,2	0,1
	Phase 2	0,4	0,4	0,4	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
1-méthoxy-2-propanol	Phase 1	1,4	12,9	1,7	< 0,1
	Phase 2	1,9	19,1	2,7	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>1,6</b>	<b>16</b>	<b>2,2</b>	<b>&lt; LD</b>
Trichloroéthylène	Phase 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Phase 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
2-éthoxyéthanol	Phase 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Phase 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
Toluène	Phase 1	4,3	3,0	2,8	2,4
	Phase 2	2,3	2,3	2,3	2,0
	<b>Campagne</b>	<b>3,3</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>2,2</b>
Tétrachloroéthylène	Phase 1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Phase 2	0,1	0,1	0,1	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
n-butylacétate	Phase 1	0,3	2,1	1,9	0,1
	Phase 2	0,8	6,2	0,6	0,2
	<b>Campagne</b>	<b>0,5</b>	<b>4,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,1</b>
Ethylbenzène	Phase 1	0,3	0,3	0,3	0,2
	Phase 2	0,4	0,4	0,4	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
m- + p-xylène	Phase 1	0,7	0,7	0,7	0,5
	Phase 2	1,0	1,0	1,0	0,7
	<b>Campagne</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>
Styrène	Phase 1	0,6	0,4	0,4	0,2
	Phase 2	0,6	0,6	0,4	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>



o-xylène	Phase 1	0,3	0,3	0,3	0,2
	Phase 2	0,4	0,3	0,4	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
2-butoxyéthanol	Phase 1	< 0,1	0,2	0,2	< 0,1
	Phase 2	0,2	0,4	0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt; LD</b>
Alpha-pinène	Phase 1	< 0,1	0,3	0,3	< 0,1
	Phase 2	0,3	0,5	0,5	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>&lt; LD</b>
n-décane	Phase 1	0,5	0,5	0,7	0,2
	Phase 2	0,8	0,8	0,9	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>
1,2,4-triméthylbenzène	Phase 1	0,5	0,5	0,5	0,3
	Phase 2	0,8	0,8	0,9	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>
1,4-dichlorobenzène	Phase 1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Phase 2	0,1	0,1	0,1	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
2-éthyl-1-hexanol	Phase 1	0,3	0,5	0,5	< 0,1
	Phase 2	0,4	0,6	0,5	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>&lt; LD</b>
Limonène	Phase 1	2,5	3,6	3,6	0,3
	Phase 2	2,1	3,1	2,9	0,6
	<b>Campagne</b>	<b>2,3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>0,4</b>
n-undécane	Phase 1	0,4	0,6	0,6	0,2
	Phase 2	1,3	1,3	1,3	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>



Ecole Briand Buisson		Concentrations en µg/m <sup>3</sup>			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Extérieur
Benzène	Phase 1	1,2	1,2	1,2	1,1
	Phase 2	0,7	0,7	0,8	1,2
	<b>Campagne</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>
Cyclohexane	Phase 1	0,9	0,9	0,8	0,6
	Phase 2	0,4	0,5	0,4	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>
1-méthoxy-2-propanol	Phase 1	0,9	3,8	7,7	< 0,1
	Phase 2	4,2	3,1	6,0	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>2,5</b>	<b>3,4</b>	<b>6,8</b>	<b>&lt; LD</b>
Trichloroéthylène	Phase 1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1
	Phase 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
2-éthoxyéthanol	Phase 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Phase 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>	<b>&lt; LD</b>
Toluène	Phase 1	4,0	5,7	4,0	1,7
	Phase 2	2,3	3,2	2,7	1,2
	<b>Campagne</b>	<b>3,1</b>	<b>4,4</b>	<b>3,3</b>	<b>1,4</b>
Tétrachloroéthylène	Phase 1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Phase 2	0,1	0,3	0,1	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
n-butylacétate	Phase 1	2,3	10,3	5,4	0,1
	Phase 2	11,7	2,8	6,3	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>7</b>	<b>6,5</b>	<b>5,8</b>	<b>0,1</b>
Ethylbenzène	Phase 1	0,8	1,3	1,0	0,2
	Phase 2	0,6	0,9	0,8	0,2
	<b>Campagne</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>
m- + p-xylène	Phase 1	2,3	3,5	2,9	0,5
	Phase 2	1,5	2,0	1,9	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>1,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,4</b>	<b>0,4</b>
Styrène	Phase 1	0,7	0,7	0,8	0,2
	Phase 2	0,6	0,7	0,7	0,3
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>
o-xylène	Phase 1	0,9	1,4	1,2	0,2
	Phase 2	0,6	0,8	0,8	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>





2-butoxyéthanol	Phase 1	0,2	0,5	0,3	< 0,1
	Phase 2	0,4	0,7	0,5	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>&lt; LD</b>
Alpha-pinène	Phase 1	0,6	0,6	0,3	< 0,1
	Phase 2	0,5	0,3	0,5	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>&lt; LD</b>
n-décane	Phase 1	0,5	0,5	0,7	0,2
	Phase 2	0,6	0,5	0,7	0,5
	<b>Campagne</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>
1,2,4-triméthylbenzène	Phase 1	0,8	1,4	0,9	0,2
	Phase 2	1,2	1,8	1,3	0,2
	<b>Campagne</b>	<b>1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>
1,4-dichlorobenzène	Phase 1	0,1	0,1	0,1	< 0,1
	Phase 2	0,1	0,1	0,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt; LD</b>
2-éthyl-1-hexanol	Phase 1	0,4	0,8	0,7	< 0,1
	Phase 2	0,9	0,8	1,1	< 0,1
	<b>Campagne</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>&lt; LD</b>
Limonène	Phase 1	4,2	4,0	2,4	0,1
	Phase 2	2,2	1,4	3,4	0,1
	<b>Campagne</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>0,1</b>
n-undécane	Phase 1	0,9	1,2	1,8	0,3
	Phase 2	1,1	0,8	1,3	0,4
	<b>Campagne</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>



## Annexe 5 : le modèle ADMS Urban

Le modèle ADMS Urban version 3.1, développé par Cambridge Environmental Research Consultants (CERC), a été utilisé.

ADMS Urban, fonctionnant sous environnement PC, est un modèle de dispersion des polluants issus de sources industrielles, domestiques, ou routières en zone urbaine. Ces sources sont modélisées sous forme de points, de lignes, de volumes ou de grilles. Le modèle est conçu pour traiter la problématique de la dispersion du cas le plus simple (par exemple une source ponctuelle isolée) au cas urbain le plus complexe (plusieurs centaines de sources industrielles, domestiques ou routières distinctes).

Le modèle ADMS Urban est de type gaussien de seconde génération. Il utilise la paramétrisation de la structure de la couche limite atmosphérique basée sur la longueur de Monin-Obukhov, ainsi que sur la hauteur de cette couche limite. Alors que la plupart des modèles de ce type caractérisent la couche limite de façon approximative en termes de classes de Pasquill, dans ADMS la structure de la couche limite est définie par des grandeurs physiques mesurables, permettant une représentation plus réaliste de l'évolution des conditions de dispersion avec l'altitude.

Le modèle ADMS Urban a fait l'objet de plusieurs études d'intercomparaison et de validation. De nombreuses références sont disponibles sur le site de CERC :

<http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Urban-model/more.html>





Association  
pour la surveillance  
et l'évaluation  
de l'atmosphère  
en Nord - Pas-de-Calais

55 place Rihour  
59044 Lille Cedex  
Tél. : 03 59 08 37 30  
Fax : 03 59 08 37 31  
contact@atmo-npdc.fr  
www.atmo-npdc.fr

surveiller  
accompagner informer