

# Evaluation de la qualité de l'air intérieur au sein de la Pépinière d'entreprises Seine Ecopolis

2014-2015



## Avertissement

Air Normand est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Haute-Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Air Normand est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet ([www.airnormand.fr](http://www.airnormand.fr)), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faite sans l'autorisation écrite d'Air Normand est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Air Normand par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Air Normand de leur exactitude. La responsabilité d'Air Normand ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Air Normand ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Air Normand conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Air Normand ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Air Normand, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 1180-012

Le 11 mars 2016,

La rédactrice,  
Fiona PELLETIER

Le responsable du pôle « *campagnes de mesure et exploitation des données* »,  
Sébastien LE MEUR

*Air Normand – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN*

*Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : [contact@airnormand.fr](mailto:contact@airnormand.fr)*

*[www.airnormand.fr](http://www.airnormand.fr)*

## Résumé

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II (PRSE II) et de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA 2010-2015), Air Normand développe des actions de sensibilisation sur le thème de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI).

En 2014, la Métropole Rouen-Normandie a entrepris la construction d'une Pépinière d'entreprises « Seine Ecopolis » à Saint Etienne du Rouvray. Ce bâtiment a été conçu en visant l'exemplarité tant du point de vue des performances thermiques (niveau PassivHaus) qu'en termes d'excellence environnementale et de confort pour les occupants et les usagers du bâtiment. Air Normand a été associé au moment de la conception de ce bâtiment à un travail sur le choix des matériaux de construction et de finition peu émissifs en polluants.

A l'occasion de cette construction, il a été décidé d'évaluer la qualité de l'air intérieur du bâtiment Seine Ecopolis. L'objectif est d'en tirer des enseignements pour valider ou pour améliorer le choix des matériaux et du mobilier (associés au système de ventilation) pour de futures constructions ou rénovations.

Les résultats de cette étude serviront également à diffuser les bonnes pratiques et sensibiliser les différents publics sur le thème de la QAI. Enfin, ces résultats ont été intégrés à une base de données nationale gérée par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) pour alimenter un retour d'expérience national sur ce type de construction performante en énergie (programme Bâtiment performant en énergie de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur – OQAI BPE).

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées :

- une première campagne à réception du bâtiment,
- une seconde campagne après installation du mobilier,
- deux campagnes en présence des occupants après 6 mois puis 12 mois d'occupation du bâtiment.

Le présent rapport présente les résultats de l'ensemble de ces campagnes de mesures.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les débits de ventilation appliqués (supérieurs à la réglementation) permettent de limiter très efficacement le phénomène de confinement. Par conséquent, le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur du bâtiment est également limité.
- Pour un certain nombre de polluants gazeux spécifiques de l'air intérieur, les concentrations à réception sont plus élevées que lors des campagnes suivantes. Ces polluants sont liés en partie aux émissions des matériaux de construction/finition neufs. Ainsi, même si les matériaux ont été choisis pour avoir un impact réduit sur la qualité de l'air intérieur, les émissions des matériaux neufs ne sont pas nulles.
- Globalement, les concentrations en polluants gazeux diminuent entre la première et la dernière phase de mesures. Cette diminution des concentrations dans le temps peut s'expliquer par le fait que les matériaux relarguent plus quand ils sont neufs, puis les émissions diminuent, plus ou moins rapidement, dans le temps.
- La plupart des concentrations en polluants gazeux sont inférieures aux valeurs guides en air intérieur dès la phase de réception des travaux. Seul le benzène dépasse très légèrement la valeur guide mais respecte la valeur limite.
- Pour certains polluants gazeux, les concentrations mesurées dès les premières semaines de vie du bâtiment sont également inférieures à celles habituellement retrouvées dans des environnements intérieurs. Seuls certains composés présentent encore au bout d'une année d'occupation des concentrations supérieures à celles des études de comparaison en environnement intérieur.

## SOMMAIRE

1. Sigles, symboles et abréviations .....	4
2. Introduction .....	5
3. Eléments nécessaires à la compréhension du document .....	5
3.1. Définitions.....	5
3.2. Contexte.....	5
3.3. Approche choisie.....	9
3.4. Matériel et modèles.....	11
3.5. Méthode .....	14
3.6. Origine des données .....	16
3.7. Limites.....	16
4. Déroulement.....	16
5. Résultats.....	18
5.1. Résultats bruts .....	18
5.2. Résultats transformés.....	18
6. Interprétation des résultats et discussion .....	27
7. Conclusion et recommandations .....	32
8. Pages complémentaires.....	34
8.1. Annexes.....	34
8.2. Bibliographie .....	47

### 1. Sigles, symboles et abréviations

---

$\alpha$ -pinène : alpha-pinène

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

Bq/m<sup>3</sup> : becquerel par mètre cube

CNL : campagne Nationale Logements

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

ERP : Etablissement Recevant du Public

ICF : Indice de Contamination Fongique

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

$\mu$ g/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

NO<sub>2</sub> : Dioxyde d'azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

PM2.5 : Particules inférieures à 2,5 $\mu$ m mesurées en masse

PREBAT : Programme de Recherche et d'expérimentation sur l'Energie dans les Bâtiments

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

PSQA : Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air

RSD : Règlement Sanitaire Départemental

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

VGAI : Valeur Guide pour l'Air Intérieur

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

## 2. Introduction

---

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II (PRSE II) et de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA 2010-2015), Air Normand développe des actions de sensibilisation et d'amélioration des connaissances sur le thème de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI).

Début 2014, les travaux de construction de la nouvelle pépinière d'entreprises Seine Ecopolis se sont terminés. Dès la conception de ce bâtiment, la Métropole Rouen-Normandie désirait évaluer l'impact des choix opérés pour sa construction sur la qualité de l'air intérieur.

A cette occasion, et dans le cadre d'une convention pluriannuelle avec la Métropole Rouen-Normandie, Air Normand a réalisé une série de mesures relatives à la QAI dans plusieurs bureaux de la pépinière d'entreprises.

Les objectifs de ces mesures sont :

- D'évaluer l'impact des matériaux de construction et d'ameublement sur la qualité de l'air intérieur du bâtiment au cours du temps,
- D'effectuer un retour d'expérience sur les choix effectués,
- De diffuser les bonnes pratiques en matière de choix de matériaux et de mobilier.

Ce rapport est destiné à la Métropole Rouen-Normandie ainsi qu'aux occupants et usagers du bâtiment. Il est ensuite rendu disponible sur le site [www.airnormand.fr](http://www.airnormand.fr) pour tout public intéressé.

Les données des deux dernières campagnes en occupation normale du bâtiment sont également intégrées, de manière anonyme, à la base de données nationale des bâtiments performants en énergie gérée par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) (programme Bâtiment performant en énergie de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur – OQAI BPE).

## 3. Eléments nécessaires à la compréhension du document

---

### 3.1. Définitions

Valeur-limite (définie dans le décret n° 2015-1926) : valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé. [1]

Valeur-guide pour l'air intérieur ou VGAI (définie dans le décret n° 2011-1727) : Valeurs fixées dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre dans la mesure du possible, dans un délai donné. [2]

### 3.2. Contexte

La problématique "Bâtiment – Santé" a émergé dans les années 70, alors que les politiques d'économie d'énergie recommandaient une isolation plus importante des bâtiments. Depuis, la qualité de l'air intérieur a fait l'objet d'une attention particulière de la communauté scientifique. Les effets sur la santé qui lui sont associés sont en relation avec le temps passé dans les environnements intérieurs : logement, transports, lieux de travail ou de vie scolaire, espaces clos de loisirs ... [3]

Les sources d'émissions de substances polluantes sont nombreuses dans les bâtiments : matériaux de construction et d'ameublement, systèmes de chauffage, produits d'entretien, présence et activités humaines (cf. Annexe 1)... Or, une mauvaise qualité de l'air intérieur peut favoriser l'émergence de symptômes tels que : maux de tête, fatigue, irritations de la peau et des muqueuses, allergies et asthme. [4]

Pour répondre aux exigences des réglementations thermiques qui se sont succédées ces dernières années, les bâtiments sont de moins en moins perméables à l'air, dans une logique d'économie d'énergie. Or, en diminuant la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments le risque d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments devient plus élevé. D'où l'importance d'une ventilation efficace dans les bâtiments. En effet, la ventilation et l'aération régulière des bâtiments permettent de limiter le phénomène de confinement et d'améliorer l'élimination des polluants et de l'excès d'humidité présents dans le bâtiment.

Parmi les nombreuses sources intérieures, les matériaux de construction, de finition et d'ameublement ont un impact non négligeable sur la QAI. En effet, certains matériaux (par exemple : colles, peintures, moquettes, ...) peuvent émettre des polluants particuliers, gazeux ou biologiques (Composés Organiques Volatils ou COV, fibres et particules fines, acariens, etc.) [5]

Les émissions de polluants gazeux sont plus importantes lors de la mise en place de matériaux neufs. Ces émissions ont ensuite tendance à diminuer dans le temps, plus ou moins rapidement. [6]

Un certain nombre d'études relatives à la QAI ont déjà été réalisées dans des bâtiments performants en énergie [7][8][9][10][11][12]. Les résultats de ces études ont montré que :

- les performances du système de ventilation et les habitudes d'aération ont une influence non négligeable sur la QAI,
- la qualité de l'air extérieur peut avoir une influence sur la qualité de l'air intérieur (selon l'étanchéité à l'air du bâtiment et la position des prises d'air neuf du système de ventilation),
- les concentrations en polluants gazeux sont, la plupart du temps, plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur (ceci peut-être lié soit à une source de pollution supplémentaire à l'intérieur du bâtiment, soit à un phénomène d'accumulation de ces polluants dans le bâtiment),
- les matériaux de construction, de finition et d'ameublement neufs (ainsi que les livres et magasins neufs) ont un impact sur la QAI et cet impact diminue, plus ou moins rapidement, dans le temps.

Depuis 2012, un nouvel étiquetage des produits de construction et de revêtement est entré en vigueur. Cet étiquetage caractérise les matériaux selon leurs émissions de polluants volatils suivant une échelle allant d'A+ (niveau d'émission peu élevé) à C (niveau d'émission élevé). Le calcul de la classe d'émission associée à chaque matériau est basé sur les émissions de dix COV ainsi que les COV Totaux [13]. Les dix COV en question font partie de la liste des paramètres mesurés dans le cadre de cette étude.

La loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 [14] a prévu l'obligation de surveiller périodiquement la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (ERP)<sup>1</sup>. Les substances polluantes qui doivent être surveillées dans le cadre de cette réglementation sont : le formaldéhyde, le benzène, le tétrachloroéthylène et le dioxyde de carbone. Même si Ecopolis n'est pas un ERP, ces quatre polluants prioritaires font également partie de la liste des paramètres mesurés dans le cadre de cette étude.

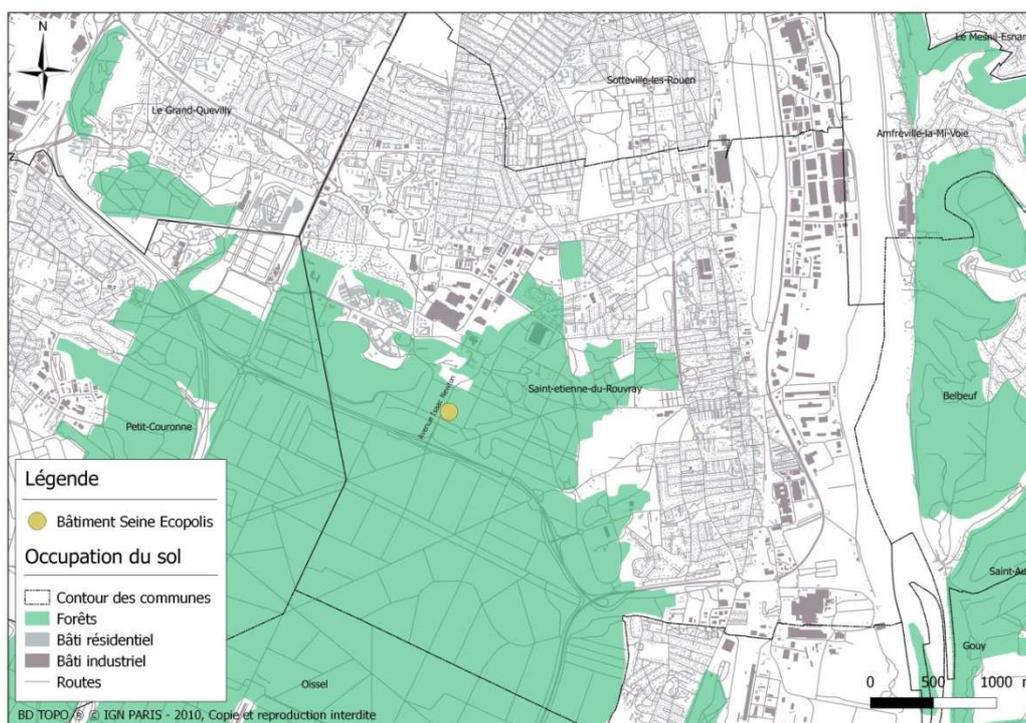
### ***Caractéristiques de la pépinière d'entreprises Seine Ecopolis***

Lors de la construction du bâtiment la problématique de la QAI a été prise en compte. Ainsi, les matériaux de construction et de finition ont été choisis avec pour objectif d'impacter le moins possible la QAI. De plus, une attention particulière a été portée au système de ventilation. Les matériaux d'ameublement des parties communes et des bureaux occupés par la Métropole Rouen-

---

<sup>1</sup> Dispositif réglementaire en cours de modification au moment de la rédaction de ce rapport.

Normandie ont également été choisis pour leur impact moindre sur la QAI. Dans les autres bureaux, occupés par les différentes entreprises de la pépinière, le choix des matériaux d'ameublement n'a pas fait l'objet de prescriptions particulières.



**Figure 1 : localisation de la Pépinière d'entreprises Seine Ecopolis**

La pépinière d'entreprises Seine Ecopolis est située sur la commune de Saint Etienne du Rouvray à l'extrémité sud du Technopôle du Madrillet, dans un environnement péri-urbain (voir Figure 1). Le site est bordé à l'ouest par l'avenue Isaac Newton, au nord par une autre entreprise tertiaire, à l'est par la forêt et au sud à 300 mètres du bâtiment se trouve la départemental 418. Un parking est situé juste devant le bâtiment.

Le bâtiment a été réceptionné en février 2014. Le mobilier a été livré et installé entre mars et avril 2014. Le bâtiment a été occupé à partir de mai 2014.

Le bâtiment est composé d'une partie de bureaux et d'une partie d'ateliers. Dans le cadre de cette étude, seule la partie de bureaux est investiguée.

La conception énergétique du bâtiment a été réfléchié selon le standard PASSIVHAUS, à savoir : optimisation de l'enveloppe du bâtiment (traitement des ponts thermique, inertie des parois, étanchéité à l'air, etc.), prise en compte de l'ensemble des apports internes liés à l'usage et à l'occupation, optimisation des apports solaires (orientation des façades, disposition des ouvertures, facteur solaire des vitrages).

Valeurs maximales à atteindre dans le cadre du label PASSIVHAUS :

- Besoins de chauffage : 15 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an
- Consommations énergétique globale : 120 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an (comprend tous les postes de consommation du bâtiment)
- Etanchéité : 0,6 vol/h selon l'indice n50 (norme européenne)

La pépinière Ecopolis est équipée d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux avec récupérateur de chaleur haut rendement assurant le chauffage des bureaux par l'air hygiénique (batteries terminales réparties par niveau et par zone climatique). Les débits d'air prévus par la

maîtrise d'ouvrage (30m<sup>3</sup>/h/pers.) sont supérieurs aux débits réglementaires du Code du Travail [15][16]. En effet, selon l'article R4222-6 : le débit d'air neuf à introduire dans des bureaux est de : 25 m<sup>3</sup>/h/occupant. La ventilation est arrêtée la nuit lorsque le bâtiment n'est pas occupé (entre 21h et 7h). Une surventilation nocturne peut-être commandée par la Centrale de Traitement de l'Air (CTA) en cas de défaillance du système de ventilation naturelle nocturne. Le rafraîchissement nocturne est assuré par des ouvrants motorisé (entrée d'air dans les bureaux et extraction dans le hall).

Les débits d'air ont fait l'objet de mesures dès la réception du bâtiment et jusqu'à l'équilibrage final du système en février 2015.

La production de chauffage est assurée par une chaudière gaz à condensation qui alimente les batteries terminales en eau chaude de la partie bureaux.

Les éléments de mobilier installés dans les bureaux occupés par la Métropole ont été choisis selon plusieurs critères environnementaux, dont l'impact sur la QAI faisait partie (mobilier métallique, colles sans formaldéhyde). Dans les autres bureaux le choix des éléments de mobilier a été laissé aux entreprises locataires et n'a pas fait l'objet de recommandations particulières. Ce mobilier peut être neuf ou ancien selon les bureaux.

En ce qui concerne les matériaux de construction et finition : les sols sont en linoléum (étiquetage A+), les colles et ragréage sont étiquetés A+, les plinthes en bois, les murs sont des plaques de plâtre peintes (A ou A+). Les plafonds sont des dalles minérales, les portes intérieures sont en bois stratifiées en usine et les menuiseries intérieures en bois vernis en usine.

Le type de ventilation et ses performances ont été choisis dans le but de garantir une bonne QAI et d'assurer le confort des occupants.

- Ainsi la ventilation devrait accélérer le phénomène de décroissance des émissions polluantes issues des matériaux neufs.
- La ventilation devrait également limiter le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments.
- Il est également vraisemblable qu'elle pourra limiter le phénomène de confinement observé dans certains établissements où la ventilation est peu performante.

Par ailleurs, un contrat d'exploitation des installations CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation) a été mis en place pour assurer l'entretien notamment des filtres et vérifier le bon réglage des installations. Les filtres sont remplacés 2 fois par an et un contrôle intermédiaire est réalisé par la société d'exploitation (contrôle de l'encrassement des filtres, vérification de la Gestion Technique des Bâtiments - GTB, nettoyage des gaines et des diffuseurs).



Figure 2 : Bâtiment Seine Ecopolis

### 3.3. Approche choisie

En 2012, un dispositif national de mesures et de collecte de données sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments performants en énergie a été mis en place par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) (programme OQAI-BPE) sous la direction du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Ce programme vise à améliorer les connaissances dans ce domaine. Basé sur des protocoles harmonisés établis par l'OQAI et ses partenaires scientifiques et techniques<sup>2</sup>, il permet un suivi multicritères des bâtiments performants en énergie : qualité de l'air, confort thermique, visuel et acoustique et ressenti des occupants.

Les polluants gazeux concernés par l'étiquetage sanitaire des matériaux de construction et ceux concernés par la surveillance réglementaire dans les ERP sont pris en compte dans ce « protocole harmonisé ».

L'investigation de la QAI à Ecopolis a été menée selon ce « protocole harmonisé ». Par ailleurs, dans le cadre de cette étude, il a été convenu avec la Métropole de réaliser deux campagnes à réception du bâtiment (en plus de ce qui est demandé par le protocole harmonisé de l'OQAI).

Ainsi, Air Normand a réalisé des mesures :

- de polluants gazeux qui peuvent être liés à l'environnement, aux matériaux de construction et d'ameublement, aux phénomènes de combustion, aux produits d'entretien et aux désodorisants (cf. Tableau 1),
- d'un indicateur principalement lié à la circulation automobile : le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ),
- de particules en suspension ( $\text{PM}_{2.5}$ )<sup>3</sup> (liées au chauffage, au trafic, à l'industrie),
- de contamination fongique,
- et enfin, de paramètres de confort : confinement, concentration en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), température, humidité relative et débits d'air<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> ADEME, AIR&BIO, Air Normand, Air Rhône-Alpes, ASPA, CETE Nord-Picardie, CETE de l'Ouest, CERTES/Université Paris-Est Créteil, COSTIC, DHUP, EHESP, Ecole des Mines de Douai, HUS/Service pneumologie, INERIS/LCSQA, LCPP, LHVP, PEUTZ, Université Cergy-Pontoise, Université Lyon 1/CNRS écologie microbienne.

<sup>3</sup> Moyennes hebdomadaires selon le protocole de l'OQAI mais également en continu dans un des bureaux.

<sup>4</sup> Les débits d'air ont été mesurés par la Métropole Rouen-Normandie lors de la 4<sup>ème</sup> phase de mesures uniquement.

Les paramètres mesurés sont synthétisés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Polluants gazeux		Polluant particulaire	Autres paramètres
<b>Composés Organiques Volatils (COV) :</b>			
Benzène Toluène Ethylbenzène o/m/p-xylènes styrène 1,2,4-triméthylbenzène 1,4-dichlorobenzène Trichloroéthylène Tétrachloroéthylène n-décane <i>α</i> -pinène limonène 1-méthoxy-2-propanol 2-butoxyéthanol n-hexane  <i>2-butoxy-éthyl acétate</i> <i>1-méthoxy-2-propyl acétate</i> <i>n-undécane</i> <i>naphtalène</i>	<b>Aldéhydes :</b>  Formaldéhyde Acétaldéhyde Hexanal <i>Propanal</i> <i>Butanal</i> <i>Benzaldéhyde</i> <i>Isopentanal</i> <i>Pentanal</i>	Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )  Radon	Température  Humidité relative  Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )  Débits d'air  Indice de contamination fongique
		Particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm (PM 2,5) :  - En moyenne hebdomadaire	

**Tableau 1 : synthèse des paramètres retenus pour les campagnes de mesures**  
*En italique : les polluants d'intérêt mesurés en plus du protocole de l'OQAI*

Les résultats des différentes mesures des polluants gazeux et particulaires ont été comparés à des valeurs de référence lorsqu'elles existent. A chaque fois les campagnes de mesures se sont déroulées sur 4,5 jours, par conséquent les comparaisons aux valeurs de longue durée sont données à titre indicatif.

Les VALEURS-LIMITES du décret n° 2015-1926 [1] relatif à la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les Etablissements Recevant du Public (ERP) pour le formaldéhyde, le benzène :

Benzène : 10 µg/m<sup>3</sup>

Formaldéhyde : 100 µg/m<sup>3</sup>

Les VALEURS-LIMITES du Haut Conseil en Santé Publique [17] :

PM2.5 : 50 µg/m<sup>3</sup>

L'activité volumique du radon est comparée aux valeurs réglementaires dans les lieux ouverts au public [18].

- Premier niveau d'action : 400 Bq/m<sup>3</sup>
- Deuxième niveau d'action : 1000 Bq/m<sup>3</sup>

Les VALEURS-GUIDES EN AIR INTERIEUR (VGAI) réglementaires du décret n° 2011-1727 [2] relatif à la surveillance réglementaire de la QAI dans les ERP pour le formaldéhyde et le benzène :

Benzène : VGAI à atteindre en 2013 :  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (pour une exposition longue durée).

Formaldéhyde : VGAI à atteindre en 2015 :  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (pour une exposition longue durée).

Les VGAI indicatives du Haut Conseil en Santé Publique [17]:

PM2.5 :  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

La VGAI indicative de l'ANSES [19] :

NO<sub>2</sub> :  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Les VGAI indicatives du projet européen INDEX [20] :

Toluène :  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Terpènes :  $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Le Règlement Sanitaire Départemental (RSD) [16] pour les concentrations en CO<sub>2</sub> :

- Dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur en CO<sub>2</sub> ne doit pas dépasser 1000 ppm, avec une valeur de tolérance de **1300 ppm** dans les locaux où il est interdit de fumer.

Le Code du Travail (Art. R4222-6) [15] pour les débits d'air :

- La valeur de référence dans les locaux de type bureaux est de **25m<sup>3</sup>/h/occupant**.

Les valeurs de référence qui existent pour les autres composés sont rassemblées dans l'Annexe 7.

Les résultats ont aussi été comparés à des valeurs obtenues lors d'autres campagnes de mesures. Les études sélectionnées pour effectuer cette comparaison sont :

- En priorité, le projet européen OFFICAIR dans 37 immeubles de bureaux neufs ou récemment réhabilités répartis dans 8 pays européens<sup>5</sup> en 2012-2013 [22] lorsque les valeurs de comparaison existent.
- La Campagne Nationale Logements (CNL) de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) réalisée dans 600 logements français entre 2003 et 2005 [21] pour les polluants non mesurés dans le projet OFFICAIR,

Ces différentes campagnes permettent de comparer les résultats de la présente étude à un échantillon varié d'établissements qu'ils soient neufs ou plus anciens, performants en énergie ou non.

### 3.4. Matériel et modèles

Pour chaque paramètre, le matériel de prélèvement et de mesure est présenté dans le Tableau 2 ainsi que la méthode d'analyse utilisée.

<sup>5</sup> Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas, Portugal.

Paramètres mesurés	Appareillage	Principe d'analyse
<b>Composés Organiques Volatils (COV) et aldéhydes</b>	Echantillonneur passif Radiello® 	HPLC puis détection UV (aldéhydes) Chromatographie gazeuse puis détection par spectrométrie de masse (autres composés)
<b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b>	Echantillonneur passif Passam 	Dosage colorimétrique
<b>Particules en suspension (PM 2.5)</b> <i>Méthode de référence : moyenne hebdomadaire</i>	 MicroVol	Prélèvement des particules PM 2.5 par pompage (3L/min) pendant 4.5 jours (de 8h à 16h) et pesée en laboratoire
<b>Température</b> <b>Humidité relative</b> <b>Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</b>	Q-Trak 	Mesures en continu sur un pas de temps de 10 minutes (analyse et enregistrement)
<b>Débits d'air soufflés</b>	 Anémomètre à fil chaud	Mesures de la vitesse d'écoulement de l'air dans une gaine de ventilation en fonction du diamètre de la gaine

### Activité volumique du radon



Dosimètre

Accumulation passive sur le support pendant 2 mois puis mesure de l'activité volumique intégrée du radon (en Bq/m<sup>3</sup>)

### Contamination fongique

Ecouvillons et scotch test



Prélèvements de surface puis analyses en laboratoire (Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris)

### Indice de contamination fongique (ICF)

Calcul de l'indice de présence de moisissures à partir des chromatogrammes bruts issus de l'analyse des échantillonneurs passifs de COV (l'ICF est soit positif soit négatif)

Tableau 2 : descriptif du matériel utilisé pour les campagnes de mesures

En même temps que les campagnes de mesures, un planning d'occupation des différents bureaux investigués a été complété par les occupants. Ce planning d'occupation précise le nombre de personnes présentes dans la pièce par tranche d'une heure. Les occupants ont également complété, pour chaque campagne et pour chaque pièce, un questionnaire d'activités. On y retrouve des informations sur :

- les périodes/fréquences d'ouverture des portes et fenêtres,
- les différentes activités réalisées dans les locaux,
- les activités ménagères,
- le fonctionnement du système de ventilation,
- les évènements particuliers qui pourraient avoir un impact sur la qualité de l'air intérieur.

Après exposition (voir exemples Figure 3), les échantillonneurs passifs sont envoyés à des laboratoires spécialisés pour analyses.

Les analyses des aldéhydes et du dioxyde d'azote sont réalisées par le laboratoire de chimie d'AIRPARIF (Paris). Les aldéhydes sont analysés selon la norme NF ISO 16000-4 de février 2012 et le dioxyde d'azote selon la norme NF EN 16339 de septembre 2013.

Les COV sont quant à eux analysés par la Fondazione Salvatore Maugeri (Italie) selon la norme NF ISO 16017-2 d'octobre 2003.

La masse de poussières PM2.5 déposée sur les filtres Teflon pré-pesés des MicroVol est déterminée par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (pesées avant et après exposition) selon la norme NF EN 12341 de juin 2014.

Les dosimètres radon, après 2 mois d'exposition, sont envoyés au laboratoire DOSIRAD. La mesure de l'activité volumique du radon est réalisée par le laboratoire selon la norme NF ISO 11665-4 d'octobre 2012.

Les autres paramètres (température, humidité relative et CO<sub>2</sub>) sont évalués au moyen d'appareils de mesures automatiques. Les données enregistrées correspondent à des moyennes établies toutes les dix minutes.

Les mesures des débits d'air soufflés sont réalisées par la Métropole Rouen Normandie grâce à un anémomètre à fil chaud (intégration d'une série de 4 mesures dans la gaine de ventilation en fonction du diamètre de la gaine).



Figure 3 : exemples d'installation des tubes passifs sur site (à gauche : à l'intérieur ; à droite : à l'extérieur)

### 3.5. Méthode

Il a été choisi de réaliser 4 campagnes de mesures :

- **Phase 1** : A réception du bâtiment (avant l'installation du mobilier) pour observer l'impact des matériaux de construction et finition sur la QAI,
- **Phase 2** : Après installation du mobilier (sans occupants) pour observer l'impact des différents types de mobilier sur la QAI,
- **Phase 3** : Après 6 mois d'occupation normale du bâtiment et en période d'occupation pour évaluer d'une part la décroissance des émissions dues aux matériaux de construction et d'ameublement et d'autre part l'influence des occupants, de leur usage du bâtiment et de leurs activités dans le bâtiment.
- **Phase 4** : Après 12 mois d'occupation et en présence des occupants pour évaluer la décroissance des émissions, l'influence des occupants et de leurs usages et également la différence entre une période hivernale et estivale.

Pour chacune des campagnes, la période de mesures est de 4,5 jours.

Lors des phases 1 et 2, deux bureaux ont été investigués ; un bureau de la Métropole Rouen-Normandie (n°00) et un bureau locatif au deuxième étage (n°41).

Lors des phases 3 et 4, cinq bureaux ont été investigués, réparties entre le rez-de-chaussée, le premier et le deuxième étage du bâtiment et les différentes expositions possibles (cf. Figure 4). Ces cinq bureaux ont été choisis pour représenter la diversité d'occupation des bureaux : bureaux individuel ou paysager. Parmi ces cinq bureaux, celui de la Métropole Rouen-Normandie est équipé de mobilier choisi spécifiquement pour limiter l'impact sur la QAI. Les autres bureaux sont équipés de mobilier classique.

Lors des phases 1, 2 et 3, le système de ventilation a fonctionné en « sous-ventilation » à cause du mauvais équilibrage des installations. Lors des 4 campagnes, la ventilation était complètement arrêtée la nuit et le week-end.

Un point de mesure à l'extérieur a également été instrumenté (cf. Figure 4) pour pouvoir effectuer la comparaison des concentrations de polluants entre l'intérieur et l'extérieur.

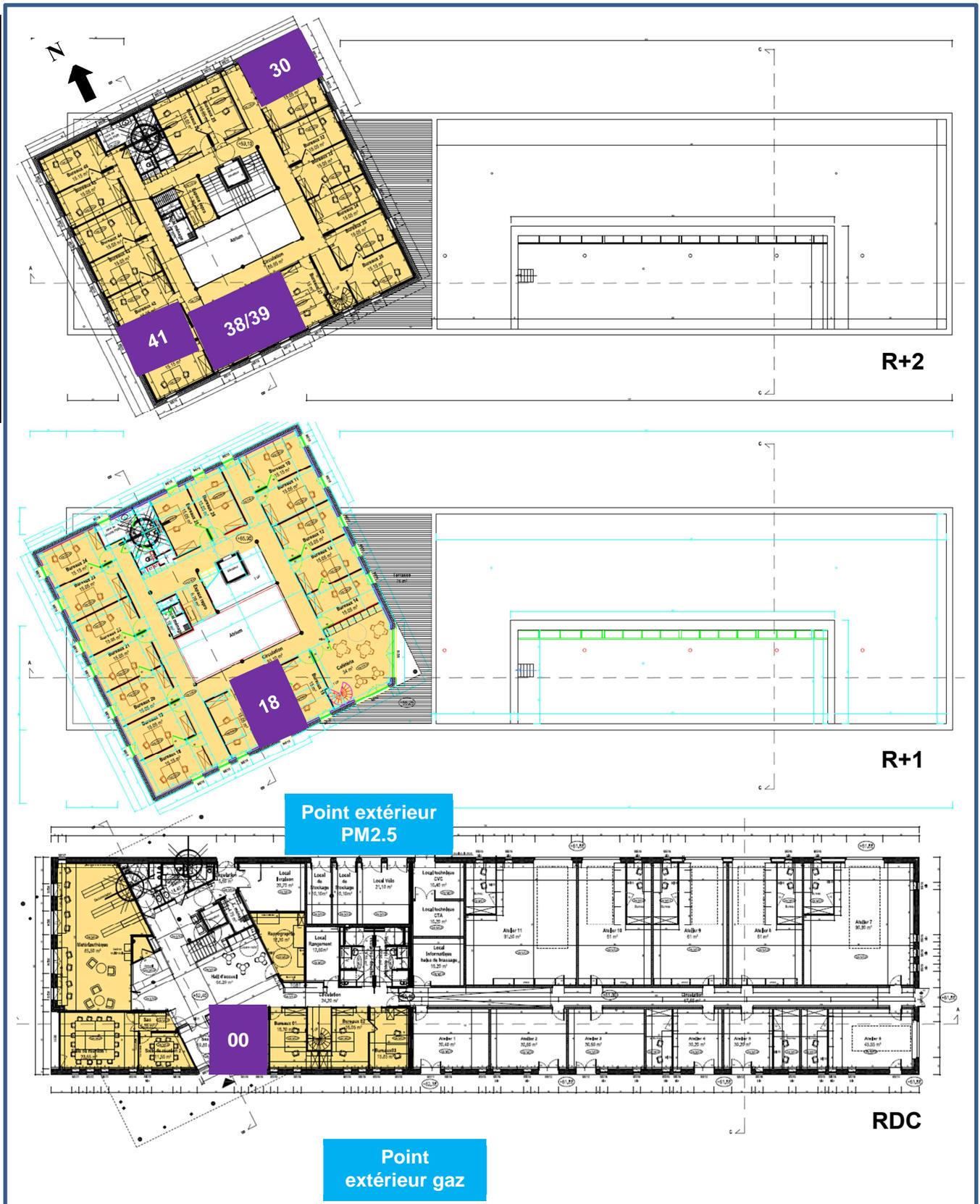


Figure 4 : Plan d'Ecopolis et localisation des sites de mesure (intérieur et extérieur)

### 3.6. Origine des données

Les données de polluants gazeux proviennent des analyses réalisées par les laboratoires d'Airparif et de la Fondation Salvatore Maugeri.

Les données des PM<sub>2.5</sub> (prélèvements par les MicroVol pendant une semaine) sont issues des analyses du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris.

Les données d'activité volumique du radon sont issues des analyses du laboratoire DOSIRAD.

Les données des paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, température, humidité relative) sont directement extraites des appareils de mesures d'Air Normand.

Les données de débits d'air soufflés sont fournies par la Métropole Rouen-Normandie.

Les informations sur l'occupation des bureaux, les activités pratiquées au cours des semaines de mesures et sur les habitudes d'aération ont été renseignées dans des questionnaires par les occupants des bureaux différents.

Les valeurs de référence proviennent des décrets n° 2015-1926 [1] et n° 2011-1727 [2], du Code du Travail [15], du HCSP [17], du RSD [16], de l'arrêté radon [18], de l'ANSES [19] et du projet européen INDEX [20].

Les valeurs de comparaison proviennent du projet européen OFFICAIR [22] et de la Campagne Nationale Logements de l'OQAI réalisée en 2003-2005 [21].

Les informations sur les caractéristiques du bâtiment, des matériaux de construction et d'ameublement sont fournies par la Métropole Rouen-Normandie.

### 3.7. Limites

Les campagnes de mesures sont ponctuelles (4,5 jours), or les concentrations en polluants peuvent évoluer au cours d'une année (influence de la température, de l'humidité relative, du rayonnement solaire, des émissions de polluants extérieurs, des interactions entre différents polluants mais aussi des activités pratiquées dans les salles investiguées, des produits d'entretien et de l'aération/ventilation.).

Le nombre de paramètres mesurés est limité. Cette sélection découle d'un travail national basé sur des considérations sanitaires mais aussi liées à la faisabilité technique de la mesure ou de l'analyse. Néanmoins il existe de nombreux autres polluants potentiellement présents en air intérieur.

Enfin, les valeurs de références utilisées dans ce rapport sont susceptibles de modifications ultérieures du fait de l'évolution des connaissances.

## 4. Déroulement

---

Une visite du bâtiment a été réalisée par Air Normand et la Métropole Rouen-Normandie en février 2014. Cette visite a permis de définir les pièces à instrumenter.

Les dates des deux premières campagnes de mesures ont été choisies en fonction de l'avancée des travaux et de la livraison du mobilier.

Les paramètres de confort sont mesurés uniquement pendant la phase d'occupation du bâtiment (phases 3 et 4).

Les dates des différentes campagnes de mesures sont rassemblées dans le Tableau 3 :

Campagnes de mesures	Date de début	Date de fin	Pièces investiguées	Paramètres mesurés
<b>Phase 1 (à réception)</b>	24/02/2014	28/02/2014	Bureaux n°00 et 41	Polluants gazeux (COV, aldéhydes, NO <sub>2</sub> )
<b>Phase 2 (avec mobilier)</b>	14/05/2014	19/05/2014		
<b>Phase 3 (à + 6 mois en occupation - été)</b>	15/09/2014	19/09/2014	Les 5 bureaux (00, 18, 30, 38/39, 41)	Tous les paramètres (voir Tableau 1), hors débits d'air <sup>6</sup>
<b>Phase 4 (à + 12 mois en occupation - hiver)</b>	16/03/2015	20/03/2015		Tous les paramètres (voir Tableau 1), hors radon <sup>7</sup>

Tableau 3 : dates des différentes campagnes de mesures

La mesure des débits d'air n'a pu être effectuée que lors de la dernière campagne. En effet, quelques adaptations des gaines aérauliques ont été nécessaires pour pouvoir réaliser ces mesures.

Un mauvais équilibrage a été constaté dès le début de la mise en service : « douche froide » sous les diffuseurs des bureaux, mauvaises odeurs dans certains bureaux, températures de 20°C difficile à maintenir. De plus, des mesures ont montré des débits compris entre 15 et 30m<sup>3</sup>/h dans les bureaux au lieu de 60 m<sup>3</sup>/h, ce qui a confirmé le ressenti des utilisateurs.

Après plusieurs tentatives d'équilibrage, la solution a été trouvée en février 2015. Les modules de régulation disposés dans les gaines de ventilation étaient mal réglés, la surface de passage d'air étant beaucoup trop faible.

Le réglage définitif de ces modules, accompagné d'un nouvel équilibrage et de prises de mesures ont permis de lever tous les problèmes d'inconforts liés à la ventilation.

A la fin des périodes de mesure, les tubes passifs et les filtres ont été retirés, conditionnés (les tubes de prélèvement des aldéhydes et les filtres sont stockés au froid et à l'abri de la lumière) et envoyés aux laboratoires spécialisés pour analyses.

Les dosimètres radon sont restés sur site pendant 2 mois, avant d'être retirés, conditionnés et envoyés au laboratoire DOSIRAD.

Les autres données ont été extraites des appareils de mesures en continu, validées puis exploitées. Au bout de quelques semaines, les laboratoires spécialisés ont transmis les résultats bruts à Air Normand, qui les a alors exploités.

<sup>6</sup> Impossibilité matériel de réaliser les mesures lors de cette phase.

<sup>7</sup> Le radon n'est mesuré qu'à une seule période de mesure entre septembre et avril.

## 5. Résultats

---

### 5.1. Résultats bruts

L'ensemble des résultats bruts sont disponibles sur demande auprès d'Air Normand ([contact@airnormand.fr](mailto:contact@airnormand.fr)).

### 5.2. Résultats transformés

#### 5.2.1. Paramètres de confort (température, humidité relative, CO<sub>2</sub>, débits d'air)

Les résultats détaillés des paramètres de confort sont rassemblés dans l'Annexe 3.

##### *Température*

La température des différents bureaux investigués varie entre 21.5°C et 26.7°C en été (phase 3) et entre 19.5°C et 24.1°C en hiver (phase 4). Les températures sont globalement homogènes entre les 5 bureaux investigués. La température mesurée dans le bureau n°30 est toujours la plus faible.

La température à l'intérieur du bâtiment diminue entre le jour et la nuit : cette baisse est au maximum de 2°C, alors qu'à l'extérieur, l'écart de température entre la nuit et le jour est au maximum de 10°C.

##### *Humidité relative*

L'humidité relative des différents bureaux investigués varie entre 46% et 65%<sup>8</sup> en été (phase 3) et entre 25% et 40% en hiver (phase 4). L'humidité relative est globalement homogène entre les 5 bureaux investigués. Celle relevée dans le bureau n°30 est toujours la plus élevée en lien avec une température plus faible.

On observe que l'humidité extérieure n'a que peu d'influence sur l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment. En effet, en moyenne, quand l'humidité extérieure augmente de 50%, l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment n'augmente que de 8%.

##### *CO<sub>2</sub>*

En été (phase 3) : la concentration en CO<sub>2</sub> minimale observée est de 377 ppm (bureau 30) et la concentration maximale est de 1346 ppm (bureau 18). La moyenne des concentrations en CO<sub>2</sub> sur les 5 bureaux investigués est de **515 ppm** (en période d'occupation)

En hiver (phase 4) : la concentration en CO<sub>2</sub> minimale observée est de 371 ppm (bureau 30) et la concentration maximale est de 918 ppm (bureau 38/39). La concentration moyenne en CO<sub>2</sub> sur les 5 bureaux investigués est de **568 ppm** (en période d'occupation).

L'évolution des concentrations en CO<sub>2</sub> est bien corrélée avec les périodes d'occupation des bureaux. En effet, lorsque les salles sont occupées, la concentration en CO<sub>2</sub> augmente. Puis, suite au départ des occupants, la concentration en CO<sub>2</sub> chute brusquement.

Les concentrations sont globalement très faibles, et un seul dépassement de la valeur de tolérance du RSD (1300 ppm) [16] est observé (lors de la phase 3 dans le bureau 18 pendant une dizaine de minutes).

Ci-dessous (Figure 5) est représentée l'évolution des concentrations en CO<sub>2</sub> et l'occupation de la pièce au cours d'une semaine de mesures (phase 3) pour le bureau 00 (les courbes pour les autres salles sont présentées en Annexe 4 et Annexe 5).

---

<sup>8</sup> Pour l'humidité relative, les bornes généralement admises comme satisfaisantes sont entre 20 et 70% (cf. Annexe 2).

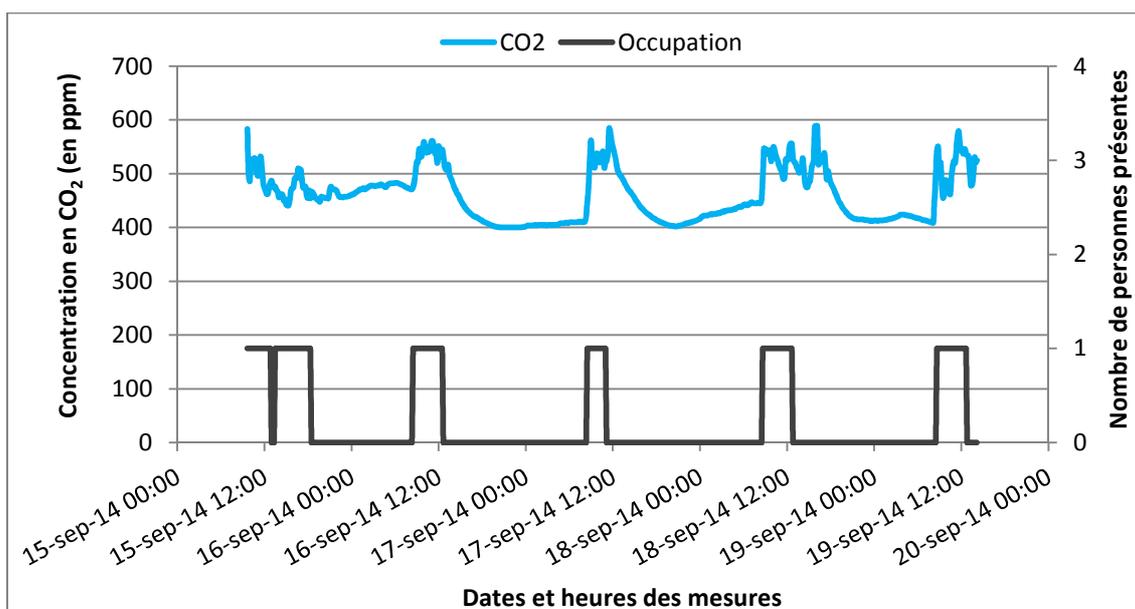


Figure 5 : évolution de la concentration en CO<sub>2</sub> et de l'occupation du bureau n°00 au cours du temps (en phase 3)

### Débits d'air soufflés (données Métropole Rouen-Normandie)

Dans le Tableau 4, sont rassemblés les résultats des mesures de débits d'air soufflés dans les différents bureaux investigués lors de la phase 4 (les mesures n'ont pas pu être effectuées dans le bureau 18 à cause d'un problème d'accès aux gaines).

Bureaux investigués	Occupation réelle (nombre de personnes)	Débits mesurés (m <sup>3</sup> /h)	Débits par personne (m <sup>3</sup> /h/pers.)	Débit réglementaire (m <sup>3</sup> /h/pers.) [15]
<b>Bureau 00</b>	1	116.5	116.5	
<b>Bureau 18</b>	1	NA	NA	
<b>Bureau 30</b>	1	62.4	62.4	25
<b>Bureau 41</b>	1	66.3	66.3	
<b>Bureau 38/39</b>	3	206.1	68.7	

Tableau 4 : débits d'air neuf mesurés le 16/03/2015 (Source : Métropole Rouen-Normandie)  
NA = non disponible

Les débits mesurés sont tous supérieurs aux débits réglementaires lors de la phase 4. Les débits ne sont pas homogènes entre les différents bureaux de même type (bureaux individuels) : le bureau n°00 présente un débit d'air plus élevé que les autres bureaux (cependant sa surface est plus grande).

### 5.2.2. Polluants gazeux

Les résultats détaillés des 4 campagnes de mesures sont présentés dans l'Annexe 5.

## Benzène

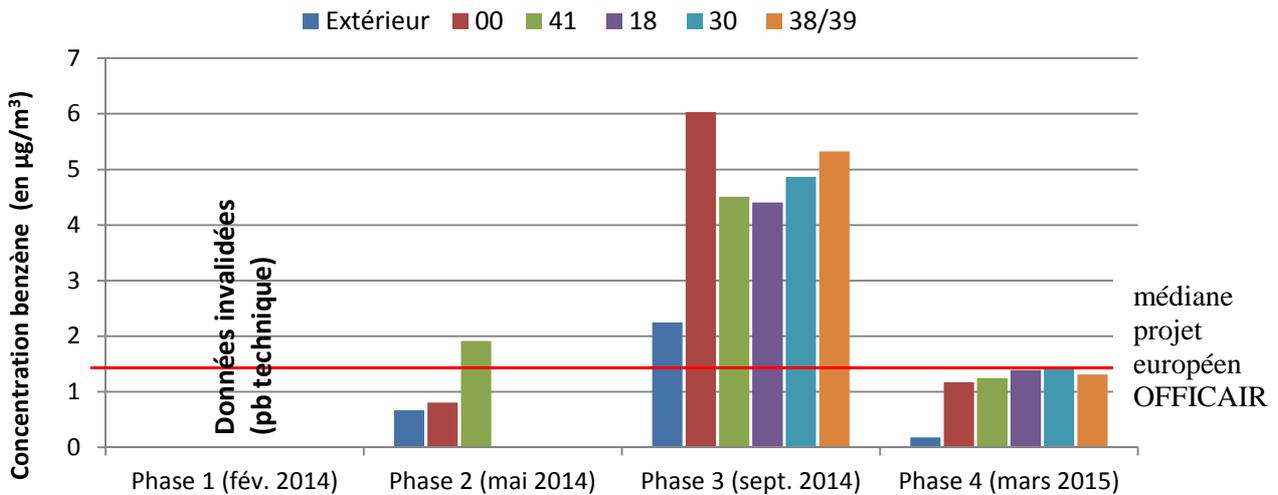


Figure 6 : évolution des concentrations en benzène à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phase 2)

Les concentrations en benzène sont plus élevées à l'intérieur du bâtiment qu'à l'extérieur. Ce constat est valable lors des 3 phases de mesures pour lesquelles des résultats sont disponibles<sup>9</sup>. Cependant il est plus marqué lors des phases 3 et 4 (les concentrations intérieures sont en effet au moins deux fois supérieures aux concentrations extérieures lors de ces deux phases). Les concentrations sont globalement homogènes entre les différents bureaux investigués.

Les concentrations mesurées lors des phases 2 et 4 sont plus faibles que lors de la phase 3.

Toutes les concentrations sont inférieures de la valeur-limite réglementaire de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La concentration moyenne des deux dernières phases de mesures (en occupation normale du bâtiment) est  $3.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  c'est-à-dire inférieure à la VGAI de 2013 ( $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les concentrations en benzène mesurées à Ecopolis en phases 2 et 4 sont inférieures ou du même ordre de grandeur que la médiane du projet européen OFFICAIR ( $1.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Par contre, elles sont supérieures à la médiane du projet européen OFFICAIR lors de la phase 3.

## Toluène

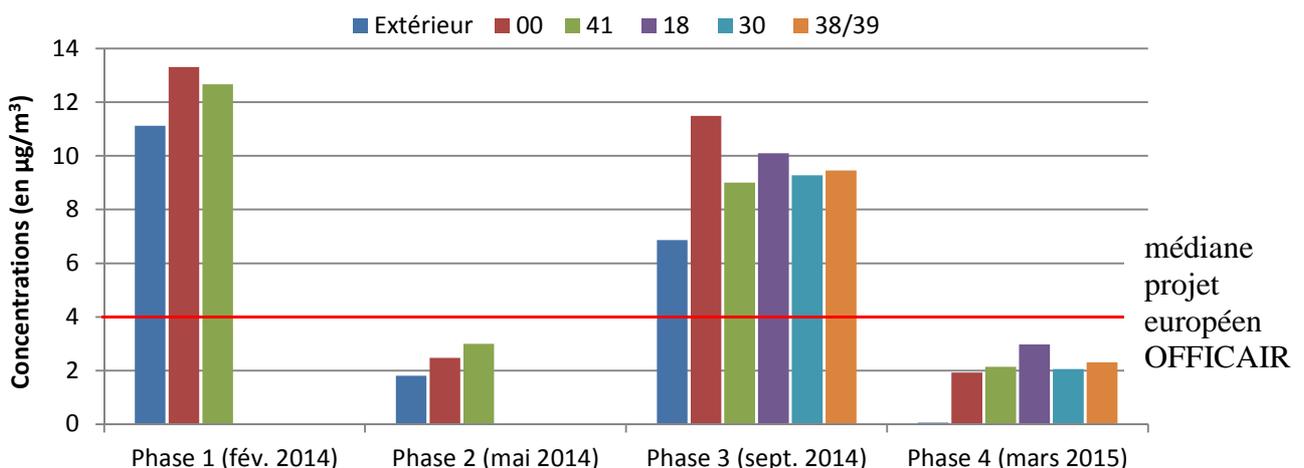


Figure 7 : évolution des concentrations en toluène à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

<sup>9</sup> Les résultats du benzène en phase 1 ont été invalidés en raison d'une contamination des membranes de prélèvement (phénomène rare et inexplicable).

Les concentrations en toluène sont plus élevées à l'intérieur du bâtiment qu'à l'extérieur (même constat que pour le benzène). Les concentrations sont globalement homogènes entre les différents bureaux investigués.

Les concentrations mesurées lors des phases 1 et 3 sont les plus élevées. Les concentrations mesurées lors des phases 2 et 4 sont plus faibles.

Les concentrations en toluène restent largement inférieures à la valeur recommandée par le projet européen INDEX ( $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les concentrations en toluène mesurées à Ecopolis en phases 2 et 4 sont inférieures à la médiane du projet européen OFFICAIR ( $4.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) contrairement aux phases 1 et 3.

## 2-butoxyéthanol

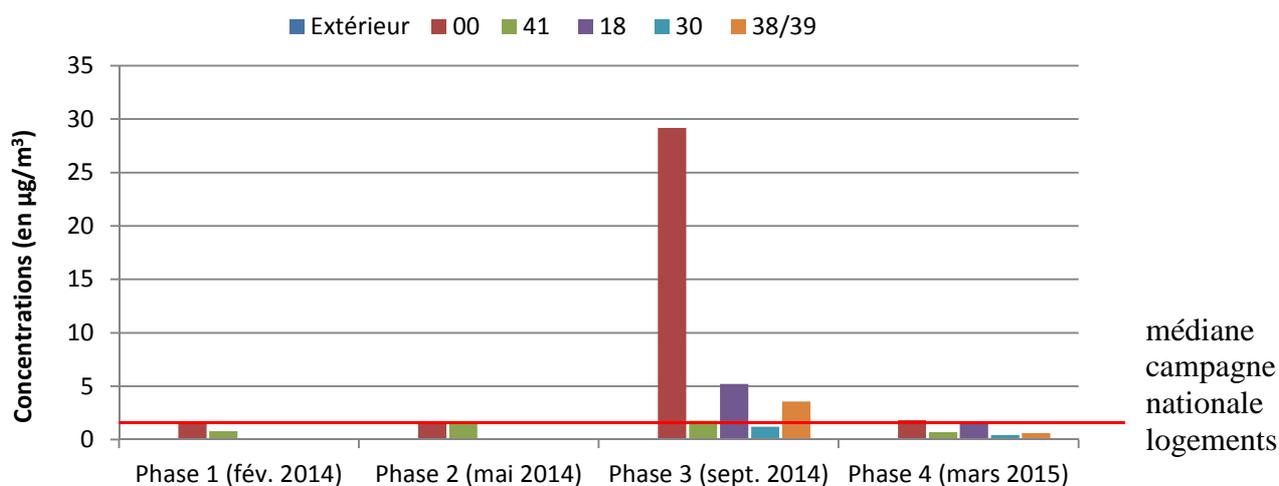


Figure 8 : évolution des concentrations en 2-butoxyéthanol à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

Les concentrations extérieures en 2-butoxyéthanol sont inférieures aux limites de quantification (données non visibles sur la Figure 8). Les concentrations à l'intérieur du bâtiment sont globalement homogènes et faibles dans les différents bureaux investigués. Lors de la phase 3, la concentration mesurée dans le bureau n°00 ( $29.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est :

- Environ 10 fois plus élevée que celles des 4 autres bureaux lors de cette même phase,
- Environ 20 fois plus élevée que celles mesurées dans ce même bureau lors des 3 autres phases.

Les concentrations en 2-butoxyéthanol mesurées à Ecopolis sont du même ordre de grandeur que la médiane de la campagne nationale logements sauf lors de la phase 3 dans les bureaux 00, 18 et 38/39. En particulier la concentration mesurée dans le bureau 00 est 18 fois plus élevée que la médiane de la campagne logements.

## Terpènes ( $\alpha$ -pinène, limonène)

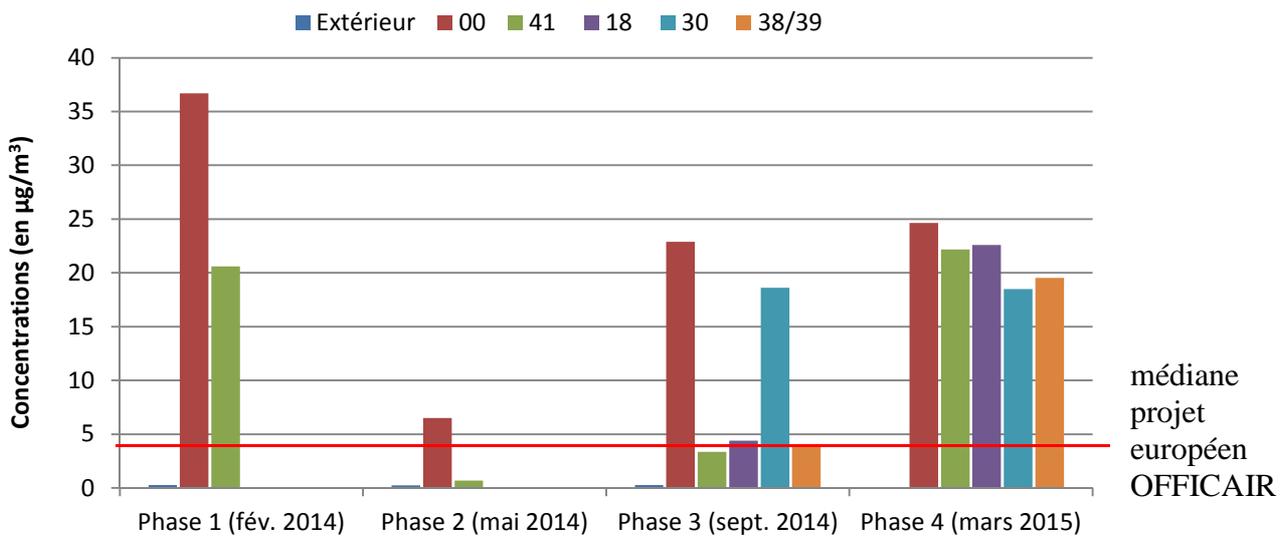


Figure 9 : évolution des concentrations en alpha-pinène à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

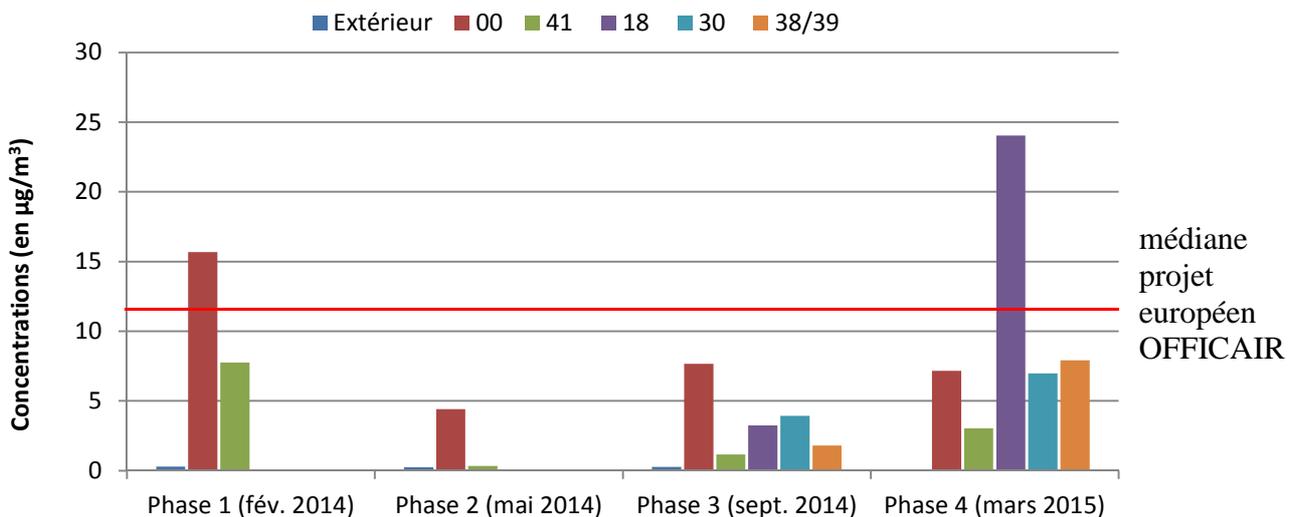


Figure 10 : évolution des concentrations en limonène à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

Les concentrations en terpènes à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées qu'à l'extérieur.

**Alpha-pinène** : les concentrations sont hétérogènes entre les différents bureaux et les différentes phases. Lors des deux premières phases, la concentration dans le bureau 00 est 2 à 10 fois plus élevée que celle du bureau 41. Entre la phase 1 et la phase 2, les concentrations diminuent puis augmentent à nouveau lors des phases suivantes. Les concentrations mesurées dans les bureaux 41, 38/39 et 18 augmentent entre les phases 3 et 4 (d'un facteur 5 à 7). Lors de la dernière phase de mesures les concentrations sont homogènes entre les 5 bureaux.

Les concentrations en  $\alpha$ -pinène mesurées à Ecopolis sont globalement supérieures à la médiane du projet européen OFFICAIR ( $3.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Seules les concentrations mesurées dans le bureau 41 en phases 2 et 3 sont inférieures à la médiane du projet OFFICAIR.

**Limonène** : les concentrations sont hétérogènes entre les différents bureaux et les différentes phases. Comme pour l'alpha-pinène, lors des deux premières phases, la concentration dans le bureau 00 est bien plus élevée que celle du bureau 41. Entre la phase 1 et la phase 2, les concentrations diminuent

puis augmentent à nouveau lors des phases suivantes. La concentration mesurée dans le bureau 18 augmente fortement entre les phases 3 et 4 (d'un facteur 8).

Les concentrations en limonène mesurées à Ecopolis sont globalement inférieures à la médiane du projet européen OFFICAIR ( $10.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Seule la concentration mesurée dans le bureau 00 en phase 1 et celle du bureau 18 en phase 4 sont supérieures à la médiane du projet OFFICAIR.

Les concentrations en  $\alpha$ -pinène et limonène restent néanmoins largement inférieures aux recommandations du projet européen INDEX ( $450\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Autres COV

Pour la plupart des autres COV détectés (1-méthoxy-2-propanol ; 1,2,4-triméthylbenzène ; n-décane ; n-hexane), les concentrations sont globalement homogènes entre les différents bureaux investigués. Les concentrations en phase 1 sont les plus élevées puis les concentrations diminuent et se stabilisent à des concentrations équivalentes à celles de l'air extérieur.

Dans la Figure 11 est représenté un exemple de l'évolution des concentrations de 1,2,4-triméthylbenzène entre les 4 phases :

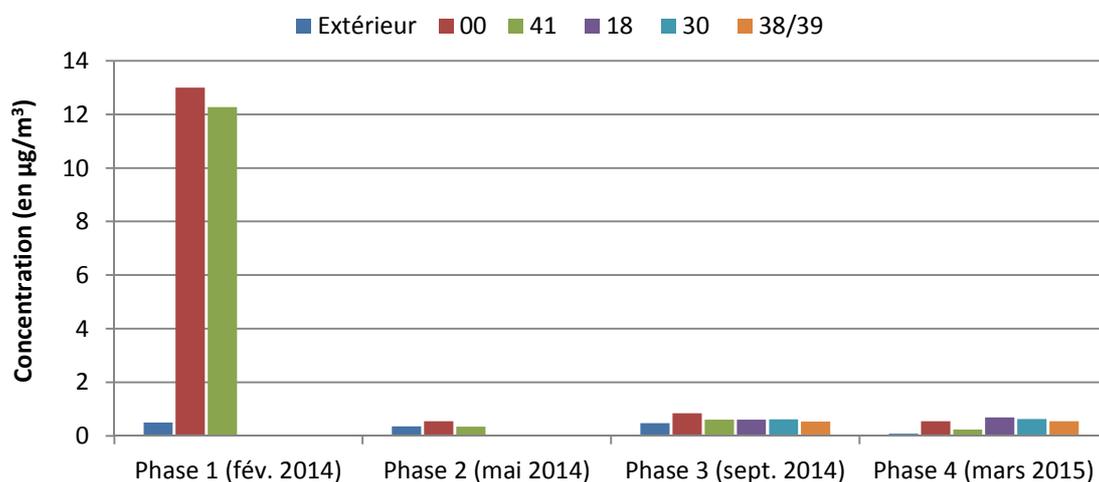


Figure 11 : évolution des concentrations en 1,2,4-triméthylbenzène à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

## Formaldéhyde

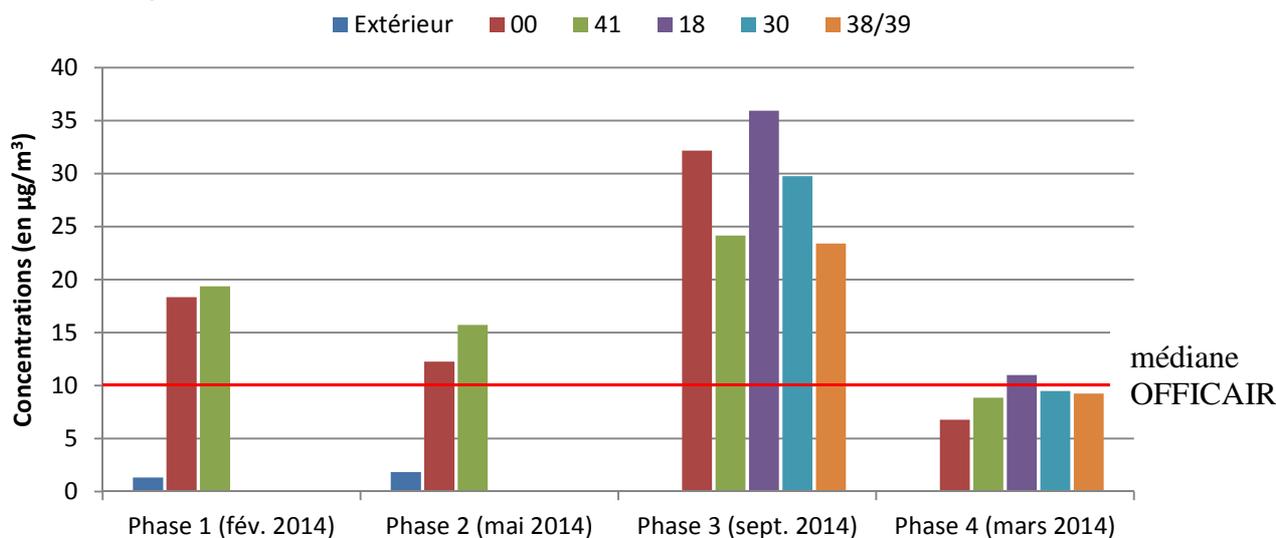


Figure 12 : évolution des concentrations en formaldéhyde à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

Les concentrations en formaldéhyde à l'intérieur du bâtiment sont plus élevées qu'à l'extérieur. Les concentrations sont globalement homogènes entre les différents bureaux investigués. La concentration maximale observée est de  $36.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans le bureau 18 lors de la phase 3.

Les concentrations diminuent globalement entre les phases 1, 2 et 4. Les concentrations mesurées lors de la phase 3 sont plus élevées que lors des autres phases.

Toutes les concentrations en formaldéhyde sont en-dessous de la valeur-limite réglementaire de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La concentration moyenne lors des deux dernières phases de mesures (en occupation normale du bâtiment) est de  $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  c'est-à-dire inférieure à la VGAI de 2015 ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les concentrations mesurées lors des phases 1, 2 et 3 sont supérieures à la médiane du projet européen OFFICAIR ( $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) alors que lors de la dernière phase elles sont inférieures ou du même ordre de grandeur que cette valeur.

## Hexanal

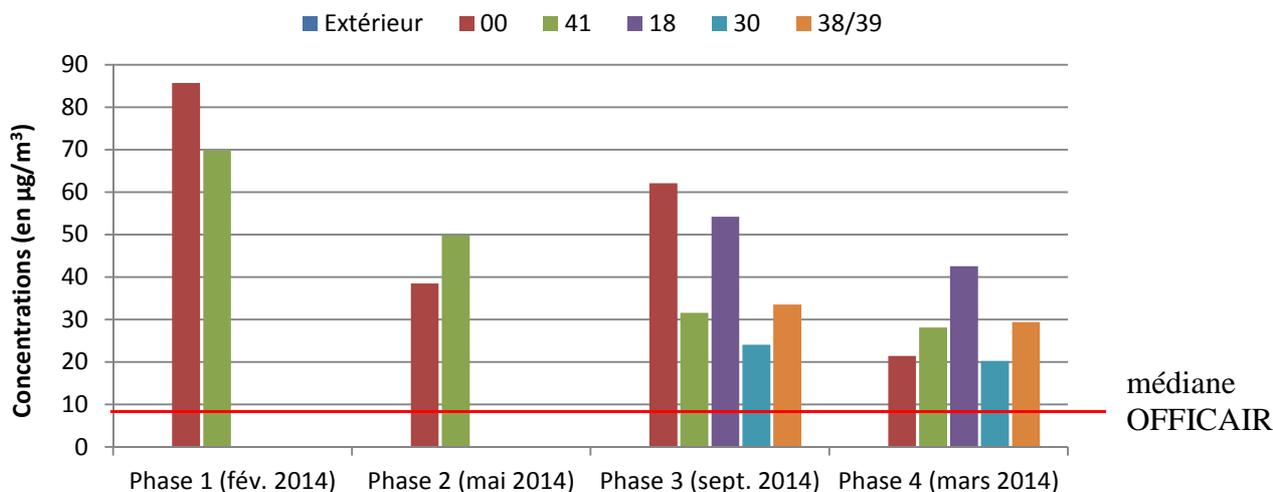


Figure 13 : évolution de la concentration en hexanal à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

Les concentrations mesurées lors de la phase 1 sont plus élevées que lors des phases suivantes. Les concentrations mesurées dans le bureau 41 diminuent progressivement de la phase 1 à la phase 4. La diminution dans le bureau 00 est moins progressive. En effet, lors de la phase 3 la concentration est plus élevée qu'en phase 2.

Les concentrations entre les différents bureaux investigués sont hétérogènes. Lors de la phase 3 : les concentrations dans les bureaux 00 et 18 sont supérieures à celles des autres bureaux. Lors de la phase 4 : les concentrations dans les bureaux 00 et 30 sont les plus faibles et la concentration dans le bureau 18 est la plus élevée.

Les concentrations mesurées en hexanal sont supérieures à la médiane du projet européen OFFICAIR ( $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Autres aldéhydes

Les concentrations en propanal, butanal et pentanal sont homogènes entre les cinq bureaux investigués. Les concentrations mesurées en phase 1 sont toujours supérieures à celles des phases suivantes. Les concentrations diminuent légèrement entre la phase 2 et les deux phases suivantes.

Pour l'ensemble des aldéhydes, les concentrations à l'extérieur sont faibles (voire inférieures aux limites de quantification). Les concentrations mesurées à l'intérieur du bâtiment sont toujours supérieures aux concentrations mesurées à l'extérieur.

### 5.2.3. Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

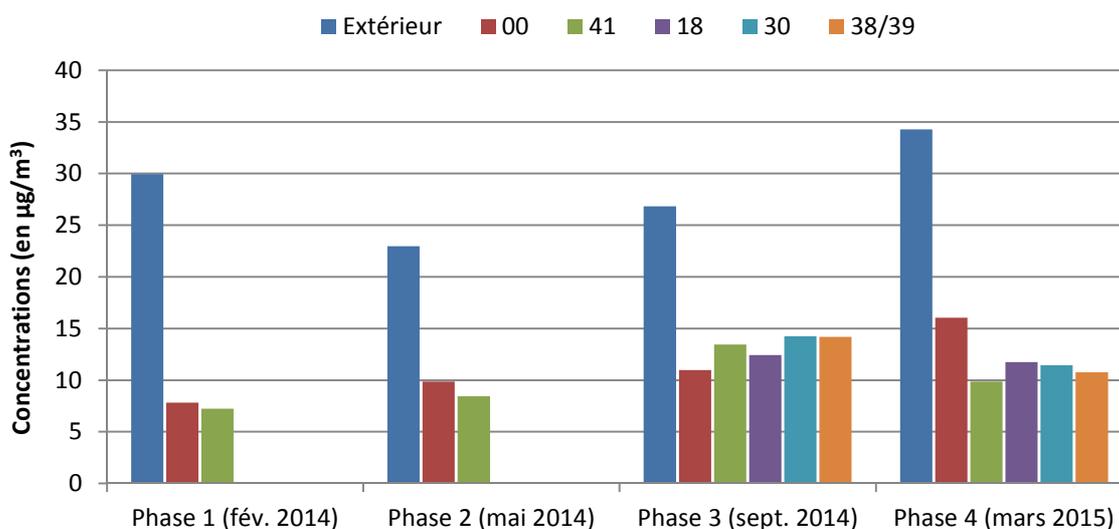


Figure 14 : évolution des concentrations en NO<sub>2</sub> à Ecopolis au cours des 4 campagnes de mesures par code bureau (pas de mesures réalisées dans les bureaux 18, 30 et 38/39 en phases 1 et 2)

Les concentrations en NO<sub>2</sub> à l'intérieur du bâtiment sont au moins deux fois plus faibles qu'à l'extérieur du bâtiment. Ce constat est valable pour les 4 campagnes de mesures.

Les concentrations en NO<sub>2</sub> sont globalement homogènes entre les différentes pièces investiguées. Les concentrations observées à l'intérieur sont toutes inférieures à la VGAI de l'ANSES qui est de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.2.4. Radon

Les résultats des mesures de radon sont synthétisés dans le Tableau 5.

Sites	Bureau 00	Bureau 18	Bureau 30	Bureau 38/39	Bureau 41
Activité volumique du radon (en Bq/m <sup>3</sup> )	34	34	25	37	28

Tableau 5 : activités volumique du radon à Ecopolis (phase 3)

Les concentrations sont homogènes entre les différents bureaux et largement inférieures au premier niveau d'action réglementaire [18] qui est de 400 Bq/m<sup>3</sup>.

## 5.2.5. Les particules fines – PM2.5

Résultats obtenus avec la méthode de gravimétrie (méthode de référence) :

Les concentrations massiques (moyenne sur une semaine, prélèvement de 8h à 16h) ont été mesurées dans 3 autres bureaux (00, 38/39 et 41) au moyen d'un préleveur actif. Les résultats sont présentés dans le Tableau 6.

Concentrations en PM2.5 (en µg/m <sup>3</sup> )	Phase 3	Phase 4
Bureau 00	25.6	25.0
Bureau 30	22.5	19.2
Bureau 38/39	45.5	32.5
Bureau 41	34.5	49.2
Extérieur Ecopolis	37.0	57.0

Tableau 6 : concentrations en PM 2.5 (moyenne sur une semaine) – Prélèvements MicroVol

Les concentrations ne sont pas homogènes entre les 4 bureaux. Dans le bureau 00, les concentrations restent stables entre les phases 3 et 4 alors que dans les deux autres bureaux les concentrations évoluent légèrement.

Les concentrations en PM2.5 à l'intérieur des bureaux sont supérieures à la VGAI du Haut Conseil en Santé Publique (20 µg/m<sup>3</sup>), sauf dans le bureau 30 en phase 4.

## 5.2.6. Contamination fongique

### Prélèvements de surface

Aucune trace de moisissure visible n'a été relevée sur les murs, sols ou plafonds du bâtiment. Donc aucun prélèvement de surface n'a été effectué.

### Indice de contamination fongique (ICF)

A partir des chromatogrammes bruts des analyses de COV réalisées lors de la phase 4, le CSTB a calculé un indice de contamination fongique. Cet indice est basé sur la présence ou l'absence de certains COV émis par les moisissures (qui transfèrent au travers des revêtements). Il permet de

détecter un développement actif, même si les moisissures sont cachées (derrière un meuble, du papier peint, sous un revêtement de sol,...). [23]

L'ICF s'est révélé positif pour les 5 bureaux investigués.

*Commentaire du CSTB concernant ces résultats :*

Absence de moisissures visibles et ICF positif : il est recommandé d'identifier et de supprimer la cause d'excès d'humidité (infiltration des eaux, dégâts des eaux, ponts thermiques, ...) et/ou d'identifier la contamination masquée (derrière les meubles, sous les revêtements de sol,...).

## **6. Interprétation des résultats et discussion**

---

### ***Différences / spécificités des cinq bureaux investigués***

Le bureau 38/39 est un bureau paysager accueillant au maximum 5 personnes. Les autres bureaux investigués sont tous des bureaux individuels. Les bureaux individuels sont de surface équivalente ( $15\text{m}^2$ ) à l'exception du n°00 qui est légèrement plus grand ( $18\text{m}^2$ ) mais il était prévu à la base pour accueillir 3 personnes. Le bureau paysager fait quant à lui  $39\text{m}^2$ . Le bâtiment n'était que partiellement occupé lors des différentes campagnes de mesures.

Trois bureaux sur les 5 investigués sont orientés au Sud (00, 18, 38/39). Le n°30 donne à l'Est et le n°41 à l'Ouest.

Ramené au nombre de personnes les débits d'air mesurés sont à peu près équivalents (62 à 68  $\text{m}^2/\text{h}/\text{pers.}$ ). Seul le débit mesuré dans le bureau n°00 est plus élevé ( $116.5 \text{m}^2/\text{h}/\text{pers.}$ ). Les données de débit d'air pour le bureau n°18 ne sont pas disponibles.

Les taux d'occupation sont hétérogènes entre les différents bureaux : les bureaux 18 et 38/39 sont les plus occupés (38.9% du temps) puis les bureaux 00 et 41 (24% du temps) et le bureau 30 (10.6% du temps). Les bureaux 38/39 et 41 communiquent par une porte qui reste ouverte la majeure partie du temps.

D'après les réponses aux questionnaires d'accompagnement, la fréquence d'ouverture manuelle des fenêtres est hétérogène entre les bureaux mais similaire entre les phases 3 et 4 (« rarement ou jamais » pour le bureau 00, « moins d'une demi-heure par jour » pour le bureau 41 et « entre une demi-heure et une heure par jour » pour les autres bureaux).

Les matériaux de construction et finition sont les mêmes dans les différents bureaux, par contre le mobilier est différent. Dans le bureau n°00, le mobilier a été choisi pour ces faibles émissions (2 tables en bois laqué, 4 chaises en plastiques et textile, une étagère métallique et une armoire en plastique) et des posters ont été ajoutés sur les murs. Dans les autres bureaux, le mobilier est classique, principalement composé de bois reconstitué, plastique et textile. Du matériel informatique est présent dans la plupart des bureaux. Des livres, magazines et documents papier sont présents dans la plupart des bureaux.

Dans le bureau n°41, sont présents des cartons en nombre important ainsi que des plantes. Le bureau n°30 est le seul à posséder un tableau blanc. Dans le bureau 38/39, qui est plus grand et qui accueille plus de personnes, il y a aussi plus de mobilier (tables, chaises et armoires).

### ***Débits d'air***

Un mauvais équilibre a été constaté dès la mise en service du bâtiment. Après plusieurs tentatives d'équilibrage, la solution a été trouvée en février 2015. Le réglage définitif, accompagné d'un nouvel équilibrage ont permis de lever tous les problèmes de débits et d'inconforts liés à la ventilation.

Les débits d'air ont été calculés à la base pour une occupation théorique de 2 personnes par bureau (et 6 personnes dans le bureau paysager n° 38/39). Cependant, lors de la phase de mesure n°4, les bureaux étaient occupés seulement par 1 personne (et 3 personnes dans le bureau paysager n°38/39).

Ainsi, les débits d'air mesurés dans les différents bureaux (selon l'occupation réelle) sont de 2.5 à 4.7 fois plus élevés que le débit d'air réglementaire du Code du travail [15]. Ces débits d'air permettent de limiter efficacement le phénomène de confinement comme le démontre les résultats des mesures de CO<sub>2</sub>.

L'adaptation des débits en fonction de l'occupation n'est pas prévue car les modules de réglages se trouvent dans les gaines de ventilation, donc inaccessibles. De plus, l'occupation des locaux varie constamment (embauches, visiteurs, etc.). Par ailleurs, aucun signalement d'inconfort thermique n'a été relevé dans les bureaux.

### ***Paramètres de confort (température et humidité relative)***

Les écarts de température et d'humidité relative mesurés à l'extérieur sont importants alors qu'à l'intérieur du bâtiment ceux-ci restent limités. Ceci pourrait s'expliquer par les performances thermiques du bâtiment.

Les différences de débits de ventilation n'ont pas d'impact significatif sur les températures mesurées ni sur l'humidité relative dans les différents bureaux. Ceci paraît logique, étant donné que la température de l'air soufflé est identique dans les différents bureaux.

Une bonne corrélation est observée entre les taux d'occupation des différents bureaux et les paramètres de confort. En effet, lors des phases 3 et 4, les bureaux les plus occupés (bureaux 18 et 38/39) présentent les températures les plus élevées et l'humidité relative la plus faible. A l'inverse, le bureau 30 est le moins occupé (10.6 % du temps) et c'est ce bureau qui est le plus froid et le plus humide lors des deux phases de mesures.

L'exposition des fenêtres et des façades des différents bureaux peut influencer en partie sur les températures mesurées, tout comme le comportement des occupants en termes d'aération et d'utilisation des protections solaires (stores tamisant intérieurs).

Les données dans le bureau 41 sont toujours très proches de celle du bureau 38/39, ceci peut s'expliquer par le fait que ces deux bureaux communiquent par une porte qui est la plupart du temps maintenue ouverte permettant ainsi l'homogénéisation de l'air entre les 2 bureaux.

### ***Confinement***

On observe sur les courbes d'évolution de la concentration en CO<sub>2</sub> (Figure 5, Annexe 4 et Annexe 5) que celle-ci augmente lorsque les pièces sont occupées puis chute très rapidement lorsque les occupants quittent les bureaux. De plus, les concentrations en CO<sub>2</sub> sont globalement faibles puisqu'elles ne dépassent quasiment jamais la valeur de tolérance de 1300 ppm du RSD [16]. Le système de ventilation (dont les débits sont supérieurs à la réglementation française) limite donc efficacement le phénomène de confinement pendant les périodes d'occupation. De même, il permet de diminuer rapidement la concentration en CO<sub>2</sub> dès que les bureaux ne sont plus occupés.

Quelques « pics » (augmentation importante et rapide de la concentration) de CO<sub>2</sub> sont tout de même observés dans les bureaux 18 et 30 lors de la phase 3 (le matin du vendredi 19 septembre). Les « pics » durent environ 2 heures, avant que la concentration en CO<sub>2</sub> ne diminue à nouveau. Au moment des « pics », les bureaux étaient occupés. On peut supposer que ces augmentations brutales de la concentration en CO<sub>2</sub> sont dues à la présence simultanée de plusieurs personnes dans les bureaux concernés (par exemple lors d'une réunion). Il se peut aussi qu'à ce moment-là les ouvrants (portes intérieures et fenêtres) aient été fermés, favorisant ponctuellement le phénomène de confinement. Lors de ces « pics », la concentration maximale en CO<sub>2</sub> atteinte peut être supérieure à la valeur de tolérance du RSD ce qui est le cas dans le bureau n°18. Cependant, le dépassement ne dure qu'une dizaine de minutes.

### ***Polluants liés à des sources de pollution extérieures*** (cf. sources en Annexe 1)

- **NO<sub>2</sub>** : Les concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées à l'intérieur du bâtiment sont inférieures à la concentration observée à l'extérieur ce qui suggère que les sources majoritaires de NO<sub>2</sub> se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier). Par ailleurs le système de ventilation permet sans doute de diminuer les concentrations en intérieur.
- **PM2.5** : Sur la base des résultats obtenus selon la méthode de référence, les concentrations en PM2.5 mesurées à l'intérieur du bâtiment sont inférieures ou du même ordre de grandeur que celles observées à l'extérieur ce qui suggère que les sources majoritaires de PM2.5 se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier, industries, chauffage). Le système de ventilation permet de diminuer légèrement les concentrations de particules fines en intérieur (par dilution et/ou piégeage dans le filtre d'entrée ou dans les conduits). Néanmoins, les concentrations ne sont pas homogènes entre les différents bureaux. Ces différences peuvent être dues en partie à la présence humaine et aux activités humaines (par exemple : ménage).
- **Radon** : les concentrations en radon sont très faibles au regard du premier niveau d'action réglementaire et homogènes entre les bureaux situés aux différents étages. Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle issu des roches granitiques. Le potentiel radon en Seine-Maritime est évalué par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) comme étant très faible. Les concentrations mesurées sont tout à fait cohérentes avec cette évaluation de l'IRSN.
- **Benzène et toluène** : les sources de benzène et toluène sont la combustion (fumée de cigarette, trafic routier, encens), certains matériaux de construction, de finition ou d'ameublement et certains produits d'entretien. Lors des différentes phases, les concentrations observées à l'intérieur du bâtiment sont supérieures ou du même ordre de grandeur aux concentrations observées à l'extérieur, ce qui semble indiquer, qu'en plus des sources de benzène et toluène qui se trouvent à l'extérieur du bâtiment (trafic routier, industries), d'autres sources sont présentes à l'intérieur du bâtiment (parfois de façon majoritaire par rapport aux apports extérieurs) et ont une influence sur la QAI.

### ***Polluants gazeux liés à des sources de pollution intérieures*** (cf. sources en Annexe 1)

#### ***Choix des matériaux de construction/finition***

Pour certains polluants (n-hexane, le 1-méthoxy-2-propanol, le n-décane et le 1,2,4-triméthylbenzène), les concentrations diminuent de façon importante entre la première et la seconde phase et sont alors équivalentes aux concentrations extérieures.

Une diminution globale (mais moins rapide) des concentrations entre la première et la dernière phase est également observée pour le butanal, pentanal, hexanal et formaldéhyde<sup>10</sup>.

Pour l'ensemble de ces polluants gazeux qui présentent des concentrations plus élevées lors de la phase 1 que lors des campagnes suivantes (et des concentrations à l'extérieur très faibles voire en-dessous des limites de quantification), on peut supposer que :

- les sources se trouvent majoritairement à l'intérieur du bâtiment,
- elles peuvent être liées à un (ou des) matériau(x) de construction ou de finition,
- le système de ventilation en cours de réglage (voir paragraphe 3.7) a pu contribuer en partie à l'accumulation des polluants à l'intérieur du bâtiment lors de cette première phase.

La baisse des concentrations entre la 1<sup>ère</sup> et la dernière phase de mesures peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

---

<sup>10</sup> Cependant, pour l'ensemble de ces polluants les concentrations en phase 3 sont plus élevées : voir interprétations page suivante.

- la décroissance naturelle des émissions des matériaux de construction neufs au cours du temps, En effet, la diminution des concentrations dans le temps peut s'expliquer par le fait que les matériaux relarguent plus quand ils sont neufs, puis les émissions diminuent, plus ou moins rapidement dans le temps ;
- la dilution des concentrations liée aux débits d'air supérieurs à la réglementation en phase 4.

A réception (phases 1 et 2), les concentrations en formaldéhyde et benzène sont inférieures aux valeurs limites et guides de l'air intérieur (cf. Annexe 7). Lors de ces phases, le système de ventilation était en cours d'équilibrage (« sous-ventilation »). Ainsi, les choix en matière de matériaux de construction et finition ont un impact immédiat sur les concentrations mesurées à l'intérieur du bâtiment et donc sur le respect des valeurs limites et guides.

De plus, pour le formaldéhyde (mais aussi pour le styrène, le 1,4-dichlorobenzène, le limonène et le n-undécane), les concentrations en phase 1 sont d'ores et déjà inférieures à la médiane du projet européen OFFICAIR (ou à défaut de la Campagne Nationale Logements = CNL).

Pour le benzène, mais également le n-hexane, le 1-méthoxy-2-propanol, le toluène, le n-décane et le 1,2,4-triméthylbenzène les concentrations deviennent inférieures à la médiane du projet européen OFFICAIR (ou de la Campagne Nationale Logements - CNL) dès la phase 2.

Enfin, en occupation normale du bâtiment (phases 3 et 4), les concentrations moyennes des différents polluants gazeux pour lesquels une valeur guide existe sont inférieures à celles-ci (cf. Annexe 7).

➔ Le choix des matériaux de construction/finition en complémentarité avec le système de ventilation permet donc de limiter les émissions d'un certain nombre de polluants.

Certains composés présentent néanmoins des concentrations supérieures aux médianes d'OFFICAIR (ou de la CNL) de la première à la dernière phase de mesures : c'est le cas de l'éthylbenzène, des xylènes, de l' $\alpha$ -pinène, de l'acétaldéhyde et de l'hexanal.

➔ Pour ces polluants en particulier, le choix des matériaux de construction/finition n'a pas permis de limiter les émissions que ce soit à réception ou après plusieurs mois d'existence du bâtiment.

### ***Choix des matériaux d'ameublement***

Le bureau n°00 est meublé avec du mobilier neuf choisi expressément pour être faiblement émissif contrairement aux autres bureaux. De plus, c'est dans ce bureau que le débit de ventilation<sup>11</sup> est le plus élevé. Cependant, les concentrations en polluants gazeux mesurées dans ce bureau sont généralement du même ordre de grandeur que dans les autres bureaux, voir supérieures.

Par ailleurs, aucune augmentation significative des concentrations n'est observée entre les phases 1 (sans mobilier) et 2 (avec mobilier). Lors de ces phases, le système de ventilation était en cours d'équilibrage (« sous-ventilation »).

➔ Les émissions de polluants liés au mobilier ne semblent donc pas pouvoir être observées dans le cadre de cette étude.

➔ Le mobilier des 4 bureaux (hors 00) n'étant pas forcément neuf, les émissions en termes de polluants gazeux peuvent être très faibles (selon l'âge et le type de matériaux du mobilier).

### ***Phase 3 (septembre 2014) après 6 mois d'occupation***

Pour certains polluants (benzène, toluène, butanal, pentanal, hexanal et formaldéhyde), les concentrations augmentent en phase 3 par rapport aux autres phases de mesures (même si globalement entre la première et la dernière phase les concentrations diminuent). Les concentrations en CO<sub>2</sub> ne sont pas plus élevées lors de cette 3<sup>ème</sup> phase, par contre les températures mesurées de

<sup>11</sup> Mesures réalisées en phase 4 uniquement.

même que le taux d'humidité relative sont plus élevés en phase 3 qu'en phase 4. Une augmentation de la température peut engendrer une augmentation des émissions des matériaux. Ainsi, on peut supposer, que les températures plus élevées dans le bâtiment en phase 3, ont eu un impact sur les émissions des matériaux et donc sur les concentrations mesurées. Cependant, il n'est pas à exclure que d'autres facteurs puissent expliquer en partie les concentrations plus élevées mesurées cette semaine-là, comme :

- un dérèglement ponctuel du système de ventilation engendrant une mauvaise dilution des polluants gazeux,
- des produits d'entretien utilisés de façon plus importante ou l'utilisation de produits d'entretien différents,
- un (ou des) éléments de mobilier neuf introduit entre la phase 2 et la phase 3 (qui ne nous aurait pas été signalé).
- des travaux complémentaires (qui ne nous auraient pas été signalés),
- la présence humaine (bio effluents, produits cosmétiques, etc.) et les activités liées à l'occupation.

### ***Cas particuliers***

#### 2-butoxyéthanol :

Les concentrations de cet éther de glycol sont faibles et globalement homogènes (moyenne de 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre les 5 bureaux durant les 4 campagnes de mesures. Une concentration de 29.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est toutefois observée lors de la phase 3 dans le bureau n°00. Les sources de 2-butoxyéthanol sont : les peinture et vernis, les produits de traitement du bois, la laque et teinture pour cheveux, le vernis à ongle et le dissolvant ainsi que les herbicides et fongicides. D'après le questionnaire d'activités, aucun élément de mobilier ni aucun autre matériau nouveau n'a été introduit dans ce bureau pendant la semaine de mesures. Par conséquent, la source de 2-butoxyéthanol n'a, dans ce cas, pas pu être identifiée.

#### Terpènes ( $\alpha$ -pinène et limonène) :

Les concentrations en  $\alpha$ -pinène et limonène ne sont pas homogènes entre les différents bureaux et entre les différentes phases. Les sources de terpènes sont : les produits d'entretien, désodorisants et parfums d'intérieur, les cires ou encore le bois. Les concentrations en terpènes diminuent entre les deux premières phases. Ainsi, on peut supposer que les matériaux de construction/ finition en bois (portes et huisseries et rebords intérieurs des fenêtres) contribuent en partie à la concentration en terpènes.

Lors des phases 3 et 4, en occupation normale du bâtiment, les différences de concentrations en terpènes pourraient être liées aux activités d'entretien : produits d'entretien utilisés de façon plus importante ou plus fréquente dans certains bureaux.

Enfin, dans le bureau 30 un tableau blanc est accroché au mur (absent dans les autres bureaux investigués) et il a été utilisé, exceptionnellement, lors de la phase 3 (utilisation de marqueurs et d'un produit nettoyant spécifique). Cette activité spécifique pourrait expliquer la concentration en  $\alpha$ -pinène plus importante que dans la plupart des autres bureaux lors de la phase 3.

### ***Contamination fongique***

L'indice de contamination fongique est positif pour les 5 bureaux investigués ce qui indique un développement actif de moisissures. Cependant, aucune contamination visible sur les murs, sols ou plafonds n'a pu être identifiée. De même aucune contamination visible sur les filtres d'entrée du système de ventilation n'a été identifiée. La contamination masquée n'a pas été identifiée à ce jour.

## 7. Conclusion et recommandations

Les résultats présentés dans ce rapport se basent sur la réalisation de 4 campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur (2014-2015) dans la pépinière d'entreprises Seine Ecopolis à Saint Etienne du Rouvray à réception puis en occupation normale du bâtiment. Ce bâtiment performant en énergie et exemplaire d'un point de vue environnemental a été réceptionné début 2014. Les matériaux de construction et de finition ont été choisis pour viser une qualité de l'air intérieur ayant le moins d'impact possible sur la santé et le confort des occupants. Les matériaux d'ameublement du bureau n° 00 ont également été choisis dans cette optique. Dans les autres bureaux, le mobilier n'a pas fait l'objet de prescriptions particulières. Le système de ventilation a aussi été conçu pour atteindre un niveau thermique très performant permettant aussi de garantir un renouvellement de l'air limitant le confinement et l'accumulation des polluants.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- *Impact du système de ventilation sur le confinement :*  
Les concentrations en CO<sub>2</sub> des différents bureaux investigués sont très faibles. Ainsi, le système de ventilation et les débits d'air appliqués (supérieurs ou équivalents au débit réglementaire) permettent de limiter très efficacement le phénomène de confinement. Par voie de conséquence, le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur du bâtiment est également limité.
- *Emissions des matériaux neufs :*  
Pour un certain nombre de polluants gazeux spécifiques de l'air intérieur<sup>12</sup>, les concentrations lors de la phase 1 (à réception) sont plus élevées que lors des campagnes suivantes. Ces polluants sont probablement liés aux émissions des matériaux de construction ou de finition neufs. Ainsi, même si les matériaux ont été choisis pour avoir un impact réduit sur la qualité de l'air intérieur, les émissions des matériaux neufs ne sont pas nulles. Néanmoins dès réception, les concentrations en formaldéhyde sont inférieures (ou équivalentes) aux valeurs limites et guides de l'air intérieur.
- *Diminution des émissions dans le temps :*  
Globalement, les concentrations en polluants gazeux diminuent entre la première et la dernière phase de mesures. Cette diminution des concentrations dans le temps peut s'expliquer par le fait que les matériaux relarguent plus quand ils sont neufs, puis les émissions diminuent, plus ou moins rapidement, dans le temps. Les débits d'air appliqués en phase 4 jouent aussi un rôle dans la dilution des concentrations à l'intérieur du bâtiment. Au bout d'une année d'occupation, l'ensemble des valeurs guides en air intérieur est respectée.
- *Comparaison aux concentrations habituellement retrouvées en environnement intérieur :*  
Pour certains polluants gazeux, les concentrations mesurées dès les premières semaines de vie du bâtiment sont inférieures à celles habituellement retrouvées dans des environnements intérieurs. Pour d'autres polluants (notamment le formaldéhyde) le même constat est fait mais après plusieurs mois d'occupation. Seuls certains composés présentent encore lors de la dernière phase de mesure des concentrations supérieures à celles des études de comparaison en environnement intérieur. C'est le cas de l'éthylbenzène, des xylènes, de l' $\alpha$ -pinène, de l'acétaldéhyde et de l'hexanal. Ces composés peuvent être liés à d'autres sources que les matériaux de construction, comme par exemple les produits d'entretien.

---

<sup>12</sup> Concentrations à l'extérieur très faibles voire inférieures aux limites de quantification, donc sources majoritaires à l'intérieur du bâtiment.

Ainsi, le choix des matériaux de construction/ finition faiblement émissifs semble avoir un impact sur les concentrations de certains polluants observées plusieurs semaines ou plusieurs mois après la réception du bâtiment. A noter toutefois qu'en cas de travaux ou d'introduction de matériaux ou de mobiliers neufs dans le bâtiment, les émissions peuvent augmenter de nouveau.

- *Cas particulier :*

Pour certains polluants, des concentrations plus élevées que ce qui a pu être mesuré dans le cadre d'autres études ont été néanmoins relevées à certaines phases de mesures et dans certains bureaux. Même si la (ou les) source(s) n'ont pas toujours pu être clairement identifiées, certains facteurs peuvent être mis en avant :

- un dérèglement ponctuel du système de ventilation engendrant une mauvaise dilution des polluants gazeux,
- une augmentation de la température à l'intérieur du bâtiment engendrant une augmentation des émissions des matériaux (phase 3),
- des produits d'entretien utilisés de façon plus importante ou plus fréquente à un moment donné dans certains bureaux,
- des activités ponctuelles inhabituelles ou l'utilisation des produits ou matériaux pouvant émettre des COV (comme l'utilisation de marqueurs et de produit nettoyant pour tableau blanc dans le bureau n°30 en phase 3).

Au regard des résultats obtenus, la qualité de l'air intérieur de la pépinière d'entreprises Seine Ecopolis satisfait aux valeurs de référence actuelles.

- *Contamination fongique :*

Le calcul de l'indice de contamination fongique révèle un développement actif de moisissures dans le bâtiment en phase 4. Cependant, les moisissures ne sont pas visibles.

Des investigations complémentaires pourront être menées tout d'abord pour confirmer la contamination et, le cas échéant, préciser le type de moisissures concernées et identifier la source de ce développement actif (recherche plus poussée de traces de contamination de surface derrière le mobilier et derrière le faux-plafond, spéciation par prélèvement de l'aérobiocontamination par impactage puis comptage des moisissures en laboratoire après incubation ...).

### ***Diffusion des bonnes pratiques et retour d'expérience***

Le système de ventilation et les débits appliqués (supérieurs à la réglementation, après réglages) semblent limiter efficacement le phénomène de confinement et le phénomène d'accumulation des polluants à l'intérieur des bâtiments.

Les matériaux et le mobilier neufs relarguent un certain nombre de polluants gazeux notamment dans les premiers mois après leur mise en œuvre. Même si les matériaux ont été choisis pour leur faible impact sur la qualité de l'air intérieur, ce phénomène de relargage est tout de même observé lors de cette étude.

La phase de réglage et d'équilibrage du système de ventilation a pris plusieurs mois (les modules de régulation disposés dans les gaines de ventilation étaient mal réglés, la surface de passage d'air étant beaucoup trop faible).

- Une surventilation du bâtiment à réception et de nouveau après installation du mobilier est intéressante pour diluer plus rapidement les polluants gazeux émis par les matériaux neufs et de limiter alors l'exposition des occupants des bâtiments.

Le nombre limité d'études de la QAI dans des bureaux performants en énergie ne permet pas de conclure sur les émissions de polluants gazeux des matériaux et du mobilier choisis pour leur faible

émissivité sur le long terme. Cependant, pour le formaldéhyde, il semblerait que, plusieurs mois après la mise en œuvre, les émissions soient plus faibles à Ecopolis que dans d'autres environnements intérieurs classiques. La réalisation d'autres études de ce type permettra d'affiner ce constat<sup>13</sup>.

- En cas de travaux ou de renouvellement du mobilier, il sera intéressant d'intégrer au cahier des charges les paramètres de qualité de l'air intérieur pour continuer à garantir la santé des occupants du bâtiment.
- Les matériaux qui présentent les plus grandes surfaces exposées à l'air (sol, murs, plafonds) sont ceux qui, proportionnellement, ont le plus d'impact sur la QAI. Lors du choix des matériaux de construction et de finition, il est conseillé de porter une attention particulière aux matériaux recouvrant les plus grandes surfaces.

## **8. Pages complémentaires**

---

### **8.1. Annexes**

#### ***Liste des annexes :***

Annexe 1 : Sources potentielles

Annexe 2 : Humidité relative

Annexe 3 : Données des paramètres de confort (température, humidité relative et concentrations en CO<sub>2</sub>)

Annexe 4 : Résultats des mesures de CO<sub>2</sub> et périodes d'occupation (phase 3)

Annexe 5 : Résultats des mesures de CO<sub>2</sub> et périodes d'occupation (phase 4)

Annexe 6 : Résultats bruts des polluants gazeux

Annexe 7 : Valeurs de référence en air intérieur

---

<sup>13</sup> Campagne nationale « bureaux » de l'OQAI (2012-2015) et Dispositif « Bâtiments Performants en énergie » (dont fait partie la présente étude) de l'OQAI (en cours depuis 2013).

## Annexe 1 : Sources potentielles

Composés	Sources potentielles
<b>benzène</b>	Carburants, fumée de cigarette, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration, encens, désodorisants liquides
<b>toluène</b>	Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé, vapeurs d'essence, produits d'entretien
<b>éthylbenzène</b>	Carburants, cires
<b>m/p/o- xylènes</b>	Peintures, vernis, colles, insecticides
<b>styrène</b>	Matières plastiques, matériaux isolants, combustion (trafic routier, fumée de tabac, encens, incinérateurs), cires et vernis, peintures, adhésifs, nettoyeurs métaux
<b>1,2,4-triméthylbenzène</b>	Solvants pétroliers, carburants, goudrons, vernis
<b>n-décane</b>	White spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, moquettes, tapis, huile pour parquet
<b>n-undécane</b>	White spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs sol, huile pour parquet
<b>trichloroéthylène</b>	Peintures, vernis, colles, dégraissants métaux
<b>tétrachloroéthylène</b>	Nettoyage à sec, moquettes, tapis
<b>1,4-dichlorobenzène</b>	Antimites, désodorisants, blocs WC, taupicides
<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	Désodorisants, parfums d'intérieur, produits d'entretien, bois, cire
<b>limonène</b>	Bois, désodorisants, parfum d'intérieur, cires, nettoyeurs sol
<b>n-hexane</b>	Solvants et produits pétroliers
<b>1-méthoxy-2-propanol</b>	Laques, peintures, vernis, savons, cosmétiques
<b>1-méthoxy-2-propyl acétate</b>	Peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colles, produits d'entretien, dégraissants métaux
<b>2-butoxyéthanol</b>	Peintures, vernis, fongicides, herbicides, traitement du bois, calfatage siliconé
<b>2-butoxyéthyl acétate</b>	Peintures, vernis, laques, produits d'entretien, dégraissants métaux, encres d'imprimerie, colorants textiles et cuir
<b>naphtalène</b>	Résines, peintures, agents de tannage du cuir et de traitement du bois, insecticides, antimites, pneumatiques, asphalte, combustion incomplète, fumée de cigarette, trafic routier
<b>Formaldéhyde</b>	Photochimie, réaction ozone/terpènes, peintures et colles en phase aqueuse, produits de construction et de décoration avec colles ou liants urée-formol, livres et magazines neufs, textiles, photocopieurs, imprimantes laser, désinfectants et produits de nettoyage
<b>acétaldéhyde</b>	Combustion du bois, fumée de tabac, photocopieurs, imprimantes laser, panneaux de bois brut, panneaux de particules, peintures, maturation des fruits, réaction ozone/terpènes

<b>propanal</b>	Fumée de tabac
<b>butanal</b>	Photocopieurs, imprimantes à tambours, combustion, matières plastiques
<b>benzaldéhyde</b>	Peintures en phase solvant, photocopieurs, imprimantes laser, parquet traité
<b>isopentanal</b>	Parquets traités, panneaux de particules
<b>pentanal</b>	Livres et magazines neufs, panneaux de particules, peintures à phase solvant
<b>hexanal</b>	Panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, peintures en phase solvant, produits de traitement du bois (phase aqueuse), panneaux de bois brut
<b>Dioxyde d'azote</b>	Processus de combustion (cuisson, chauffage, fumée de cigarettes, encens, trafic routier)
<b>Particules fines (PM2.5)</b>	Fumée de tabac, appareils de chauffage, trafic automobile, chaufferies au bois, activités industrielles
<b>Radon</b>	Gaz radioactif d'origine naturelle issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il est présent partout à la surface de la planète et provient surtout des sous-sols granitiques et volcaniques ainsi que de certains matériaux de construction

## Annexe 2 : Humidité relative

L'humidité relative a un faible impact sur la sensation thermique et sur la perception de la qualité de l'air dans les locaux à occupation sédentaire [5]. Toutefois les humidités intérieures durablement élevées peuvent être la cause de proliférations microbiennes et fongiques (humidité > 70%), et une humidité très basse (< 15-20%) peut entraîner un dessèchement et/ou une irritation des yeux et des voies respiratoires [5].

### Annexe 3 : Données des paramètres de confort (température, humidité relative et concentrations en CO<sub>2</sub>)

L'ensemble des résultats bruts concernant la température pour les campagnes en phases 3 et 4 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Phases	Température (en °C)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Phase 3 (sept. 2014)	00	23.6	25.3	21.3	23.5
	18	24.7	26.6	21.7	24.8
	30	22.4	23.9	21.4	22.6
	38/39	24.8	26.7	21.9	25.1
	41	24.6	26.8	21.8	25.2
	Extérieur (ESS)	19.8	25.4	12.8	/
Phase 4 (mars 2015)	00	21	22	19.4	21.1
	18	22.8	24.1	19.5	23.0
	30	19.7	21.1	19.3	19.9
	38/39	21.8	23	19.1	22.1
	41	21.7	23.1	19.5	22.1
	Extérieur (ESS)	7.5	16.1	2.6	/

L'ensemble des résultats bruts concernant l'humidité relative pour les campagnes en phases 3 et 4 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Phases	Humidité relative (en %)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Phase 3 (sept. 2014)	00	56	65.9	50.6	55.8
	18	52.1	61.9	45.8	52.3
	30	59.3	65.5	52.4	57.7
	38/39	52.6	62.9	47.2	52.3
	41	53.5	60.6	46.4	52.7
	Extérieur (GQV)	67.3	90.0	43.0	/
Phase 4 (mars 2015)	00	31.7	37.1	25.9	32.1
	18	30	37.8	24.1	29.5
	30	34.7	38.5	28.9	33.5
	38/39	32	40.2	26.4	31.4
	41	31.4	38.5	26.0	31.6
	Extérieur (GQV)	68.4	84.0	32.0	/

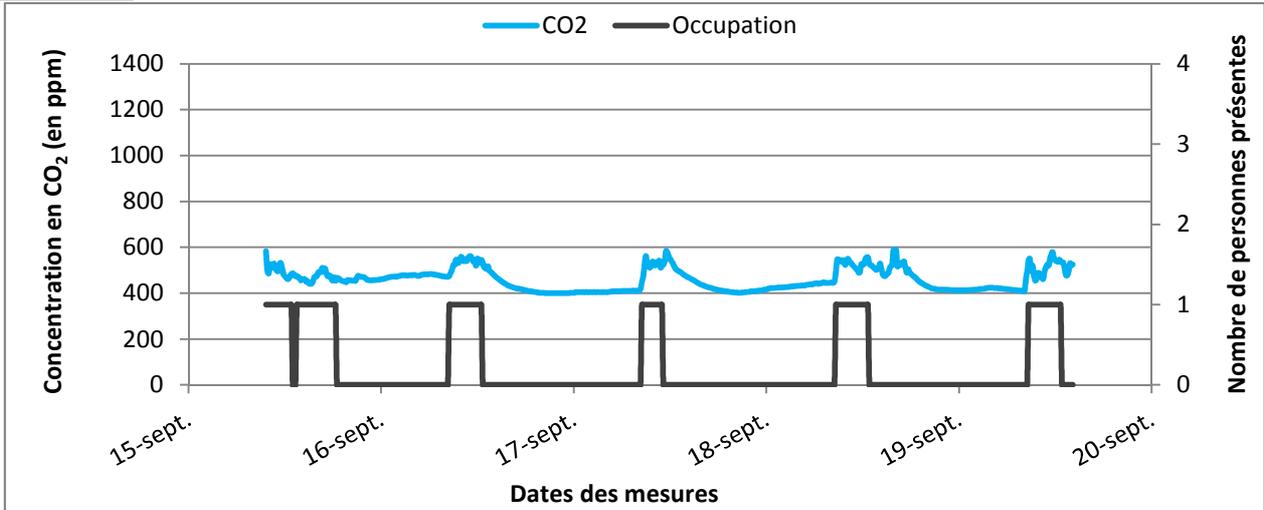
L'ensemble des résultats bruts concernant le CO<sub>2</sub> pour les campagnes en phases 3 et 4 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Phases	CO <sub>2</sub> (en ppm)	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne en période d'occupation
Phase 3 (sept. 2014)	00	459	589	400	510
	18	432	1346	377	474
	30	476	1197	416	515
	38/39	493	760	401	560
	41	NA	NA	NA	NA
Phase 4 (mars 2015)	00	461	712	379	543
	18	451	639	376	511
	30	422	861	371	449
	38/39	562	918	424	660
	41	517	866	380	678

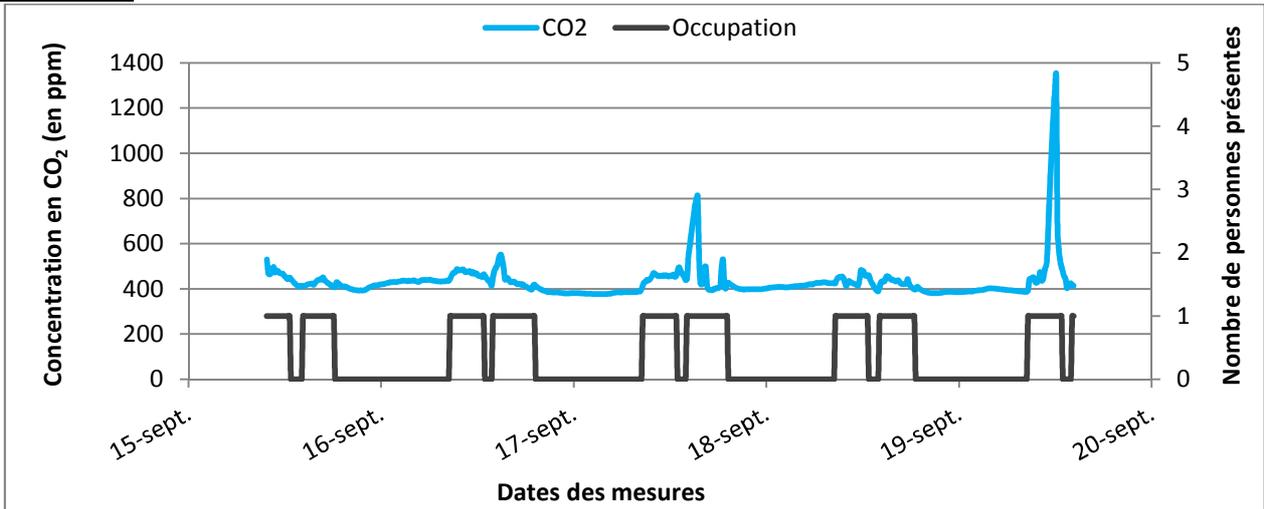
NA : non disponible

## Annexe 4 : Résultats des mesures de CO<sub>2</sub> et périodes d'occupation (phase 3)

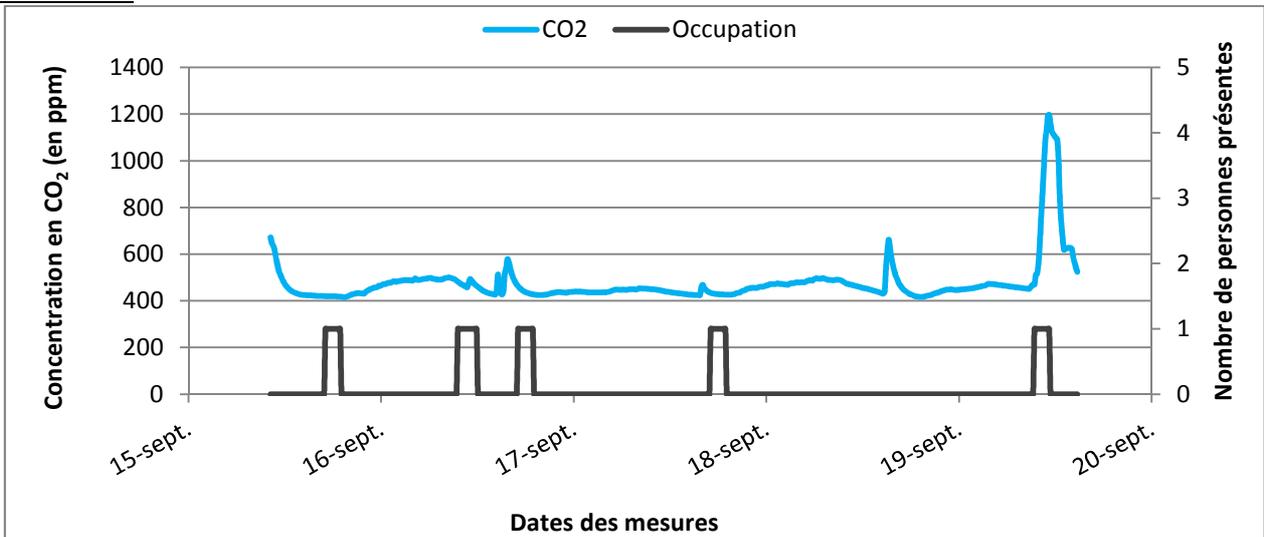
### Bureau 00 :



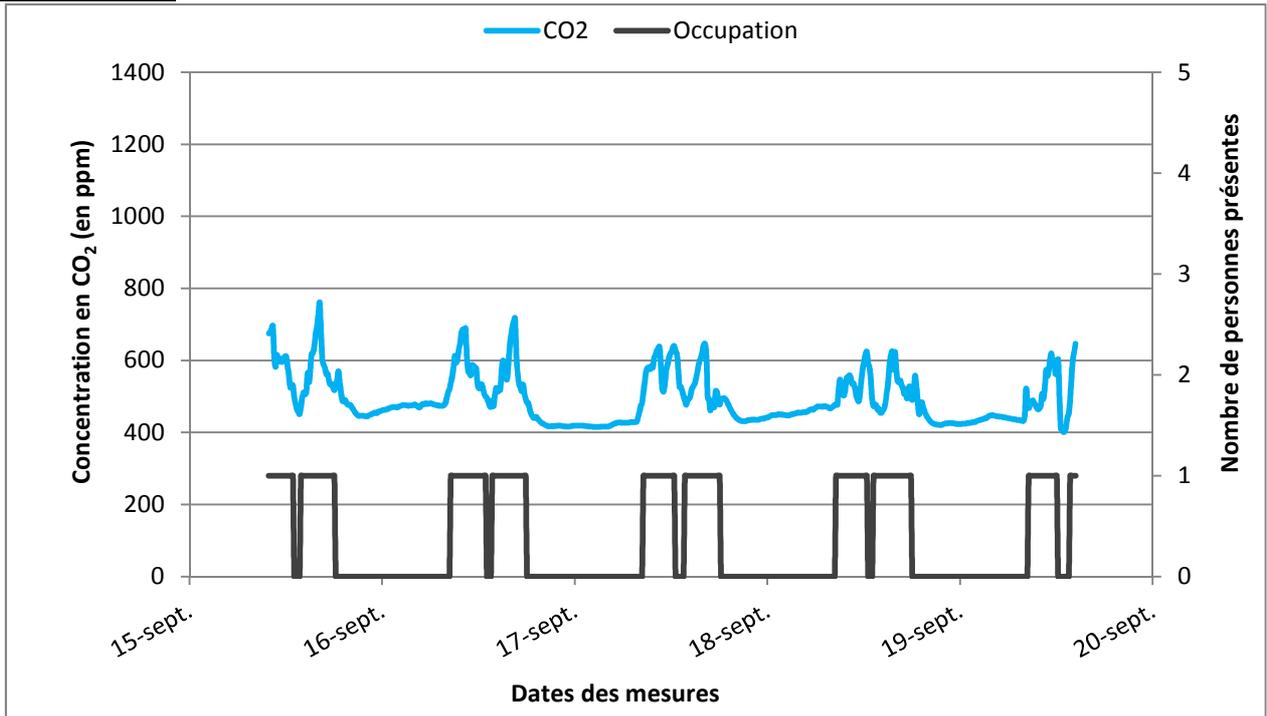
### Bureau 18 :



### Bureau 30 :



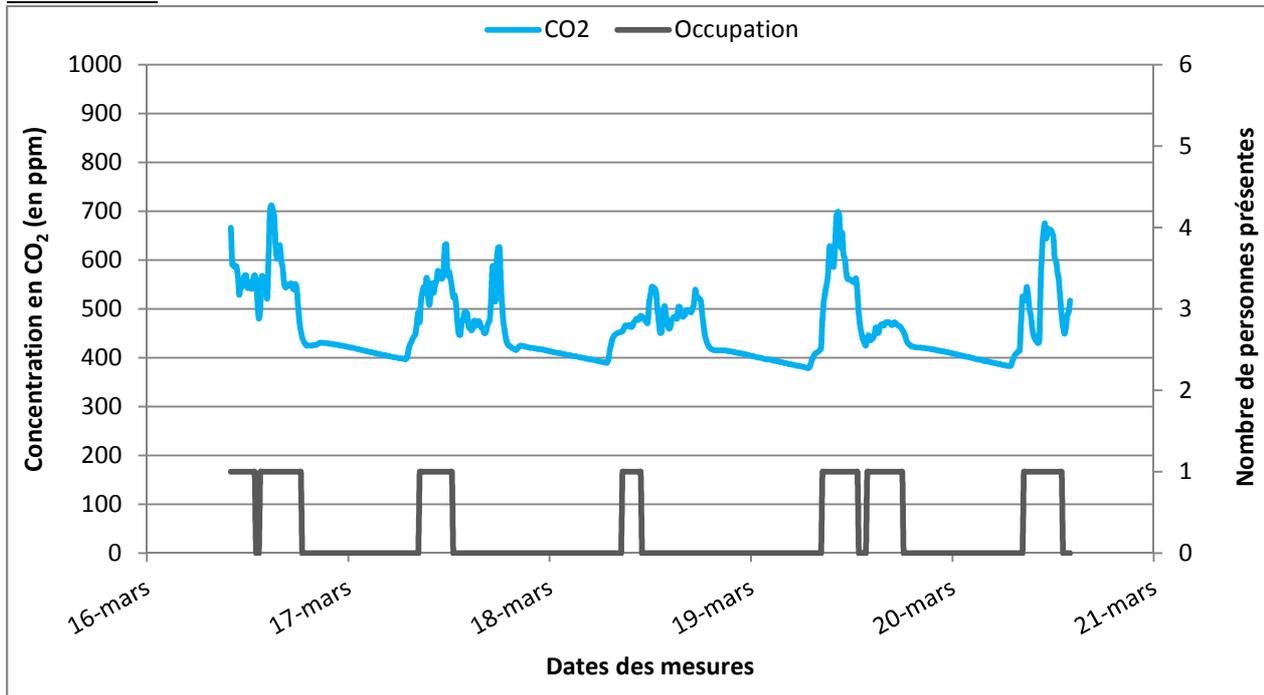
Bureau 38/39 :



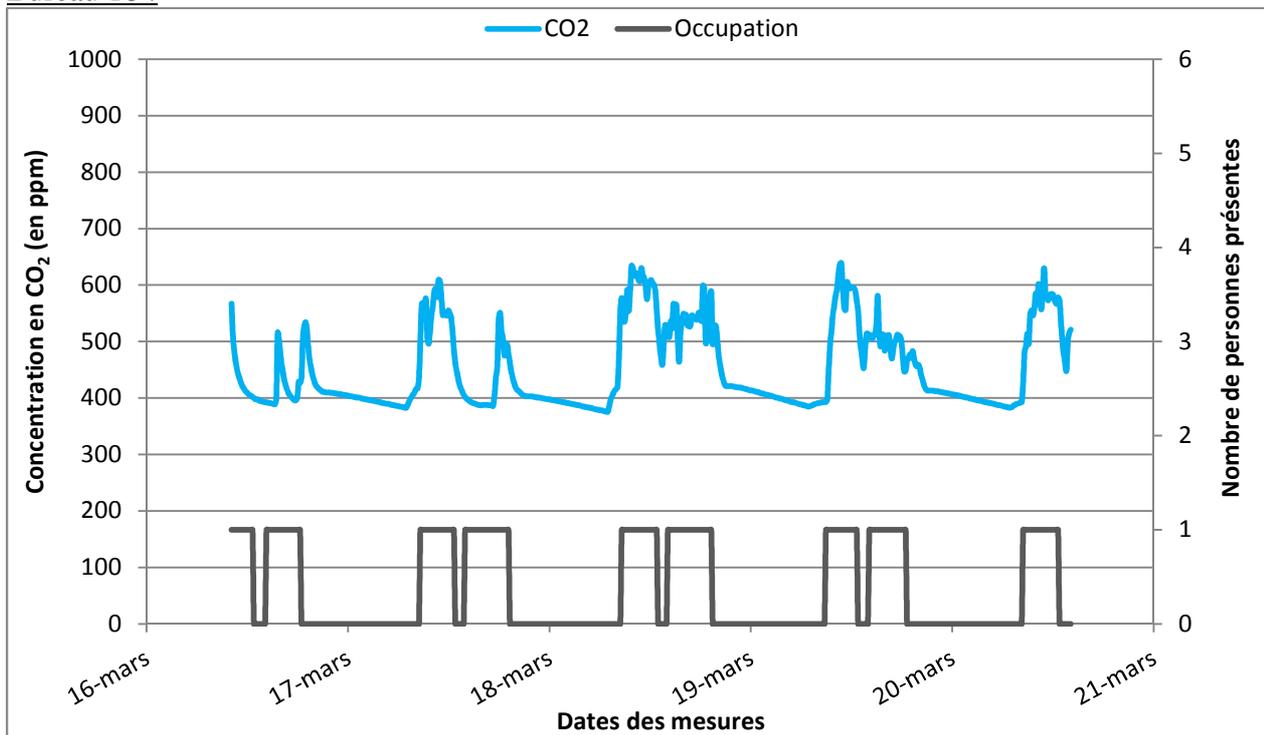
Bureau 41 : données invalidées

Annexe 5 : Résultats des mesures de CO<sub>2</sub> et périodes d'occupation (phase 4)

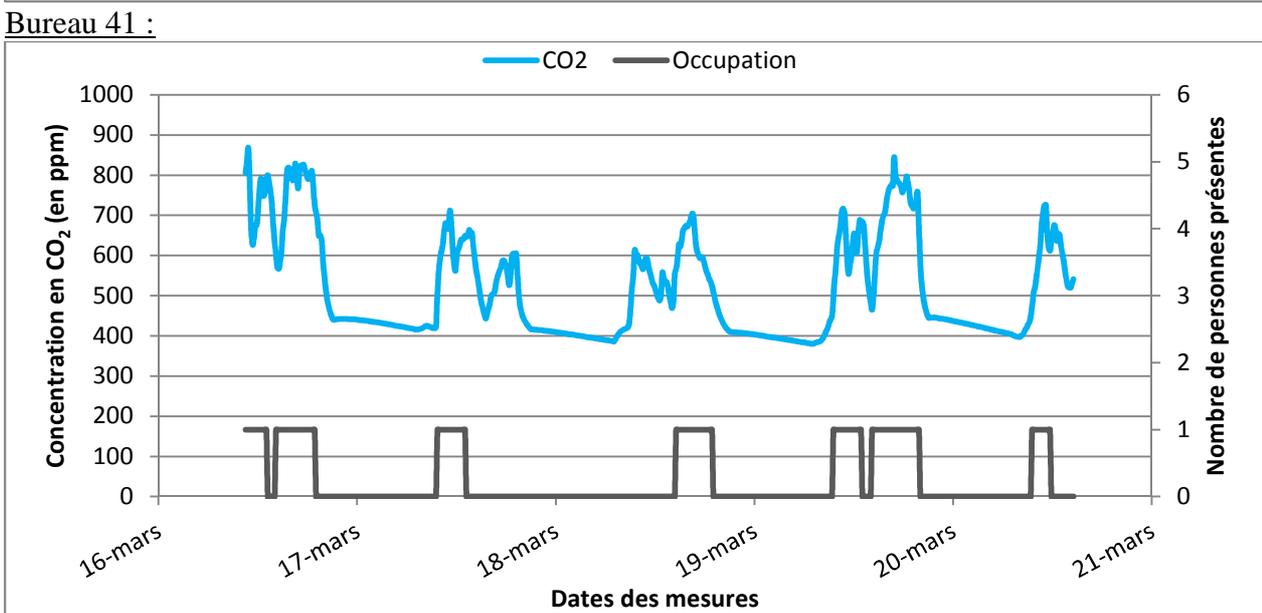
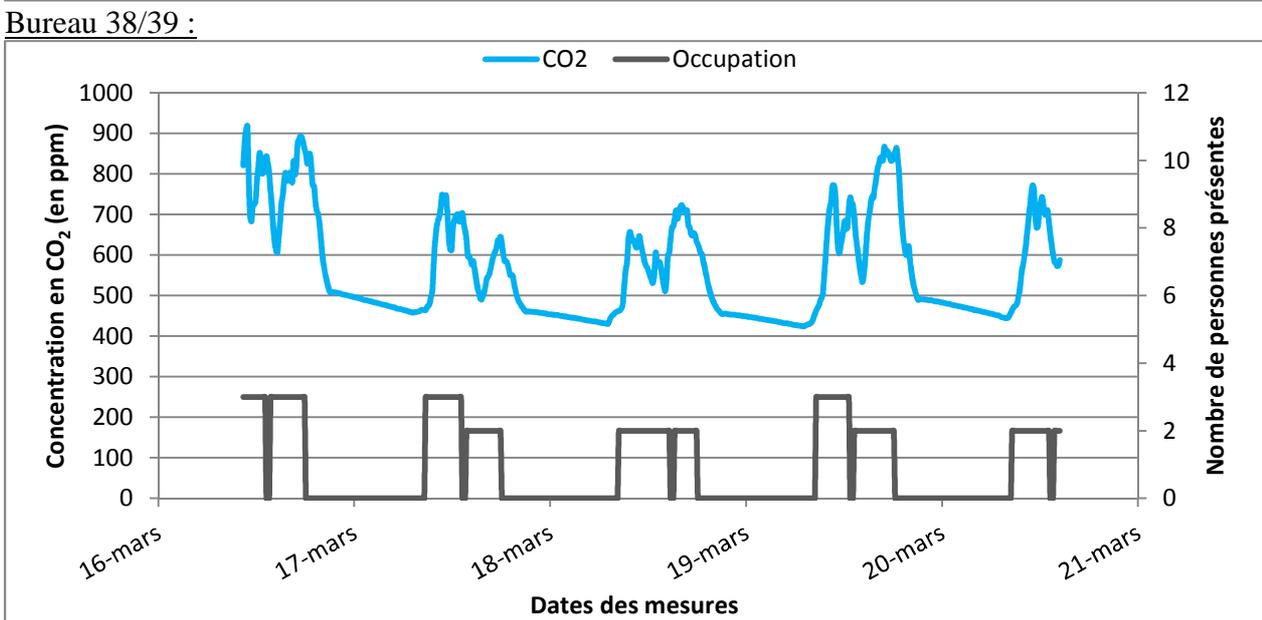
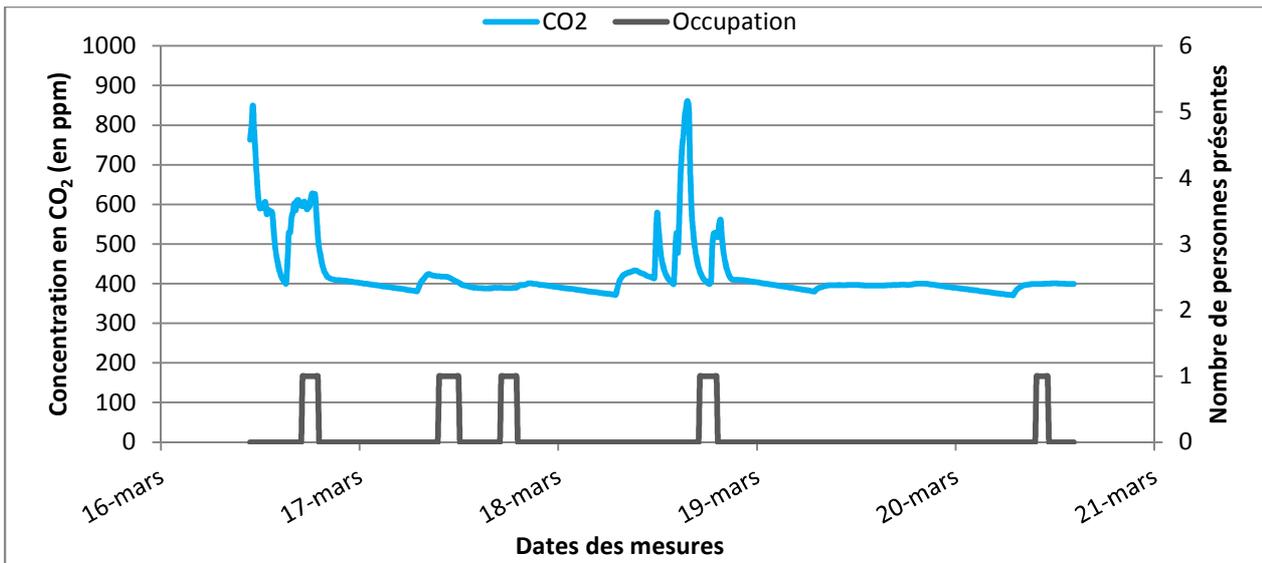
Bureau 00 :



Bureau 18 :



Bureau : 30 :



## Annexe 6 Résultats bruts des polluants gazeux

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour les campagnes en phases 1 et 2 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Phase 1			Phase 2		
	00	41	Extérieur	00	41	Extérieur
<b>benzène</b>	NA	NA	NA	0.8	1.9	0.7
<b>n-hexane</b>	4.9	5.0	1.0	1.1	1.2	1.0
<b>toluène</b>	13.3	12.7	11.1	2.5	3.0	1.8
<b>éthylbenzène</b>	4.3	3.9	0.3	1.3	1.2	0.3
<b>m/p/o-xylènes</b>	23.6	22.9	4.3	5.7	5.6	0.9
<b>styrène</b>	1.4	0.6	0.1	0.4	0.8	0.1
<b>1,2,4-triméthylbenzène</b>	13.0	12.3	0.5	0.5	0.3	0.4
<b>n-décane</b>	15.5	12.7	1.0	1.9	1.5	1.3
<b>n-undécane</b>	5.3	4.7	0.8	2.1	2.0	1.7
<b>trichloroéthylène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>tétrachloroéthylène</b>	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1
<b>1,4-dichlorobenzène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	36.7	20.6	0.3	6.5	0.7	0.2
<b>limonène</b>	15.7	7.8	0.3	4.4	0.3	0.2
<b>1-méthoxy-2-propanol</b>	30.7	36.7	<0.1	0.3	1.1	<0.1
<b>1-méthoxy-2-propyl acétate</b>	nq	nq	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>2-butoxyéthanol</b>	1.7	0.8	<0.1	1.6	1.6	<0.1
<b>2-butoxyéthyl acétate</b>	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
<b>naphtalène</b>	2.4	2.3	1.3	0.4	0.3	0.5
<b>formaldéhyde</b>	18.4	19.4	1.3	12.3	15.7	1.8
<b>acétaldéhyde</b>	14.8	12.4	0.9	10.2	12.7	1.4
<b>propanal</b>	13.5	10.0	0.2	12.8	17.1	0.7
<b>butanal</b>	16.7	15.9	<LQ	8.9	11.8	1.2
<b>benzaldéhyde</b>	1.0	0.9	<LQ	0.8	1.0	0.1
<b>isopentanal</b>	4.1	3.3	<LQ	1.3	1.5	0.1
<b>pentanal</b>	13.6	12.1	<LQ	8.6	10.9	0.3
<b>hexanal</b>	85.7	69.7	<LQ	38.5	49.8	<LQ

*nq = non quantifiable (interférence chromatographique lors de l'analyse ;  
<LQ = inférieur à la limite de quantification  
NA = non disponible*

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour la campagne en phase 3 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	00	18	30	38/39	41	Extérieur
<b>benzène</b>	6.0	4.4	4.9	5.3	4.5	2.2
<b>n-hexane</b>	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3
<b>toluène</b>	11.5	10.1	9.3	9.5	9.0	6.9
<b>éthylbenzène</b>	1.8	1.2	1.0	2.1	1.3	0.6
<b>m/p/o-xylènes</b>	7.2	6.5	6.0	6.8	6.1	3.2
<b>styrène</b>	1.2	0.5	0.4	0.7	0.5	0.4
<b>1,2,4-triméthylbenzène</b>	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5
<b>n-décane</b>	2.3	1.9	2.2	1.9	1.8	1.8
<b>n-undécane</b>	2.5	1.9	2.7	1.6	1.5	3.3
<b>trichloroéthylène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>tétrachloroéthylène</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>1,4-dichlorobenzène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	22.9	4.4	18.6	3.9	3.3	0.3
<b>limonène</b>	7.7	3.2	3.9	1.8	1.2	0.3
<b>1-méthoxy-2-propanol</b>	0.9	1.1	0.4	0.6	0.6	<0.1
<b>1-méthoxy-2-propyl acétate</b>	1.2	0.5	0.5	0.4	0.4	<0.1
<b>2-butoxyéthanol</b>	29.2	5.2	1.2	3.6	1.8	<0.1
<b>2-butoxyéthyl acétate</b>	1.3	0.7	0.6	0.5	0.3	<0.3
<b>naphtalène</b>	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4
<b>formaldéhyde</b>	32.2	35.9	29.8	23.4	24.1	NA
<b>acétaldéhyde</b>	15.7	13.5	7.5	10.1	9.7	NA
<b>propanal</b>	22.8	17.6	9.6	13.4	12.3	NA
<b>butanal</b>	15.0	11.5	5.6	10.2	10.3	NA
<b>benzaldéhyde</b>	2.3	1.2	0.9	0.9	0.9	NA
<b>isopentanal</b>	1.8	1.2	1.0	1.4	1.1	NA
<b>pentanal</b>	13.0	10.0	4.5	6.2	6.2	NA
<b>hexanal</b>	62.1	54.2	24.1	33.6	31.6	NA

NA = pas de mesures d'aldéhyde en air extérieur (selon le protocole de l'OQAI)

L'ensemble des résultats bruts concernant les polluants gazeux pour la campagne en phase 4 sont rassemblés dans le tableau suivant :

Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	00	18	30	38/39	41	Extérieur
<b>benzène</b>	1.2	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2
<b>n-hexane</b>	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
<b>toluène</b>	1.9	3.0	2.1	2.3	2.1	2.5
<b>éthylbenzène</b>	1.8	2.5	1.7	2.5	2.1	0.6
<b>m/p/o-xylènes</b>	7.3	10.2	6.6	9.0	7.3	2.3
<b>styrène</b>	0.8	0.7	0.4	0.6	0.4	0.1
<b>1,2,4-triméthylbenzène</b>	0.5	0.7	0.6	0.5	0.2	0.3
<b>n-décane</b>	1.4	2.0	2.4	1.7	0.6	1.0
<b>n-undécane</b>	1.8	2.9	2.4	2.1	0.8	0.9
<b>trichloroéthylène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>tétrachloroéthylène</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>1,4-dichlorobenzène</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	24.6	22.6	18.5	19.5	22.2	0.3
<b>limonène</b>	7.2	24.0	7.0	7.9	3.0	0.4
<b>1-méthoxy-2-propanol</b>	0.9	2.4	0.3	0.6	0.8	<0.1
<b>1-méthoxy-2-propyl acétate</b>	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>2-butoxyéthanol</b>	1.8	1.6	0.4	0.6	0.7	<0.1
<b>2-butoxyéthyl acétate</b>	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
<b>naphtalène</b>	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2
<b>formaldéhyde</b>	6.8	11.0	9.8	9.2	8.9	NA
<b>acétaldéhyde</b>	9.7	12.0	10.4	12.9	12.2	NA
<b>propanal</b>	11.3	14.1	12.1	15.2	14.0	NA
<b>butanal</b>	5.9	10.4	8.7	10.0	9.8	NA
<b>benzaldéhyde</b>	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6	NA
<b>isopentanal</b>	0.5	0.8	0.6	1.0	0.9	NA
<b>pentanal</b>	5.4	9.0	5.4	7.4	7.2	NA
<b>hexanal</b>	5.4	9.0	5.4	7.4	7.2	NA

NA = pas de mesures d'aldéhyde en air extérieur (selon le protocole de l'OQAI)

## Annexe 7 : Valeurs de référence en air intérieur

Dans le cadre de cette étude nationale, les résultats ont été comparés aux valeurs guides réglementaires même si ces dernières s'appliquent normalement à un certain type de bâtiments qui est différent de celui investigué.

<b>benzène</b>	Valeur limite : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VGAI 2013 : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Règlementation française (ERP) [1] [18]</i>
<b>formaldéhyde</b>	Valeur limite : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VGAI 2015 : 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>tétrachloroéthylène</b>	Valeur limite : 1250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VGAI : 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>HCSP (2010)</i>
<b>trichloroéthylène</b>	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour les bâtiments neufs) et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour les bâtiments existants)	<i>HCSP (2012)</i>
<b>acétaldéhyde</b>	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>INDEX [20]</i>
<b>toluène</b>	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>xylènes</b>	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>styrène</b>	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>limonène</b>	450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>naphtalène</b>	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>NO<sub>2</sub></b>	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>PM2.5</b>	Valeur-limite : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VGAI : 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>HCSP (2013)</i>
<b>radon</b>	1 <sup>er</sup> niveau d'action : 400 Bq/m <sup>3</sup> 2 <sup>ème</sup> niveau d'action : 1000 Bq/m <sup>3</sup>	<i>Arrêté du 22 juillet 2004</i>

*HCSP = Haut Conseil en Santé Publique*

## 8.2. Bibliographie

- [1] Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2015 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public [en ligne]. Journal officiel, n° 0001 du 1 janvier 2016, texte 8/55. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/12/30/DEVP1415078D/jo> (consulté le 08.02.2016).
- [2] Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène [en ligne]. Journal officiel, n° 0281 du 4 décembre 2011, p. 20529. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024909119&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté le 08.02.2016).
- [3] BRIAND E. Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Paris, France : Direction générale de la santé, août 2010, 78 p. Disponible sur : [http://opac.invs.sante.fr/doc\\_num.php?explnum\\_id=6865](http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=6865) (consulté le 08.02.2016).
- [4] Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et Ministère des Affaires sociales et de la Santé. La surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants [en ligne]. SG/DICOM/DIE, 2012, 16 p. Disponible sur : [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure\\_Qualite-air-ecoles\\_2018-2023.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_Qualite-air-ecoles_2018-2023.pdf) (consulté le 08.02.2016).
- [5] DEOUX Suzanne. Bâtir pour la santé des enfants. Andorra : Medieco Editions, 2010, 689 p. ISBN 978-99220-1-770
- [6] COEUDEVEZ C-S., IZARD M. Mesure de la qualité de l'air sur des chantiers de rénovation de logements. Défis bâtiment - santé 2013. Communication personnelle.
- [7] DERBEZ M., BERTHINEAU B., COCHET V., et al. Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. Building and Environment, Elsevier [en ligne]. 2014, n° 72, pp. 173-187. Disponible sur : <https://hal.inria.fr/hal-01102234/document> (consulté le 08.02.2016).
- [8] CRUMP D., DENGEL A., SWAINSON M. Indoor air quality in highly energy efficient homes - a review [en ligne]. NHBC Foundation report NF18. IHS BRE Press, 2009, 84p. Disponible sur : [http://www.zerocarbonhub.org/sites/default/files/resources/reports/Indoor\\_Air\\_Quality\\_in\\_Highly\\_Energy\\_Efficient\\_Homes\\_A\\_Review\\_NF18.pdf](http://www.zerocarbonhub.org/sites/default/files/resources/reports/Indoor_Air_Quality_in_Highly_Energy_Efficient_Homes_A_Review_NF18.pdf) (consulté le 08.02.2016). ISBN 978-1-84806-104-0
- [9] CRUMP D., SQUIRE R., Yu C. Sources and Concentrations of Formaldehyde and Other Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Four Newly Built Unoccupied Test Houses. Indoor and Built Environment [en ligne]. 1997, volume 6, pp. 45-55. Disponible sur : [http://www.aivc.org/sites/default/files/airbase\\_104\\_16.pdf](http://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_104_16.pdf) (consulté le 08.02.2016).
- [10] OFFERMANN FJ. Ventilation and Indoor Air Quality in New Homes [en ligne]. California Air Resources Board and California Energy Commission, PIER Energy - Related Environmental Research Program. Collaborative Report. CEC-500-2009-085. 2009. Disponible sur : <http://www.arb.ca.gov/research/apr/past/04-310.pdf> (consulté le 08.02.2016).
- [11] DERBEZ M., BERTHINEAU B., COCHET V., et al. A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. Building and Environment, Elsevier [en ligne]. 2014, n° 82, pp. 288-299. Disponible sur : <https://hal-cstb.archives-ouvertes.fr/hal-01102220/document> (consulté le 08.02.2016).
- [12] PATKO C., PATKO I., PASZTORY Z. Indoor air quality testing in low-energy wooden houses : measurement of formaldehyde and VOC-s. Acta Polytechnica Hungarica [en ligne]. 2013, volume 10, pp. 105-16. Disponible sur : [http://www.uni-obuda.hu/journal/Patko\\_Patko\\_Pasztory\\_46.pdf](http://www.uni-obuda.hu/journal/Patko_Patko_Pasztory_46.pdf) (consulté le 08.02.2016).

- [13] AIR NORMAND. L'Air Normand n° 66 [en ligne]. Août 2012, 6 p. Disponible sur : [www.airnormand.fr](http://www.airnormand.fr) (consulté le 08.02.2016).
- [14] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement [en ligne]. Journal officiel, n° 0160 du 13 juillet 2010, p. 12905. Disponible sur : [http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=07AD184DEAC5017AF2374360AAA6F116.tpdjo04v\\_2?cidTexte=JORFTEXT000022470434&categorieLien=id](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=07AD184DEAC5017AF2374360AAA6F116.tpdjo04v_2?cidTexte=JORFTEXT000022470434&categorieLien=id) (consulté le 08.02.2016).
- [15] CODE DU TRAVAIL. Partie réglementaire, Quatrième partie, Livre II, Titre II, Chapitre II, Section 2, Article R4222-6 [en ligne]. Créé par Décret n°2008-244 du 7 mars 2008. Disponible sur : [http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=3153C89C0D7D9D2EE3EE785A586C3855.tpdila10v\\_3?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018532328&dateTexte=20160205&categorieLien=id#LEGIARTI000018532328](http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=3153C89C0D7D9D2EE3EE785A586C3855.tpdila10v_3?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000018532328&dateTexte=20160205&categorieLien=id#LEGIARTI000018532328) (consulté le 05.02.2016).
- [16] Circulaire du 20 janvier 1983 relative à la révision du règlement sanitaire départemental type [en ligne]. Journal officiel du 25 février 1983. Disponible sur : [http://www.ars.haute-normandie.sante.fr/fileadmin/HAUTE-NORMANDIE/rubriques/Votre\\_Sante/Votre\\_environnement/Habitat/REGLEMENT\\_SANITAIRE\\_DEPARTEMENTAL.pdf](http://www.ars.haute-normandie.sante.fr/fileadmin/HAUTE-NORMANDIE/rubriques/Votre_Sante/Votre_environnement/Habitat/REGLEMENT_SANITAIRE_DEPARTEMENTAL.pdf) (consulté le 08.02.2016).
- [17] Haut Conseil de la Santé Publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : les particules [en ligne]. Rapport, juillet 2013, 72 p. Disponible sur : <http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=371> (consulté le 18.01.2016).
- [18] Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public [en ligne]. Journal officiel, n°185 du 11 août 2004, p. 14359. Disponible sur : <http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000238507&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté le 08.02.2016).
- [19] ANSES. Propositions de Valeurs Guides de qualité d'Air intérieur, Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) [en ligne]. Avis et rapport, Edition scientifique, février 2013. 143 p. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0021Ra.pdf> (consulté le 08.02.2016).
- [20] Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos S et al. The INDEX project : executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. Allergy [en ligne]. Juillet 2008, volume 63, n°7, pp. 810-819. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x/abstract;jsessionid=87BEDC7963B54D6CC84966D43CB3892B.f02t04> (consulté le 08.02.2016).
- [21] OQAI. Campagne nationale logements, état de la qualité de l'air dans les logements français, rapport final [en ligne]. CSTB, ANSES, rapport n° DDD/SB 2006-57, mis à jour en mai 2007, 183 p. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/OQAI.pdf> (consulté le 08.02.2016).
- [22] OQAI. Qualité de l'air intérieur et confort dans les immeubles de bureaux [en ligne]. CSTB, bulletin de l'OQAI n°8, novembre 2014, 8 p. Disponible sur : [http://www.oqai.fr/userdata/documents/465\\_Bulletin8\\_Confort\\_bureaux.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/465_Bulletin8_Confort_bureaux.pdf) (consulté le 08.02.2016).
- [23] Moularat S., Robine E., Ramalho O, Oturan M.A. Detection of fungal development in a close environment through the identification of specific VOC : Demonstration of a specific VOC fingerprint for fungal development [en ligne]. 15 décembre 2008, volume 407, issue 1, pp. 139-146. Disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708008449> (consulté le 08.02.2016).