



INFILTROMÉTRIE



ACOUSTIQUE



QUALITÉ DE L'AIR



RÉSEAUX



DPE



GÉOLOCALISATION



DÉPISTAGE



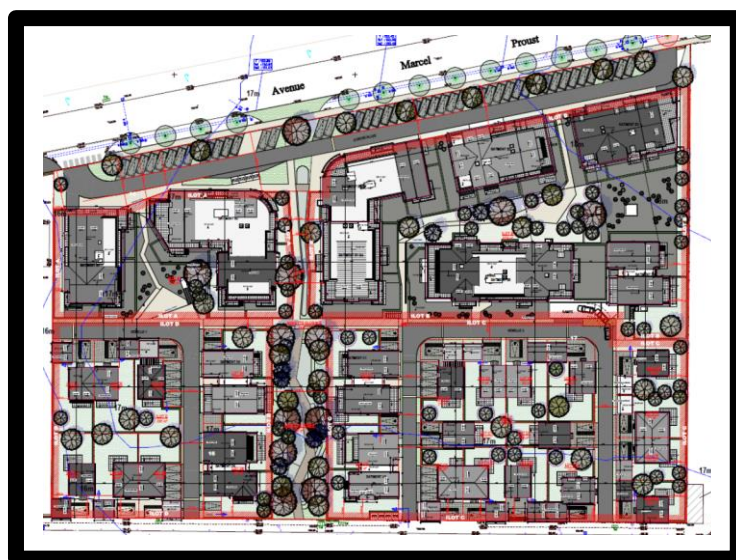
INSPECTION



ASSÈCHEMENT

19/06/2023

RAPPORT DE L'ETUDE DE QUALITE DE L'AIR D'UN PROJET DE CONSTRUCTION DE LOGEMENTS COLLECTIFS



Commande : 23.05.24.AAAI1488

Donneur d'ordre : Arthur PANFILI

Adresse d'intervention : 8 avenue de SULLY à Chartres

Réalisation de l'étude : Jebran Moradi de Octopus LAB

Version : V1 du 19/06/2023

Rédacteur du rapport : Fairouz BOUKHATEB

Vérificateur : Céline FANG

Table des matières

I. Présentation.....	3
1. Présentation de AIRTCONTROLE	3
2. Contexte de notre intervention.....	3
II. Contexte de la qualité de l'air	4
1. Contexte.....	4
2. Principaux polluants	4
a. Les oxydes d'azotes NO _x	4
b. L'ozone	4
c. Les particules fines.....	4
d. Le dioxyde de carbone	5
e. Composés Organiques Volatils	5
f. Formaldéhyde	5
3. Valeurs de références	6
a. Valeurs guides	6
b. Réglementation française	7
c. Autres.....	8
III. Description du site.....	10
1. Dioxyde d'azote	10
3. Particules fines PM2.5 et PM10.....	12
IV. Descriptif des paramètres de simulation	13
1. Choix des matériaux de simulation.....	15
a. Matériaux de construction	15
2. Occupation	15
IV. Résultats	18
a. Dioxyde d'azote.....	18
c. Particules fines <2,5µm	23
d. Particules fines <10µm	24
V. Conclusions	27
1. Récapitulatif	27
2. Recommandations.....	28
VI. Annexes.....	29
VII. Mentions et signatures	34

I. Présentation

1. Présentation de AIRTCONTROLE

AIRT CONTROLE :

SAS au capital de 70 130,00 €

RCS PARIS 538 376 492

SIRET : 538 376 492 00020

APE : 7120B

Siège social : 22/24 rue Lavoisier, 92000 Nanterre

Téléphone : 01 71 01 88 63



Pole Qualité de l'air : gai@airtcontrole.fr

2. Contexte de notre intervention

La pollution de l'air extérieur est un problème majeur de santé environnementale qui touche tout le monde dans les pays à revenu faible, intermédiaire et élevé. En 2016, on estimait que la pollution de l'air ambiant (extérieur) dans les villes et les zones rurales était responsable de 4,2 millions de décès prématurés par an dans le monde ; cette mortalité est due à l'exposition aux particules fines de 2,5 microns de diamètre ou moins (PM2,5), qui provoquent des maladies cardiovasculaires et respiratoires, ainsi que des cancers.

Dans le cadre de la construction d'une zone logements, de commerces et services, et d'équipements d'intérêts collectifs dans la zone de Chartres, vous nous avez mandaté pour effectuer une étude de la qualité de l'air extérieur du site.

Plus précisément, l'étude présentée porte sur la prévision de la qualité de l'air de bâtiments du projet de construction de logements collectifs **situé au 7-9 Avenue de Sully à Chartres.**

Des simulations ont donc été réalisées sur la base des connaissances du Cahier des Clauses Techniques et Particulières (CCTP) en phase d'avant-projet définitif et ont pour objectif d'identifier les choix de conception et de ventilation sur la qualité de l'air intérieur, et notamment de la part des polluants provenant de l'extérieur.



II. Contexte de la qualité de l'air

1. Contexte

Nous pouvons retrouver une multitude de polluants au sein d'un bâtiment. Ces polluants peuvent provenir de l'extérieur ou être émis directement à l'intérieur par les matériaux, les occupants, les usages... Ils peuvent devenir nocifs pour la santé lorsque leurs niveaux deviennent trop élevés.

Les principaux polluants reconnus et surveillés au sein des bâtiments sont présentés dans le paragraphe suivant, avec leurs sources d'émissions potentielles et leurs effets notoires sur la santé.

Leur impact sur la santé a été étudié par des agences comme l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ou l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) et des niveaux à partir desquels ils peuvent avoir des effets nocifs ont été établis. Les réglementations, labels et certifications se basent sur ces niveaux.

2. Principaux polluants

a. Les oxydes d'azotes NO_x

Les oxydes d'azote sont des composés gazeux et sont notamment produits par les moteurs à combustion et les centrales thermiques et constituent les polluants majeurs de l'atmosphère. La diminution de la fonction pulmonaire des habitants des grandes villes d'Europe et d'Amérique du Nord est corrélée avec les fortes concentrations en Nox observées.

b. L'ozone

L'ozone est un gaz essentiel dans la stratosphère et dont l'action est de nous protéger des rayons de soleil. Il est cependant toxique à respirer.

C'est un polluant dit secondaire car il résulte de la transformation, sous l'effet du rayonnement solaire, de polluants (NO₂, CO, COV) essentiellement produits en zone urbaine par les véhicules. D'un point de vue santé, ses trois principaux effets possibles sont : la toux, l'inconfort thoracique et la douleur à l'inspiration profonde.

c. Les particules fines

Les effets des particules fines sont nombreux et dépendent essentiellement de leur taille et de leur composition chimique. Plus les particules sont petites et plus elles pourront pénétrer profondément dans le système respiratoire, pouvant même à terme se retrouver dans l'ensemble de l'organisme via la circulation sanguine pour les plus fines d'entre elles. Elles peuvent ainsi être à l'origine d'inflammations et de l'aggravation de l'état de santé des personnes atteintes de maladies cardiaques et pulmonaires.

d. Le dioxyde de carbone

Émis par les êtres vivants, le dioxyde de carbone (CO₂) est un bon indicateur du renouvellement de l'air intérieur et donc de l'efficacité du système de ventilation. Il permet ainsi de caractériser la qualité de l'air intérieur dans son ensemble.

Une concentration élevée et sur une longue durée en CO₂ peut engendrer de multiples symptômes néfastes pour les occupants d'une pièce : manque de concentration, fatigue, irritations, maux de tête, etc.

e. Composés Organiques Volatils

Ces composés peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et leurs effets sur la santé peuvent être différents en fonction de leur composition.

Ils correspondent à un ensemble de composés appartenant à différentes familles chimiques.

Ils sont largement utilisés dans la fabrication de nombreux produits, matériaux d'aménagement et de décoration. Une de leurs caractéristiques est de s'évaporer plus ou moins rapidement à température ambiante. De plus, les COV sont plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur, compte-tenu de la multiplicité des sources intérieures. Leurs possibles effets sur la santé sont des irritations de la peau, des muqueuses et du système pulmonaire, des effets cancérogènes...

f. Formaldéhyde

Le formaldéhyde est un Composé Organique Volatil de la famille des aldéhydes, présent sous forme gazeuse à température ambiante. Il s'agit de l'un des composés organiques les plus utilisés par l'industrie chimique du fait de sa grande polyvalence.

Il est principalement utilisé pour la fabrication de colles, de résines et de vernis présents dans la production de contreplaqué, de panneaux agglomérés de fibres ou de particules (mélaminés), de meubles ou d'autres produits du bois.

Il a été reconnu comme "substance cancérogène avérée pour l'homme" par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) en 2004. Il est également classé comme mutagène de catégorie 2 au niveau européen depuis 2014.

Dans le cas d'expositions aiguë et chronique (à des doses plus faibles que celles susceptibles d'induire des cancers à long terme), ce composé peut provoquer des irritations oculaires et respiratoires.

g. Benzène

Le benzène est un hydrocarbure synthétique, appartenant à la famille des Composés Organiques Volatils, couramment utilisé comme solvant ou dans l'industrie, ainsi que comme précurseur d'autres composés de chimie organique.

Ce composé est connu pour sa forte toxicité et ses voies de pénétration dans l'organisme sont en premier lieu respiratoire puis cutanée. Les effets d'une exposition aiguë au benzène sont des céphalées, des nausées voire une excitation nerveuse pouvant être à l'origine de facteurs dépressifs. Les effets d'une exposition chronique sont plus importants avec de possibles atteintes cutanées ou de la moëlle osseuse voire des effets cancérogènes (leucémies) ou génotoxiques.

h. Radon

Le radon est un gaz incolore et inodore radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. Il est présent partout à la surface du sol mais provient surtout des sols granitiques et volcaniques.

Ce composé est classé cancérigène certain pour le poumon, le risque étant lié au temps d'exposition ainsi qu'à la concentration en radon dans l'air respiré. Il représente la deuxième cause de cancer du poumon après le tabac.

L'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque radon dans les lieux ouverts au public stipule que les propriétaires, voire les exploitants de ces établissements situés dans l'un des 31 départements jugés prioritaires doivent faire procéder à des mesures d'activité volumique de radon.

Cette obligation de surveillance est à renouveler tous les 10 ans ou chaque fois que sont réalisés des travaux modifiant la ventilation ou l'étanchéité du bâtiment. Les établissements concernés par ces mesures sont : les établissements d'enseignement, les établissements sanitaires et sociaux avec hébergement, les établissements thermaux et les établissements pénitentiaires.

Les mesures doivent être réalisées par des professionnels agréés et conformément aux normes en vigueur (arrêté du 22 juillet 2015).

3. Valeurs de références

Les réglementations pour surveiller et améliorer la qualité de l'air sont internationales, européennes, nationales. Les textes internationaux et européens sont transposés dans la législation nationale, elle-même adaptée au contexte régional et local.

Dans les paragraphes suivants, les réglementations et informations concernant la qualité de l'air en France ont été résumées et seront utilisées comme référence dans la suite de cette étude.

a. Valeurs guides

Les Valeurs Guides en Air Intérieur (VGAI), établies par l'Anses, visent à établir des seuils de référence pour les polluants rencontrés en air intérieur et sont fondées exclusivement sur des critères sanitaires.

Une VGAI est définie comme étant la concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance susceptible d'impacter la santé, n'est attendu pour la population générale, en l'état des connaissances actuelles.

L'élaboration des VGAI repose essentiellement sur :

- la description et l'analyse des effets sur la santé liés aux polluants via l'exposition à l'air. Il s'agit en fait de dresser le profil toxicologique de la substance.
- la synthèse des valeurs guides et des valeurs toxicologiques de référence (VTR) disponibles dans la littérature.
- la proposition de VGAI pouvant être construites selon les guides méthodologiques publiés par l'ANSES lorsque cela est jugé nécessaire.

Ces valeurs sont indicatives et servent à appuyer les pouvoirs publics dans l'élaboration de valeurs opérationnelles permettant la mise en place de mesures de gestion.

Actuellement, une dizaine de polluants d'intérêt de l'air intérieur ont fait l'objet d'une expertise de l'Anses sur les VGAI.

Parmi celles-ci, seuls le formaldéhyde et le benzène ont des VGAI réglementaires inscrites au code de l'environnement et publiées par le décret ministériel n°2022-1689.

Valeurs sanitaires de référence		
Résultats en µg/m3	VGAI LT µg/m3	VGAI LT µg/m3
Formaldéhyde	30	100
Benzène	2	

TABLEAU 1 – VGAI réglementaires établis par le décret n°2022-1689 et les recommandations HCSP

Ces deux polluants sont également surveillés pour les écoles par le décret n°2012-14 du 5 janvier 2012, qui établit des valeurs limites au-delà desquelles des investigations complémentaires doivent être menées afin d'identifier et de neutraliser les sources, dans le but de ramener les niveaux en dessous de celles-ci. Elles sont de 100 µg/m3 pour le formaldéhyde et 10 µg/m3 pour le benzène.

b. Réglementation française

La réglementation française prévoit également par l'article R221-1 du Code de l'Environnement des valeurs permettant de définir les moyens de surveillance de la qualité de l'air ambiant pour différents polluants. Ces valeurs se basent sur les résultats émis par l'OMS ou l'ANSES.

Le décret définit notamment pour une liste de polluants :

- Des Valeurs Limites (VL): correspondant à un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.
- Un Objectif de Qualité (OQ): correspondant à un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Valeurs sanitaires de référence		
Résultats en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeurs limites $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objectif de qualité $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	<ul style="list-style-type: none"> - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile. - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de trente-cinq fois par année civile. 	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile
PM _{2.5}	<ul style="list-style-type: none"> - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile 	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile
Benzène	<ul style="list-style-type: none"> - 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile 	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile
Dioxyde d'azote	<ul style="list-style-type: none"> - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de dix-huit fois par année civile 	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile
Ozone	-	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le maximum journalier de la moyenne sur huit heures, pendant une année civile

TABLEAU 2 – Valeurs limites et objectifs de qualité établis par l'article R221-1 du Code de l'Environnement

c. Autres

Pour les polluants pour lesquels une VGAI n'a pas directement été établis, les seuils retenus en général et qui seront utilisés comme référence dans cette étude sont les suivants :

Polluants	Valeurs limites	Sources
Dioxyde de carbone (CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - ne pas dépasser 1000 ppm - tolérance à 1300 ppm 	Règlement Sanitaire Départemental (RSD)
	<ul style="list-style-type: none"> - seuil optimal : 800 ppm - seuil maximal : 1300 ppm 	Indice de confinement de l'air dans les écoles (ICONE)
Composés Organiques Volatils Totaux (COVT)	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Commission	Commission - Hygiène de l'air Intérieur de l'agence fédérale Allemande pour l'environnement
	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Etiquetage sanitaire français des Matériaux

TABLEAU 3 – Etude qualité de l'air intérieur - Logements collectifs Chartres - Octopus Lab SAS

A noter que l'ANSES recommande de ne pas élaborer de Valeur Guide de qualité d'air intérieur (VGAI) pour le CO₂, que ce soit pour ses effets propres ou pour les effets du confinement sur la santé.

Elle insiste sur le fait que la seule mesure du CO₂ ne peut être considérée comme l'unique indicateur de qualité sanitaire de l'air intérieur au vu des résultats de ces travaux qui montrent que :

- Les données épidémiologiques disponibles ne permettent pas de construire de valeur, seuil du CO₂ protégeant des effets du confinement sur la santé, sur la perception de confort ou sur les performances cognitives,
- Dans l'air de logements, d'écoles et de bureaux en France, la probabilité de dépassement de valeurs cibles sanitaires de divers polluants chimiques (VGAI du formaldéhyde, ...) n'est pas nulle même à des concentrations de CO₂ réduites.

Les seuils de référence OMS de 2021 sont également présentés dans le tableau suivant :

Polluants	Seuils de référence
PM ₁₀	- 15 µg/m ³ en moyenne annuelle civile - 45 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures
PM _{2,5}	- 5 µg/m ³ en moyenne annuelle civile - 15 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures
Ozone	- 60 µg/m ³ en pic saisonnier - 10 µg/m ³ sur 8 heures
Dioxyde d'azote	- 10 µg/m ³ en moyenne annuelle civile - 25 µg/m ³ en moyenne sur 24 heures

TABLEAU 4 – Seuils de référence OMS 2021

III. Description du site

Le site de construction se situe dans une zone résidentielle, à proximité de routes départementales ainsi que de zones commerciales comme le détaille la Figure III-1. La qualité de l'air est représentative d'un site urbain.

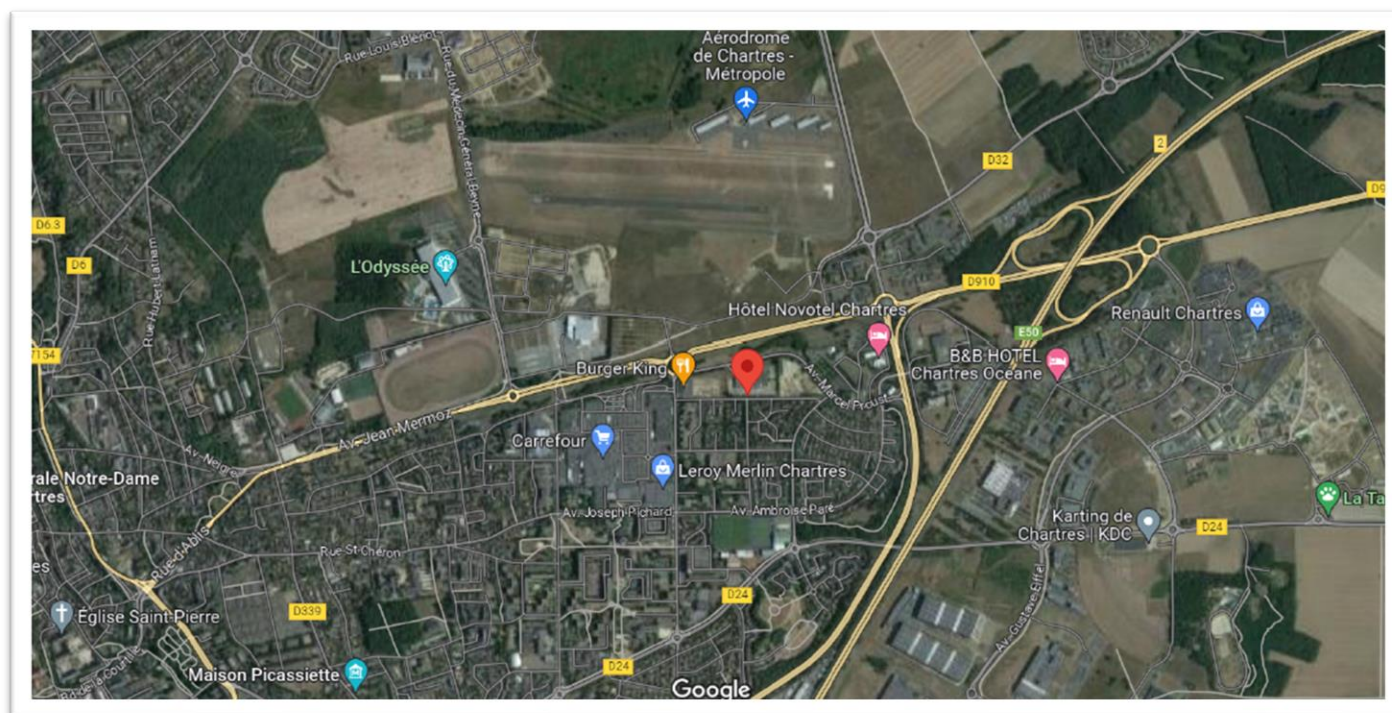


FIGURE 1 – Localisation du site

Les données de pollution extérieure utilisées pour les simulations sont celles de l'année 2018. Elles proviennent d'interpolations faites à partir de mesures de stations de prélèvements situées à proximité du site. Celles-ci comprennent des mesures de concentration en ozone, dioxyde d'azote, particules fines PM2.5 et PM10 sur un pas de temps horaire.

1. Dioxyde d'azote

La concentration moyenne annuelle extérieure de dioxyde d'azote (NO₂) est de 9 µg/m³ (Figure 2-a) et ne dépasse pas la valeur limite réglementaire en France de 40 µg/m³. Pour ce qui est de la concentration moyenne annuelle extérieure d'ozone (O₃), elle est de 58 µg/m³ (Figure 2-b).

Cette concentration est bonne en comparaison à l'objectif qualité qui vise 120 µg/m³. Au cours de l'année 2018, cet objectif n'a été dépassé que durant 11 jours en cumulé, avec des valeurs atteignant les 190 µg/m³. En revanche, pour le dioxyde d'azote, très peu de dépassements sont constatés. Cela correspond à environ 1 jour de dépassement en cumulé sur l'année 2018, avec des valeurs atteignant les 50 µg/m³.

Ainsi, la pollution à l'ozone et au dioxyde d'azote est relativement modérée.

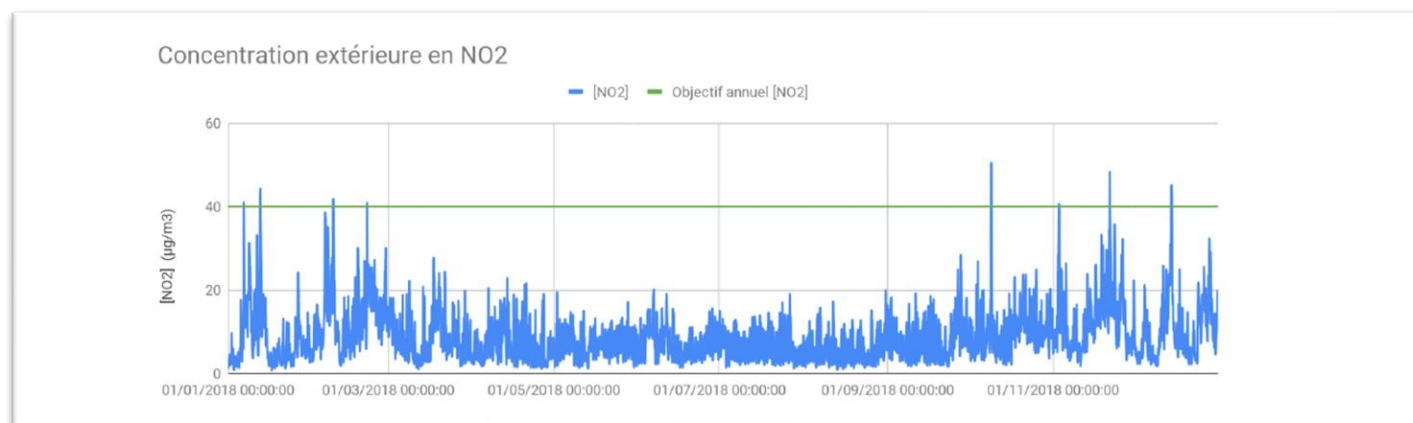


FIGURE 2-a – Concentration annuelle en NO2 autour du site de construction (courbe bleue) et Valeur limite réglementaire (courbe verte)

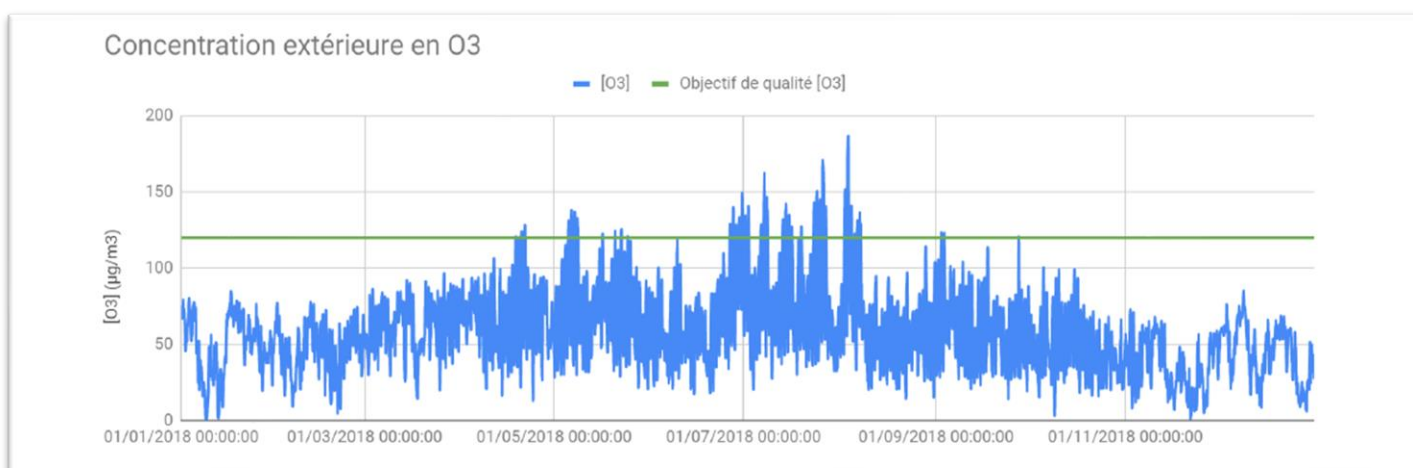


FIGURE 2-b – Concentration annuelle en O3 autour du site de construction (courbe bleue) et Objectif de qualité (courbe verte)

3. Particules fines PM2.5 et PM10

Les concentrations moyennes annuelles extérieures en PM2.5 et PM10 sont respectivement de 11 et 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 3-a et 3-b).

Ces concentrations moyennes annuelles se situent donc en dessous des valeurs limites annuelles qui sont de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5 et 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 (II-2-b).

Cependant, on observe régulièrement au cours de l'année 2018 des dépassements de ces seuils. Ainsi, en cumulé, l'objectif des PM2.5 de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassé 18 jours, majoritairement pendant les périodes froides.

Ce total est assez élevé, avec des pics proches de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La pollution aux particules fines est ainsi modérée.

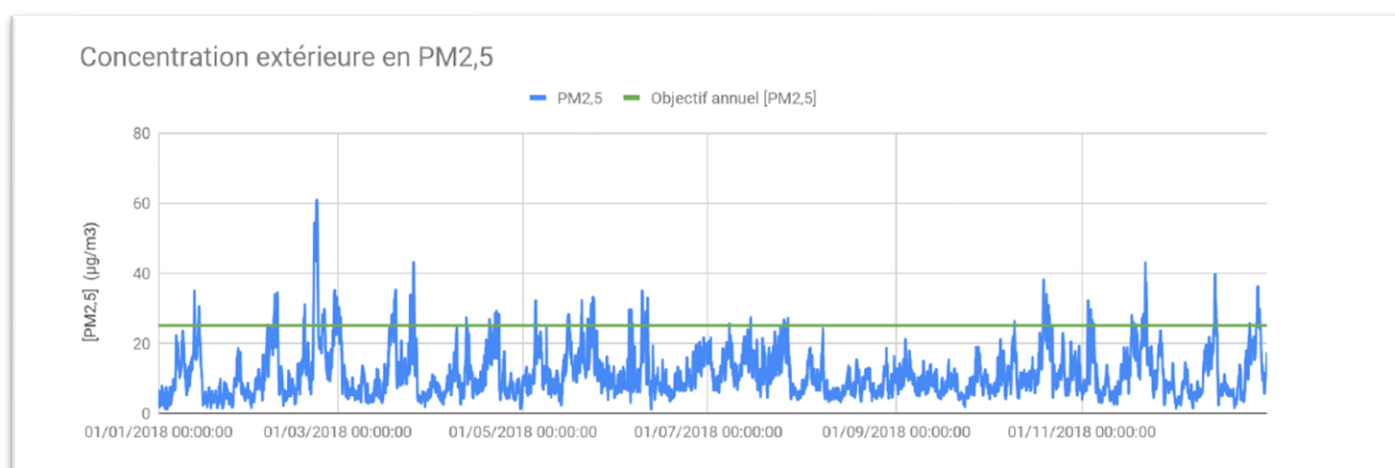


FIGURE 3-a – Concentration annuelle en PM2.5 autour du site de construction (courbe bleue) et Valeur limite réglementaire (courbe verte)

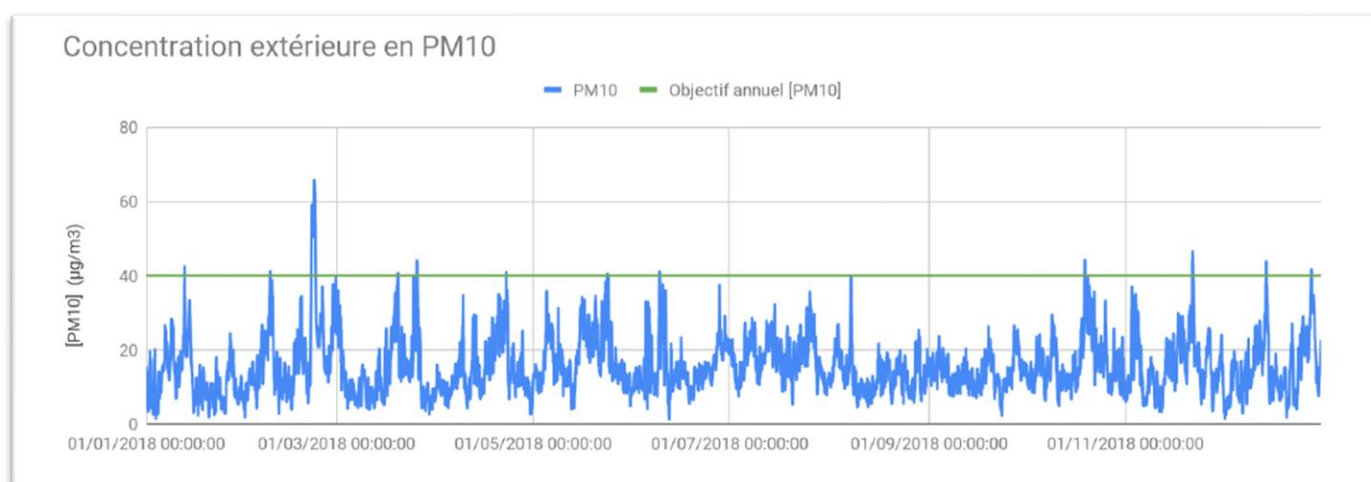


FIGURE 3-b – Concentration annuelle en PM10 autour du site de construction (courbe bleue) et Valeur limite réglementaire (courbe verte)

IV. Descriptif des paramètres de simulation

L'étude a été réalisée à l'aide du logiciel INDALO v3.40, développé par Octopus Lab, utilisant le moteur de calcul INCA-Indoor © et intégré à Autodesk Revit pour l'usage en BIM.



Le bâtiment étudié comprend cinq niveaux, regroupant au total 33 appartements. Pour cette étude, nous avons choisi de considérer cinq appartements correspondant à chacun des types présents dans le bâtiment. A savoir T2, T3, T3 BIS, T4 et T5.

Ainsi, nous avons modélisé le niveau RDC, où 5 types d'appartements étaient représentés (T2, T2 BIS, T3, T3BIS et T5), ainsi que le niveau R+1 4 types d'appartements sont représentés (T3, T3 BIS, T4 BIS, T5). De cette façon, l'ensemble des types de logements a été pris en compte.

Les logements modélisés pour l'étude sont représentés sur la Figure 4. Les pièces en dehors du périmètre de l'étude ou non utiles pour celle-ci n'ont pas été modélisées. Seules les pièces directement accolées aux logements étudiés ont été dessinées pour différencier les murs non soumis au vent.



FIGURE 4 – Maquette revisitée pour l'étude

Les paramètres utilisés lors des simulations sont répertoriés ci-après.

1. Choix des matériaux de simulation

a. Matériaux de construction

Pour prendre en compte les émissions potentielles de polluants par les matériaux de construction, ceux-ci ont été choisis dans la base de données d'INDALO. Ce sont des matériaux pour lesquels on dispose de données d'émissions de polluants fiables, obtenues via des mesures en laboratoire. Cependant, dans le cas de notre étude, nous ne prenons pas en compte les polluants issus des matériaux et du mobilier des logements. De ce fait, aucun matériau n'a été renseigné dans le scénario de ventilation.

2. Occupation

L'occupation est modélisée dans INDALO en nombre de personnes par pièce au cours du temps, et permet de simuler les niveaux de CO₂ et d'humidité relative. Ceci permet de réaliser une première évaluation de la capacité du système de ventilation à gérer les niveaux d'un polluant émis à l'intérieur comme le CO₂. Pour cette étude, une occupation classique de logement a été prise en compte.

Cependant dans le cadre de cette étude, les résultats obtenus pour le dioxyde de carbone ne seront pas analysés.

3. Fonctionnement du système de ventilation

Le système de ventilation principal des logements est décrit dans le CCTP LOT 11 CVC. Il s'agit d'un système de ventilation simple flux hygro B.

Les équipements de ventilation hygroréglables se déclenchent en fonction des niveaux d'humidité relative au sein des pièces :

- En dessous d'un seuil minimal, leur débit de ventilation est régulé à un niveau minimal
- Au-dessus d'un seuil maximal, leur débit est régulé à un niveau maximal
- Entre les 2 seuils, le débit varie linéairement entre les valeurs de débit minimales et maximales

Les caractéristiques des différents composants et les pièces dans lesquelles ils sont situés sont résumés dans le Tableau 5.

Type de logement	Extractions (seuils d'humidité relative et débits de fonctionnement)					Entrée d'air (seuils et débit de fonctionnement)	
	Cuisine	SDB avec WC	SDB seule	WC seul	Cellier	Séjour	Par chambre
T2	C32 50-90 % 10-50 m³/h	BW 31 45-85 % 5-45 m³/h	B31 45-85 % 5-45 m³/h	W13 - 5 m³/h	B31 45-85 % 5-45 m³/h	1 EH 6-45	1 EH 6-45
T3	C33 42-82 % 10-50 m³/h	BW32 28-68 % 10-50 m³/h	B32 36-76 % 5-45 m³/h				
T3bis	C33 42-82 % 10-50 m³/h	BW32 28-68 % 10-50 m³/h	B32 36-76 % 5-45 m³/h				
T4	C34 41-81 % 10-50 m³/h	BW32 28-68 % 10-50 m³/h	B32 36-76 % 5-45 m³/h				
T5	C35 45-85 % 15-55 m³/h	B33 30-70 % 10-50 m³/h					

TABLEAU 5 – Caractéristiques du système de ventilation simple flux

Pour le scénario avec système simple flux, la ventilation a été supposée active à 100% tout au long du temps. Aucun filtre à particules au niveau des entrées d'air du système n'a été donné, de ce fait, nous ne considérons aucune présence de filtre à particules.

4. Etanchéité des parois

L'étanchéité des parois du bâtiment donnant sur l'extérieur se base sur les niveaux de perméabilité de la norme RT 2012. Les portes et les fenêtres sont supposées être constamment fermées.

5. Scénarios de simulation

Les simulations sont réalisées sur une période d'une semaine pour correspondre à une semaine type. Pour cette étude, deux semaines ont été choisies afin de réaliser les simulations.

Tout d'abord, la semaine du 5 février au 11 décembre 2018 durant laquelle les niveaux d'humidité relative et de pollutions extérieures en particules fines correspondent aux niveaux moyens en hiver.

Une autre simulation a été réalisée durant la semaine du 16 au 22 juin 2018 pour avoir un aperçu de l'état de fonctionnement de la ventilation hygroréglable lorsque l'air extérieur est le plus chargé en eau, et donc que la ventilation a le plus de chance de s'activer à cause de l'humidité qui pénètre au sein du logement.

Cette semaine correspond à un niveau moyen en été, où la pollution en ozone est également plus importante que l'hiver.

En résumé des paragraphes précédents, deux scénarios de simulation ont été proposés et seront différenciés par la suite :

- **scénario 1** : système de ventilation simple flux durant la période de pollution extérieure moyenne - semaine Hiver
- **scénario 2** : système de ventilation simple flux durant la période de pollution extérieure moyenne - semaine Été

IV. Résultats

L'analyse des résultats a été concentrée dans les appartements suivants suivantes :

- Appartement T2 (séjour, chambre, salle de bain, WC)
- Appartement T3 (séjour, chambre, salle de bain, WC)
- Appartement T3 BIS (séjour, chambre, salle de bain, WC)
- Appartement T4 BIS (séjour, chambre, salle de bain, WC)
- Appartement T5 (séjour, chambre, salle de bain, WC)

Ces pièces sont les pièces d'occupation dans lesquelles les usagers sont le plus soumis à la pollution intérieure et qui méritent donc le plus d'être étudiées.

Les niveaux de polluants extérieurs (particules fines de diamètre inférieur à 2.5µm et 10µm, ozone et dioxyde d'azote) ont été étudiés dans ces mêmes pièces.

Les polluants présents à l'extérieur peuvent être amenés à l'intérieur via la ventilation ou par infiltration. Un compromis peut parfois être nécessaire entre évacuer des polluants émis à l'intérieur du bâtiment, et faire rentrer des polluants extérieurs. Il est donc intéressant de s'intéresser aux niveaux de certains de ces polluants à l'intérieur du bâtiment, et également de les comparer à leur niveau extérieur.

a. Dioxyde d'azote

Les niveaux en dioxyde d'azote lors des deux semaines de simulations sont présentés sur la Figure 5. Pour le scénario 1 hiver, les concentrations sont plus élevées et des pics allant jusqu'à 40 µg/m³ sont observés en extérieur.

Pour la semaine du scénario 2 été, les pics sont beaucoup plus faibles et n'excèdent pas les 10 µg/m³.

Pour ces deux scénarios saisonniers moyens, les concentrations en NO₂ restent en dessous du seuil de 40 µg/m³.

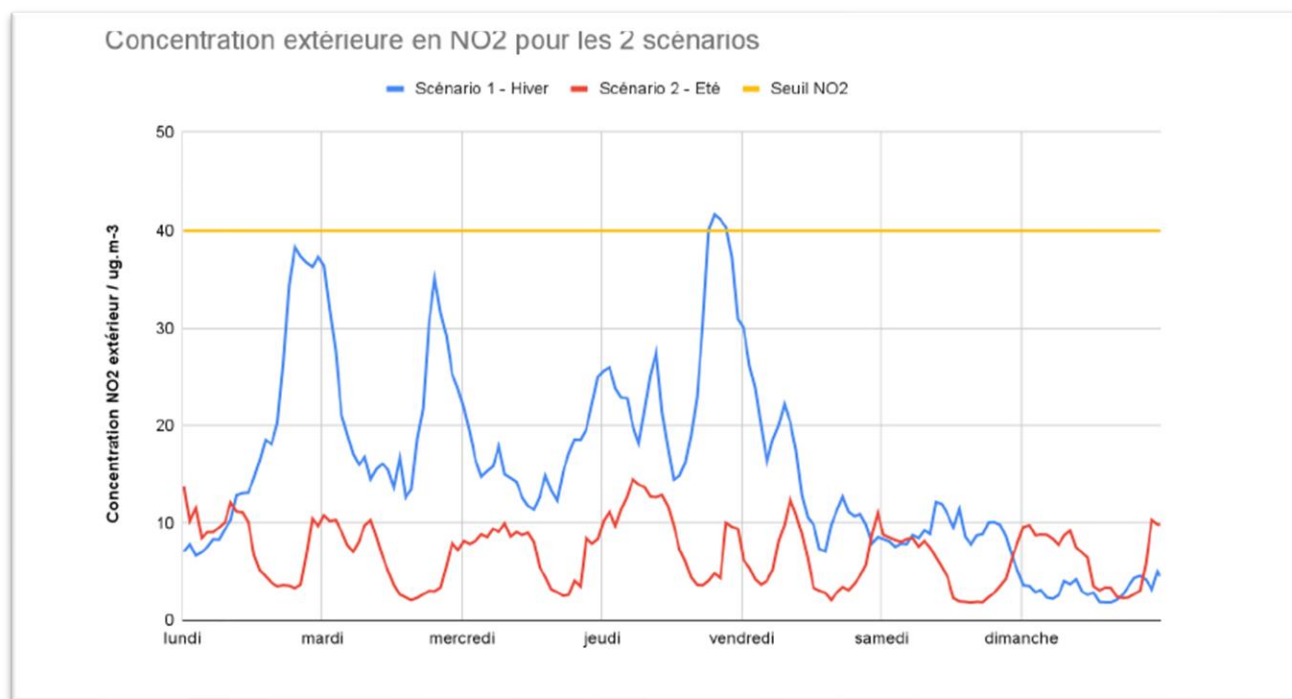


FIGURE 5 – Concentration extérieure en NO₂ sur les deux semaines de simulation

Pièce	Réduction du dioxyde d'azote à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%) en Hiver				
Scénarios	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Pièces					
Séjour	82,2	91,5	99,8	91,9	91
Chambre	92	92	92,4	91,7	95,5
Bureau	-	-	88,8	90,9	-

TABLEAU 6 – Moyenne de la réduction de NO₂ à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au sein des pièces durant le scénario 1 (Hiver)

Pièce	Réduction du dioxyde d'azote à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%) en été				
Scénarios	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Pièces					
Séjour	58,1	78,6	74,3	79,0	76,0
Chambre	81,4	76,7	75,2	75,6	73,8
Bureau	-	-	68,2	70,9	-

TABLEAU 7 – Moyenne de la réduction de NO₂ à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au sein des pièces durant le scénario 2 (Été)

Les résultats permettent d'estimer la part de NO₂ qui résiderait au sein des pièces par rapport aux niveaux extérieurs au cours de l'année. L'apport provient uniquement du système de ventilation et des infiltrations depuis l'extérieur et ne prend pas en compte les éventuelles actions des occupants (ouvertures de fenêtres, portes, etc...)

De façon générale, une forte réduction du dioxyde d'azote en intérieur par rapport à l'extérieur est constatée pour les deux scénarios.

En été, nous observons une réduction moins importante du NO₂ en intérieur en été. Cela est dû à une humidité relative plus importante en été, par rapport à l'hiver, ce qui a pour conséquence d'augmenter le renouvellement d'air et les débits au sein de pièces en raison du système de ventilation hygro B.

De ce fait, il y a plus de polluants provenant de l'extérieur, qui se retrouvent en intérieur.

Cependant, les niveaux de réductions restent toutefois élevés avec plus de 70% de réduction de la pollution par rapport à l'extérieur. A noter que la pollution en NO₂ est plus faible en été qu'en hiver, donc même avec une réduction moindre, les concentrations en intérieur restent très faibles.

Le niveau extérieur en NO₂ est assez bas en moyenne et très peu de dépassements des seuils sont constatés.

Ainsi, avec la réduction de la concentration en intérieur, les occupants des logements seront très faiblement exposés au dioxyde d'azote avec le système de ventilation hygro B.

De plus, les résultats sont assez similaires pour toutes les typologies de logements, avec toutefois une réduction un peu plus faible sur le T2.

b. Ozone

Les niveaux en ozone lors des deux semaines de simulations sont présentés sur la Figure 6. Pour le scénario 1 hiver, les concentrations sont basses et ne dépassent pas les 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en extérieur.

Pour la semaine du scénario 2 été, les pics sont beaucoup plus importants, à cause de l'ensoleillement plus fort comparé à l'hiver et les concentrations peuvent dépasser ponctuellement les 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour ces deux scénarios saisonniers moyens, les concentrations en O₃ restent cependant bons, et majoritairement très en dessous du seuil de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

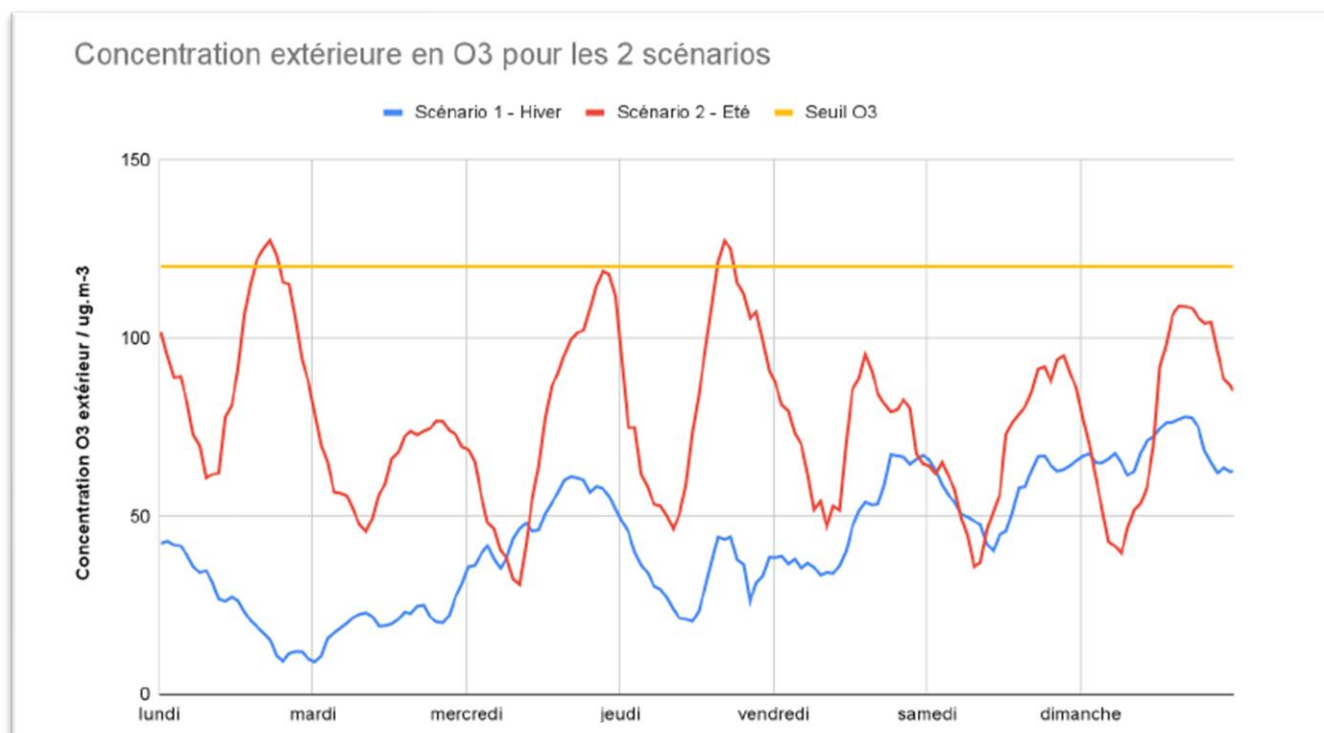


FIGURE 6 – Concentration extérieure en O₃ sur les deux semaines de simulation

La diminution de la concentration en ozone à l'intérieur des pièces par rapport à la concentration extérieure a été analysée pour les deux scénarios, et une moyenne des résultats est présentée dans les Tableaux ci-dessous.

Plus la valeur est élevée, moins le polluant sera présent au sein des logements :

Pièce	Réduction d'ozone à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%) en Hiver				
Scénarios	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Pièces					
Séjour	89,5	94,8	93,7	94,6	97,0
Chambre	95,7	95,2	95,4	95,0	94,5
Bureau	-	-	93,2	94,4	-

TABLEAU 8 – Moyenne de la réduction de O3 à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au sein des pièces durant le scénario 1 (Hiver)

Pièce	Réduction d'ozone à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%) en été				
Scénarios	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Pièces					
Séjour	72,1	86,2	83,2	86,6	84,1
Chambre	89,1	84,9	83,9	84,1	82,9
Bureau	-	-	78,7	80,7	-

TABLEAU 9 – Moyenne de la réduction de O3 à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au sein des pièces durant le scénario 2 (Eté)

Les résultats permettent d'estimer la part de O3 qui résiderait au sein des pièces par rapport aux niveaux extérieurs au cours de l'année. L'apport provient uniquement du système de ventilation et des infiltrations depuis l'extérieur et ne prend pas en compte les éventuelles actions des occupants (ouvertures de fenêtres, portes, etc...)

De façon générale, une forte réduction de l'ozone en intérieur par rapport à l'extérieur est constatée pour les deux scénarios.

En été, nous observons une réduction légèrement moins importante de l'O3 en intérieur en été. Cela est dû à une humidité relative plus importante en été, par rapport à l'hiver, ce qui a pour conséquence d'augmenter le renouvellement d'air et les débits au sein de pièces en raison du système de ventilation hygro B. De ce fait, il y a plus de polluants provenant de l'extérieur, qui se retrouvent en intérieur.

Cependant, les niveaux de réductions restent toutefois élevés avec plus de 80% de réduction de la pollution par rapport à l'extérieur. Même en cas de pics de pollution à l'O3 en extérieur, la réduction de ce polluant est telle que les occupants ne seraient que très faiblement exposés en intérieur, avec le système de ventilation proposé pour les différents logements.

Là encore, les résultats sont équivalents pour les logements du T3 au T5. Le T2 étudié présente des résultats une réduction de la pollution à l'ozone légèrement plus faible que les autres logements, tout en restant excellent. Cela est dû à la différence d'équipement sur ce logement par rapport aux autres.

c. Particules fines <2,5µm

Les niveaux en PM2.5 lors des deux semaines de simulations sont présentées sur la Figure 7. Pour le scénario 1 hiver, des pics allant jusqu'à 35 µg/m³ sont observés en extérieur.

Pour la semaine du scénario 2 été, les pics n'excèdent pas les 20 µg/m³. De cette façon, en hiver, des pics au-dessus du seuil de 25 µg/m³ peuvent être observés ponctuellement.

Le Tableau 10 ci-dessous montre en moyenne sur les deux semaines de simulation le pourcentage de réduction de la concentration en particules fines PM2,5 à l'intérieur des pièces par rapport à la concentration extérieure. Plus la valeur est élevée, et plus la concentration en particules fines à l'intérieur des pièces sera faible.

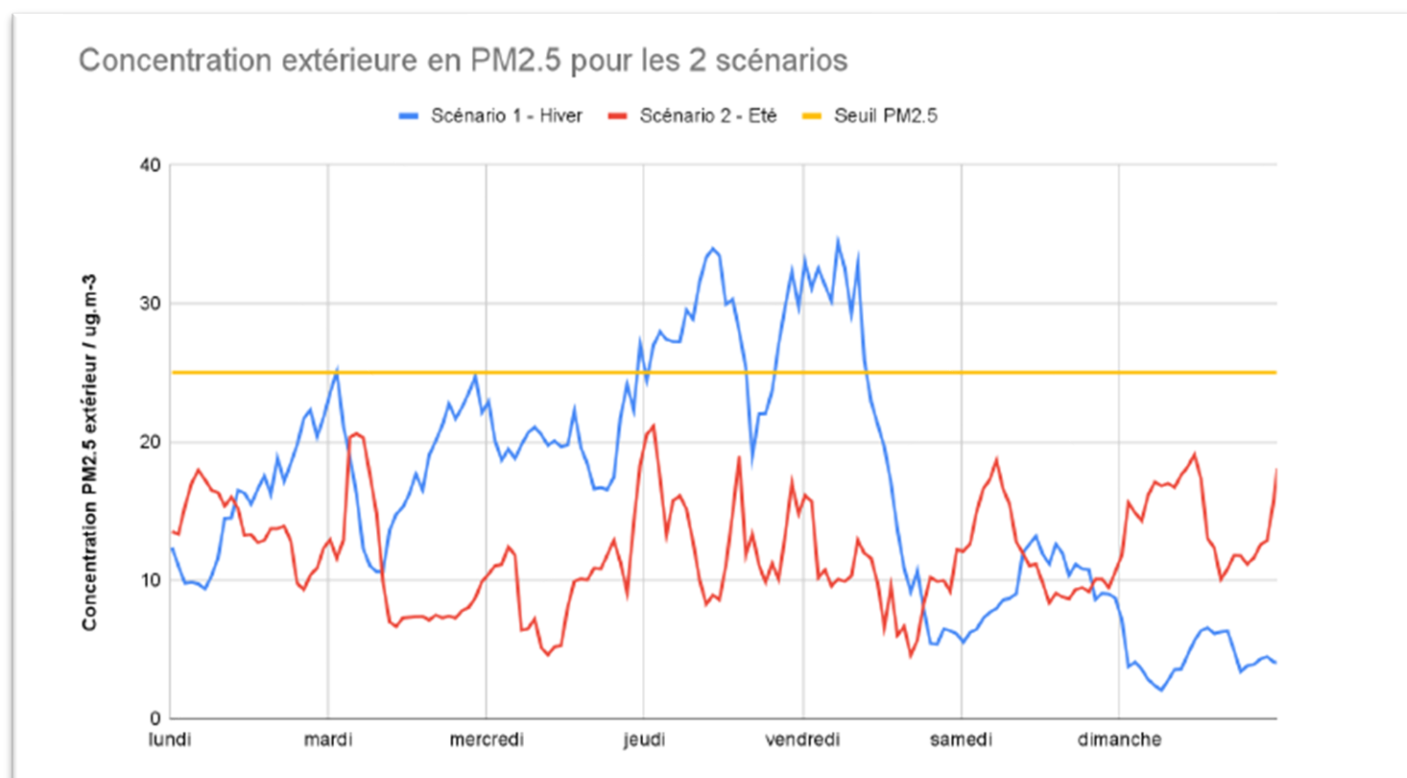


FIGURE 7 – Concentration extérieure en PM2.5 sur les deux semaines de simulation

Scénarios	1 - Hiver				
	Réduction de PM _{2,5} à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%)				
Type d'appartement	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Chambre	24,7	16,4	17,1	15,4	15,7
Séjour	20,4	14,1	19,9	21,1	11,7
Bureau	-	-	15,1	19,5	-
Scénarios	2 - Eté				
Type d'appartement	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Chambre	15,1	6,8	6,9	8,0	7,2
Séjour	11,5	10,0	9,8	9,5	10,8
Bureau	-	-	6,2	6,5	-

TABLEAU 10 – Moyenne de la réduction de PM_{2.5} à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au Sein des pièces durant le scénario 1 et 2 (Hiver et Eté)

De façon générale, la diminution de la concentration en PM_{2.5} en intérieur par rapport à l'extérieur est faible pour les deux scénarios. En effet, moins de 25% des PM_{2.5} sont filtrés en hiver. En été, c'est le cas pour moins de 10%. La différence est due là encore à la différence d'humidité relative entre l'hiver et l'été. En été, l'humidité est plus importante et du coup, le renouvellement de l'air est plus important. De ce fait, il y a plus de polluants qui pénètrent au sein des logements.

Avec le système de ventilation prévu, à savoir des entrées d'air et de l'extraction uniquement, les PM_{2.5} de l'extérieur se retrouvent quasiment en intégralité à l'intérieur.

Ainsi, en cas de pollution importante en extérieur, comme lors du scénario 1, des concentrations similaires seront présentes au sein des différents logements.

d. Particules fines <10µm

Les niveaux en PM₁₀ lors des deux semaines de simulations sont présentés sur la Figure 8. Pour le scénario 1 hiver, des pics allant jusqu'à 40 µg/m³ sont observés en extérieur. Pour la semaine du scénario 2 été, les pics n'excèdent pas les 30 µg/m³.

De cette façon, en hiver, de très légers dépassements du seuil de 40 µg/m³ peuvent être observés ponctuellement.

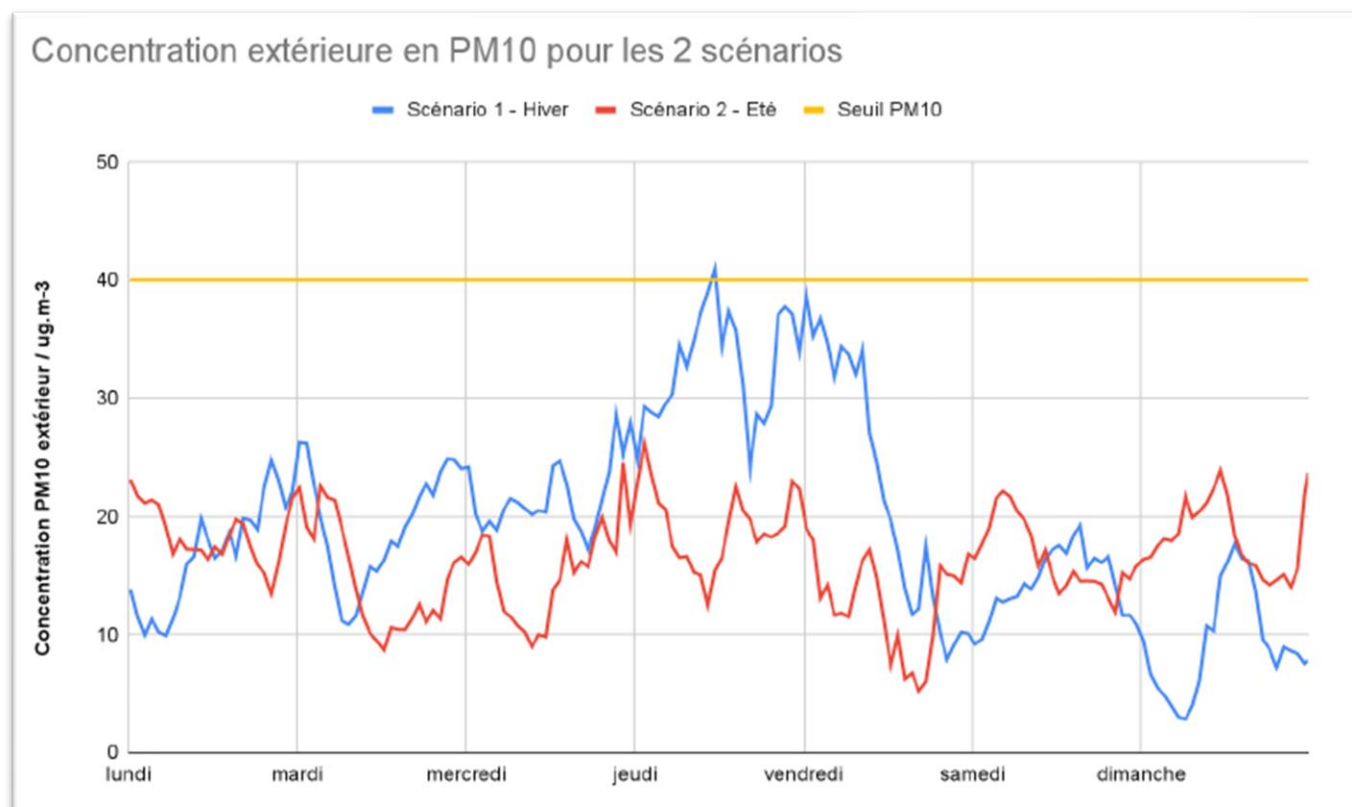


FIGURE 8 – Concentration extérieure en PM10 sur les deux semaines de simulation

Le Tableau 9 ci-dessous montre en moyenne sur la semaine le pourcentage de concentration en particules fines PM10 à l'intérieur des pièces par rapport à la concentration extérieure, pour les différents scénarios. Plus la valeur est élevée, et plus la concentration en particules fines à l'intérieur des pièces sera élevée.

Scénarios	1 - Hiver				
	Réduction de PM ₁₀ à l'intérieur par rapport à l'extérieur (%)				
Type d'appartement	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Chambre	37,0	28,6	29,5	27,8	27,1
Séjour	32,1	27,8	31,4	33,0	29,1
Bureau	-	-	26,0	30,4	-
Scénarios	2 - Eté				
Type d'appartement	T2	T3	T3 BIS	T4 BIS	T5
Chambre	32,3	20,6	20,4	21,5	10,0
Séjour	24,7	24,6	22,7	24,5	24,6
Bureau	-	-	17,1	18,2	-

TABLEAU 11 – Moyenne de la réduction de PM10 à l'intérieur par rapport à l'extérieur, et au Sein des pièces durant le scénario 1 et 2 (Hiver et Eté)

Comme pour les PM2.5, la diminution de la concentration en PM10 en intérieur par rapport à l'extérieur est assez faible pour les deux scénarios.

En effet, environ 30% des PM10 sont filtrés en hiver. En été, la réduction en particules fines est de l'ordre de 25%. Le renouvellement d'air plus important en été est également la cause de cette différence entre les deux scénarios.

Une réduction plus importante est observée pour les PM10 par rapport en PM2.5. Cela est dû au dépôt des PM10 plus important que pour les PM10 en raison de la taille de ces mêmes PM10.

Cependant, la part de réduction reste faible et les occupants peuvent être exposés aux particules fines en cas de forte pollution à l'extérieur. Cela dit, les niveaux moyens en particules fines sont assez peu élevés sur le site de construction des logements.

Pour améliorer la réduction des particules fines en intérieur, la présence de filtres sur les entrées d'air pourrait être recommandée. Grâce à ces filtres, les niveaux de particules fines en intérieur seront plus faibles qu'à l'extérieur.

V. Conclusions

1. Récapitulatif

Pour rappel, le contexte de simulation considérait 5 logements de types T2 à T5 au sein d'un des bâtiments du projet, équipé d'un système de ventilation hygro B, défini dans le CCTP.

Les simulations ont été réalisées lors de deux semaines différentes, l'une correspondant à une semaine où la pollution extérieure était au niveau de la moyenne sur une période hivernale, et l'autre à un cas où la pollution extérieure était au niveau de la moyenne sur une période estivale. Les 2 scénarios étudiés sont les suivants :

- **Scénario 1** : système de ventilation simple flux hygro B durant la période de pollution extérieure moyenne - semaine Hiver
- **Scénario 2** : système de ventilation simple flux hygro B durant la période de pollution extérieure moyenne - semaine Été

Pour le dioxyde d'azote et l'ozone, durant les deux semaines de simulation, le système de ventilation simple flux hygro B est très efficace.

En effet, une réduction importante de la concentration de ces deux polluants en intérieur par rapport à l'extérieur est constatée.

Pour le NO2 la réduction de la concentration en intérieur par rapport à l'extérieur se situe entre 70 et 90% en fonction des scénarios.

Pour l'ozone, la réduction est encore plus importante, entre 80 et 95%. Lors du scénario 2, en été, avec une humidité relative plus importante, le système de ventilation fonctionne à de plus hauts débits, entraînant ainsi une entrée plus importante des polluants en intérieur, depuis l'extérieur.

De manière générale, les niveaux extérieurs en NO2 et en O3 sont faibles en extérieur et étant donné la réduction de la concentration en intérieur, les occupants seront très peu exposés à ces deux polluants.

Pour les particules fines PM2.5 et PM10, la diminution de la concentration en intérieur est très faible par rapport à l'extérieur.

En effet, cette diminution se situe entre 5 et 25% pour les PM2.5 et entre 10 et 35% pour les PM10.

Autrement dit, la majorité des particules se trouvant à l'extérieur se retrouveront au sein des logements. Cela est d'autant plus vrai en été, lorsque les débits d'air sont plus importants et laissent ainsi passer plus de particules fines. Dans le cas du projet, cela ne semble pas réellement poser de problème car les niveaux en particules fines extérieurs sont assez faibles et en-dessous des seuils.

Cependant, en cas de forts pics extérieurs, les occupants seront fortement exposés à ces polluants. Le système de ventilation hygro B est ainsi limité face à ce type de pollution lors d'épisodes de pollution.

A noter qu'un résumé des concentrations obtenues et moyennées sur les deux semaines de simulation, pour chacun des types de logement et comparés aux recommandations de l'OMS sont disponibles en Annexes.

Ces résultats permettent de montrer que les valeurs brutes sont plutôt bonnes durant des semaines moyennes d'hiver et d'été.

2. Recommandations

Dans des conditions de pollution extérieure moyenne, en hiver et en été, le système de ventilation permet d'obtenir des concentrations en NO₂ et en O₃ satisfaisantes.

Cependant, les résultats obtenus démontrent une efficacité assez faible vis à vis des particules fines PM_{2.5} et PM₁₀. Cela est valable pour toutes les typologies de logements (de T2 à T5). Pour pallier cela, il serait intéressant d'équiper les entrées d'air des différentes pièces de filtre à particules (type F7).

L'ajout de ces équipements permettrait d'obtenir une meilleure filtration des particules et ainsi réduire la part à l'intérieur, par rapport à l'extérieur. Ce type d'équipement est plus onéreux qu'une entrée d'air "classique" sans filtre mais permettrait aux occupants d'être moins exposés aux particules fines.

Il est important de noter que l'efficacité du système de ventilation dépend également de l'entretien régulier des filtres. Les filtres doivent être vérifiés et remplacés selon les recommandations du fabricant afin de maintenir leur performance optimale.

VI. Annexes

Scénario	1	2	
Polluant (µg/m ³)	Séjour T2		OMS 2021
PM _{2,5}	12,9	10,6	<15 µg/m ³
PM ₁₀	13,4	12,3	< 45µg/m ³
O ₃	4,8	21,7	<100 µg/m ³
NO ₂	2,7	2,8	< 25µg/m ³
Polluant (µg/m ³)	Chambre T2		OMS 2021
PM _{2,5}	11,7	10,0	<15 µg/m ³
PM ₁₀	12,0	10,9	< 45µg/m ³
O ₃	2,3	8,3	< 25µg/m ³
NO ₂	1,0	1,2	< 40µg/m ³

TABEAU 11 – Récapitulatif des résultats moyennés pour le T2 pour les quatre scénarios de simulations

Scénario	1	2	
Polluant (µg/m³)	Séjour T3		OMS 2021
PM _{2,5}	12,9	11,0	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,4	12,1	< 45µg/m³
O ₃	2,2	10,6	<100 µg/m³
NO ₂	1,4	1,4	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Chambre 1 T3		OMS 2021
PM _{2,5}	12,7	10,5	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,4	12,8	< 45µg/m³
O ₃	2,5	11,5	<100 µg/m³
NO ₂	1,0	1,6	< 25µg/m³

TABEAU 12 – Récapitulatif des résultats moyennés pour le T3 pour les quatre scénarios de simulations

Scénario	1	2	
Polluant (µg/m³)	Séjour T3 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	12,3	10,6	<15 µg/m³
PM ₁₀	12,9	12,5	< 45µg/m³
O ₃	3,1	12,9	<100 µg/m³
NO ₂	1,4	1,7	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Chambre T3 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	12,5	11,0	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,2	12,9	< 45µg/m³
O ₃	2,4	12,3	<100 µg/m³
NO ₂	0,9	1,7	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Bureau T3 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	13,2	11,1	<15 µg/m³
PM ₁₀	14,1	13,5	< 45µg/m³
O ₃	3,4	16,2	<100 µg/m³
NO ₂	1,5	2,2	< 25µg/m³

TABLEAU 13 – Récapitulatif des résultats moyennés pour le T3bis pour les quatre scénarios de simulations

Scénario	1	2	
Polluant (µg/m³)	Séjour T4 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	11,8	10,6	<15 µg/m³
PM ₁₀	12,4	12,1	< 45µg/m³
O ₃	2,8	10,3	<100 µg/m³
NO ₂	1,0	1,4	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Chambre 1 T4 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	12,8	10,8	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,5	12,7	< 45µg/m³
O ₃	2,5	12,1	<100 µg/m³
NO ₂	1,1	1,6	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Bureau T4 BIS		OMS 2021
PM _{2,5}	12,2	11,1	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,0	13,3	< 45µg/m³
O ₃	3,0	14,6	<100 µg/m³
NO ₂	1,0	2,0	< 25µg/m³

TABEAU 14 – Récapitulatif des résultats moyennés pour le T4 bis pour les quatre scénarios de simulations

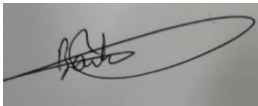

Scénario	1	2	
Polluant (µg/m³)	Séjour T5		OMS 2021
PM _{2,5}	12,7	10,5	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,2	12,2	< 45µg/m³
O ₃	2,4	12,2	<100 µg/m³
NO ₂	1,4	1,6	< 25µg/m³
Polluant (µg/m³)	Chambre T5		OMS 2021
PM _{2,5}	12,8	11,0	<15 µg/m³
PM ₁₀	13,2	13,0	< 45µg/m³
O ₃	1,2	13,0	<100 µg/m³
NO ₂	0,8	1,8	< 25µg/m³

TABLEAU 15 – Récapitulatif des résultats moyennés pour le T5 pour les quatre scénarios de simulations

VII. Mentions et signatures

La société Airtcontrole certifie :

- n'avoir aucun intérêt présent ou futur dans ladite propriété ;
- n'avoir omis ou négligé volontairement aucun fait important se rapportant à la présente mission.

OCTOPUS LAB		
Instigateur :	Rédacteur :	Vérificateur :
Jebran MORADI	Fairouz BOUKHATEB	Céline FANG

Ce présent document comporte 34 pages. Il atteste de la méthodologie de prélèvement et des résultats d'analyses relevés par nos laboratoires partenaires. Cette intervention a, au préalable été validée conjointement par le client et le bureau d'étude. Ce rapport d'investigation est le reflet des observations et analyses réalisés, dans le cadre de la mission, aux dates et heures de passage de l'intervenant convenues avec le client.