



Caractérisation de la qualité de l'air intérieur d'une menuiserie et d'un logement attenant.

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles à tous sous licence libre «**ODbL v1.0**».
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur et les guides méthodologiques nationaux.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.
- Rapport non rediffusé en cas de modification ultérieure des données.

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : *Agnès BERTRAND, Chargée études.*

Relecture : *Christelle SCHNEIDER, Ingénieure d'études.*

Approbation : *Bérénice JENNESSON, Responsable de l'Unité Surveillance et Etudes Réglementaires.*

Référence du modèle de rapport : PROJ-FE-017_3 (basé sur COM-FE-001_6)

Référence du projet : MSP-00636

Référence du rapport : SURV-EN-593_1

Date de publication : 10/11/2021

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	4
INTRODUCTION	6
1. DESCRIPTIF DES BATIMENTS.....	7
1.1. ETAT DES LIEUX DU CNIDEP ET SELECTION DES MENUISERIES.....	7
1.2. CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS ET ACTIVITES REALISEES.....	9
2. DESCRIPTION DES CAMPAGNES DE MESURE	11
2.1. PRODUITS UTILISES.....	11
2.2. PARAMETRES SUIVIS.....	13
2.3. TECHNIQUES DE MESURE.....	13
2.3.1. Température et humidité relative	13
2.3.2. Tubes à diffusion passive.....	14
2.3.3. Les microvois.....	15
2.3.4. Le NEMO	15
2.3.5. La balise Fireflie.....	15
2.3.6. Le pDR-1500	16
2.4. SITES ET STRATEGIE D'ECHANTILLONAGE.....	18
3. STRATEGIE DE COMPARAISON	23
3.1. VALEURS DE REFERENCE LONG TERME	23
3.1.1. Les paramètres de confort.....	23
3.1.2. Le dioxyde de carbone.....	23
3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde.....	23
3.1.4. Les autres composés organiques volatils	25
3.1.5. Les PM2,5	27
3.2. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLES	28
3.3. DONNEES COMPARATIVES.....	29

3.4.	TRANSFERT DE POLLUTION	29
4.	RESULTATS	30
4.1.	PARAMETRES DE CONFORT ET DE CONFINEMENT	30
4.1.1.	4.1.1 Température et humidité relative :	30
4.2.	LE BENZENE ET LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS	32
4.3.	LE FORMALDEHYDE ET LES ALDEHYDES.....	40
4.4.	LES PM2,5	43
5.	CONCLUSION.....	45
6.	ANNEXES.....	48

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'action 7.4 du projet de Plan Régional Santé Environnement (PRSE 3) « Evaluer la qualité de l'air intérieur chez les riverains d'activités artisanales et promouvoir les solutions de remédiation », et en partenariat avec le CNIDEP (service de la Chambre de Métiers et de l'Artisanat de Meurthe-Moselle dédié à l'environnement) une étude de la qualité de l'air a été effectuée dans une menuiserie. L'objectif est de déterminer les niveaux pouvant être rencontrés dans les espaces d'occupation attenants (habitation et bureaux) et la présence d'un éventuel transfert de pollution provenant des ateliers vers ces espaces. Un second objectif consiste à déterminer si l'emploi de produits moins émissifs en seconde période de mesure a pu permettre une amélioration de la qualité de l'air.

Deux campagnes de mesures ont été effectuées aux dates suivantes :

- Du 12/04/2021 au 16/04/2021, correspondant à l'état des lieux, dite phase 1 avant substitution.
- Du 05/07/2021 au 09/07/2021, correspondant à la phase 2 pendant substitution.

Pour cette étude, 5 sites ont été instrumentés ; deux dans l'atelier (atelier 1 et 2), un dans un bureau pouvant accueillir du public (bureau 1), deux dans la partie habitat (habitation 1 (sas d'accès) et habitation 2 (bureau)). Le cœur de l'habitation (pièce de vie, chambre...) n'a pas été instrumenté à la demande du propriétaire, le transfert des polluants vers ce lieu de vie n'a donc pas pu être déterminé.

L'activité de la menuiserie consiste à effectuer l'assemblage et la finition des ouvrages en bois massif, ou matériaux dérivés du bois et d'appliquer du mastic, du vernis, de la peinture ou de la laque sur la pièce, de poser de la colle sur des revêtements (chants), sur des panneaux dérivés du bois, de poncer voire de décaper. Dans son activité, la menuiserie peut utiliser des produits (nettoyant ustensile, vernis, vitrificateur, diluant, durcisseur, colle néoprène...), dont certains sont solvantés et d'autres diluables à l'eau (hydrodiluable). Selon les informations récoltées, lors de la première phase (avril 2021), une peinture en phase aqueuse pour extérieur ainsi qu'une colle néoprène ont été appliquées. Lors de la seconde phase (juillet 2021), un nettoyant (eco-solvant) pour ustensiles ainsi qu'une peinture de finition microporeuse hydrodiluable ont été utilisés.

En ce qui concerne les résultats obtenus pour les paramètres de confort, des températures et des taux d'humidité faibles en phase 1 (avril) et plus élevés en phase 2 (juillet) sont observés dans les différents espaces. Ces éléments peuvent engendrer des sensations d'inconfort et de sécheresse de l'air.

L'atelier et le bureau installé dans la partie habitation présentent des niveaux faibles de CO₂ (dioxyde de carbone) plus importants en phase 1, témoignant d'un **renouvellement d'air insuffisant par rapport au nombre de personnes présentes**, alors qu'il est favorisé en phase 2 en raison de l'ouverture de la porte principale et des ouvrants.

Mise à part le toluène et l'acétone, globalement les niveaux sont plus importants lors de la première phase de mesure. Plusieurs composés organiques volatils essentiellement de la famille des esters (éthyl acétate, acétate de butyle), cétone (acétone) et hydrocarbures (cyclo-héxane, les xylènes, l'éthyl-benzène...) sont observés à des niveaux élevés dans l'atelier et dans une moindre mesure dans le sas de passage vers l'habitat. Ces différents composés sont générés en lien avec les activités de l'atelier ainsi que la présence de divers produits et peuvent faire l'objet de transfert vers les bureaux notamment lors de la seconde campagne de mesure par suite d'ouverture des portes communicantes. Une source propre au bureau est cependant relevée en lien avec la présence de mobilier en bois aggloméré.

Certains polluants mesurés tels que les **aldéhydes** (acétaldéhyde, propionaldéhyde, butyraldéhyde et valéraldéhyde), **isocyanates, les PM_{2,5} et quelques composés organiques volatils présentent des valeurs faibles** et conformes à ce qui est habituellement observé dans les bureaux.

Les données dynamiques obtenues pour les COV totaux, le formaldéhyde et les particules fines PM_{2,5} dans l'atelier 1 et la partie habitation 1 (sas de liaison) mettent en évidence des concentrations parfois importantes dans ces espaces surtout lors de la première campagne. Certains pics sont bien corrélés avec des activités de la menuiserie (application de peintures, balayage du sol) y compris en phase 2 dite de substitution des produits.

Par rapport à la réglementation, la concentration moyenne de benzène calculées sur les deux phases de mesure, présentée en annexe à titre indicatif, respecte dans les bureaux la valeur guide en air intérieur ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais dépasse celle fixée pour le formaldéhyde ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans le bureau 1 notamment. En revanche, les valeurs limites sont respectées ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène et $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde) sur les deux phases. La valeur guide indicative est dépassée pour le m-p xylène ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les valeurs obtenues dans les ateliers ne peuvent pas être directement comparées aux valeurs limites d'exposition qui doivent être mesurées sur 8 heures au niveau du poste de travail. A titre indicatif, les concentrations mesurées dans l'atelier restent cependant inférieures à ces valeurs.

Ces résultats mettent en évidence un impact des activités réalisées dans l'atelier sur la qualité de l'air intérieur des espaces « bureau » mais certaines teneurs de polluants peuvent également être influencées par la présence de mobilier à fort potentiel émissif. De ce fait, il est conseillé de mettre en place dans ces espaces une aération plus efficace.

Entre les deux phases de mesures, une amélioration de la qualité de l'air est bien constatée pour la majorité des composés mesurés. Cependant, celle-ci ne peut pas être entièrement attribué à l'emploi d'un produit de substitution moins chargé en COV, les conditions de renouvellement d'air des locaux semblent avoir été également un facteur de diminution des concentrations.

Au vu des résultats obtenus, il apparaît nécessaire de documenter les phénomènes de transfert de pollution pouvant être générés par les activités artisanales vers les lieux d'occupation. C'est pourquoi, il est proposé dans le cadre de l'action du PRSE, d'investiguer d'autres menuiseries présentant des configurations différentes ou d'autres types d'établissements (onglerie, imprimerie...).

INTRODUCTION

Dans son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2021 (PRSQA), ATMO Grand Est, association agréée pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique sur la Région Grand Est, décrit la mise en œuvre de la stratégie régionale de surveillance de la qualité de l'air intérieur.

Un des axes de cette stratégie vise notamment, pour l'air intérieur, à coupler l'évaluation des concentrations en air intérieur avec l'évaluation de l'origine des pollutions constatées. Le bâtiment, à travers sa conception (matériaux, isolation, renouvellement de l'air, système de ventilation, ameublement, services) peut en effet influencer notablement la qualité de l'air intérieur.

L'action 7.4 du plan régional santé environnement (PRSE) 3 « Evaluer la qualité de l'air intérieur chez les riverains d'activités artisanales et promouvoir les solutions de remédiation », a pour objectif à la fois de réduire le risque chimique dans l'artisanat et de rechercher des solutions pour réduire l'impact d'un éventuel transfert de pollution chez les riverains. En effet, de nombreux cas de nuisances olfactives et de pollutions riveraines ont été identifiés pour différentes types d'activités artisanales tels que les ongleries, les imprimeries, les pressings, les parfumeries, les garages et les menuiseries.... Pour cette étude, ATMO Grand Est, en partenariat avec le centre de ressources de la Chambre de Métiers et de l'Artisanat de Région Grand Est (CNIDEP), avec le soutien de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement) et dans le cadre du PRSE 3, a réalisé des campagnes de la qualité de l'air intérieur d'une menuiserie préalablement sélectionnée.

L'objectif de cette étude est d'améliorer les connaissances des acteurs sur les liens entre les activités effectuées dans la menuiserie et les polluants pouvant engendrer un impact au sein des populations riveraines. Il s'agit notamment de connaître les niveaux d'exposition du grand public en lien avec les activités et d'identifier les situations potentielles de transfert des pollutions. Un second objectif concerne l'évaluation de la mise en œuvre des solutions de remédiations proposées, qui consistent dans le cas de cette étude à substituer des produits habituellement employés par d'autres moins émissifs.

Pour ce faire, des mesures de la qualité de l'air devaient être effectuées au niveau de l'atelier, des bureaux attenants et de l'habitation afin d'évaluer le transfert entre l'espace de l'activité et les zones d'occupation. En réalité, la partie habitation proprement dite (pièces de vie) n'a pas été instrumentée à la demande des propriétaires.

Un descriptif des bâtiments concernés sera tout d'abord exposé dans le rapport, suivi d'un état des lieux détaillé de la mise en œuvre du protocole. Les différents outils réglementaires à disposition seront ensuite présentés, puis utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus lors des différentes campagnes.

1. DESCRIPTIF DES BATIMENTS

1.1. ETAT DES LIEUX DU CNIDEP ET SELECTION DES MENUISERIES

La Chambre Régionale de Métiers et de l'Artisanat GRAND EST (CMA Grand Est) accompagne les artisans dans l'amélioration de leurs pratiques au regard de l'environnement. L'artisanat recouvre 250 métiers, dont beaucoup utilisent des produits chimiques dans le cadre de leurs activités de fabrication, de transformation, de réparation et/ou de prestation de services.

La CMA Grand Est, grâce à son centre de ressource et d'expertise (CNIDEP), a ainsi participé au Projet Régional Santé Environnement 3, afin de fournir des alternatives moins nocives pour l'environnement et la santé en termes de produits chimiques aux professionnels. Pour son troisième projet de maîtrise du risque chimique dans l'artisanat, le CNIDEP s'est donc adressé au métier de la menuiserie bois.

Ce projet s'articule en 3 volets : un volet de recensement et de hiérarchisation des produits selon leur dangerosité via une démarche élaborée par le CNIDEP, un volet de recrutement et de sensibilisation des entreprises, et un volet de substitution de produits, où les entreprises testent des produits fournis.

Ainsi, le volet 1 fait état de 36 sous-catégories de produits utilisés dans les menuiseries bois, pour 258 produits recensés dans ces entreprises et au cours de recherches. Ce recensement comprend les produits « classiques », généralement utilisés par les professionnels, et des produits « alternatifs », réputés moins nocifs pour la santé et l'environnement, disponibles sur le marché. Quelques menuiseries utilisent déjà des produits alternatifs, parfois sans le savoir. L'analyse de 243 de ces produits a permis de les hiérarchiser selon leurs risques chimiques et de mettre en avant 15 sous-catégories de produits les plus problématiques. En éliminant les sous-catégories trop spécifiques ou sans produit alternatif identifié, il reste 6 sous-catégories problématiques sur lesquelles travailler : les colles contact, les colles polyuréthanes, les nettoyeurs (outils, surfaces, mixtes) et les huiles. S'ajoutent à cela peintures et vernis en phase aqueuse, produits les plus courants retrouvés en menuiserie. Les produits alternatifs les moins nocifs de ces sous-catégories ont été sélectionnés et demandés aux fournisseurs afin de pouvoir les faire tester lors du volet 3.

Le volet 2 de sensibilisation comprend la communication au démarrage du projet et après sa clôture (mailing, webinaire, sessions de sensibilisation des artisans et des apprentis), une sensibilisation de 18 entreprises des secteurs concernés via un questionnaire de pré-diagnostic risques rappelant les obligations réglementaires et les bonnes pratiques, ainsi que l'étude de qualité de l'air intérieur réalisée par ATMO Grand Est dans une menuiserie. La synthèse des réponses au pré-diagnostic risques permet d'avoir une vue globale des problématiques santé-environnement dans ces secteurs et du chemin qu'il reste à parcourir, bien que cet échantillon ne soit pas statistiquement représentatif. Ainsi, les pratiques sont encore à améliorer sur toutes les thématiques, parfois dû à un manque de connaissances, et les barrières comme l'organisation de l'atelier, les habitudes et les coûts doivent être dépassées.

Enfin, le volet 3 a mobilisé 9 menuiseries qui ont testé 18 produits alternatifs, produits identifiés lors du volet 1 et envoyés gratuitement par les fabricants ou distributeurs. Ces tests ont fait l'objet d'une évaluation menée par le CNIDEP selon six critères (efficacité, praticité, impact sur la santé, l'environnement, risques incendies/physiques, et coûts), grâce aux retours des artisans et aux analyses de risques des produits. Ces résultats sont synthétisés dans des « fiches produits ». Si ces produits alternatifs n'ont pas tous convaincus les professionnels, certains se sont montrés au moins aussi efficaces, tout en étant abordables voire compétitifs.

Parmi les 9 menuiseries citées, une d'entre elle a été sélectionnée en raison de la présence de la partie habitation et d'une partie bureau contiguë à l'atelier. Ainsi, dans le cadre de ce projet, deux campagnes ont été réalisées en phase 1

(avril 2021) correspondant à l'état des lieux sans changement au niveau des produits utilisés. La seconde, a été mise en œuvre en juillet 2021 (phase 2) pendant la substitution des produits habituellement utilisés par des produits moins émissifs.

1.2. CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS ET ACTIVITES REALISEES

La menuiserie est implantée en milieu rural. Des activités agricoles et une zone industrielle sont présentes à proximité.

Les bâtiments, construits en dur, constituent la menuiserie (incluant une partie bureau) et l'habitation attenante. On note la présence d'un système de ventilation double flux et d'une chaudière (utilisant comme combustible du bois et/ou des granulés) dans l'atelier. Certaines fenêtres doubles vitrage pouvant s'ouvrir et d'autres non. Le public est accueilli au niveau du bureau attenant qui communique directement avec le couloir d'accès à l'atelier par le biais d'une porte. Le bureau comporte du carrelage au sol, de la peinture au niveau des murs en placo, des éléments de mobilier (en bois aggloméré pour la plupart) ainsi que divers éléments informatiques.

Dans l'atelier, différents produits en lien avec l'activité typique d'une menuiserie sont stockés dans des armoires à proximité du sas de passage vers l'habitation, mais certains sont présents en dehors (sur le poste de travail). L'atelier est équipé d'un système d'aspiration des poussières de bois relié à toutes les machines. Pour les applications de peintures et de vernis en atelier, une cabine de peinture ouverte avec filtre répondant aux normes en vigueur dans le secteur industriel est présente. Celle-ci permet d'aspirer l'air et de filtrer l'aérosol de peinture en excès grâce à une ventilation horizontale équipée d'un filtre sec en carton plissé.

Le parc de véhicules est essentiellement diesel et peut entrer dans la menuiserie pour les chargements.

Figure 1 : Plan de situation générale de la menuiserie



Description de l'activité d'une menuiserie :

L'activité de la menuiserie consiste à effectuer l'assemblage et la finition des ouvrages en bois massif, ou matériaux dérivés du bois (bois composite) préalablement usinés en vue de leur fabrication ou de leur réparation.

Les différentes activités peuvent être également :

- Ajustage et assemblage des pièces à partir de panneaux stratifiés. Cela consiste à l'assemblage des pièces de bois avec des clous, des vis, en se servant d'outil à main ; le collage des pièces à froid ou à chaud et la mise sous presse en employant des colles acryliques, "néoprène" (stratifié) ; « résorcine ou urée-formol : formaldéhyde » (MDF aggloméré, charpentes en bois lamellé-collé) ou « époxydiques » (structures haute-résistance).
- Application de mastic, de vernis, de la peinture ou de la laque sur la pièce au pistolet, au tampon ou au pinceau.
- Pose de colle des revêtements (chants) sur des panneaux dérivés du bois
- Ponçage, décapage.



Concernant la menuiserie suivie dans le cadre de cette étude, ces activités peuvent être réalisées tous les jours de 7h30 à 12h00 et de 13h15 à 17h30 du lundi au vendredi. Certaines semaines, des chargements dès le matin ou en après-midi (les véhicules diesel sont avancés dans le couloir entre les bureaux et l'atelier (site notifié « atelier 1 »)) sont possibles.

Informations complémentaires spécifiques à la campagne phase d'avril 2021 :

Durant la semaine de mesure, dans le bureau et l'atelier, le chauffage était en fonctionnement et les portes/fenêtres sont restées fermées toute la journée. Il n'est pas notifié d'activité spéciale ni de temps d'aération dans le bureau. Cependant, dans l'atelier, une aération quotidienne est pratiquée par la mise en oscillo battant des ouvrants voire ouverture de la porte lors de chargement des meubles.

3 à 4 personnes sont présentes dans les locaux contre une dans le bureau.

Au niveau des activités pouvant impacter les teneurs en polluants, un balayage est couramment pratiqué en fin de journée en cas de dépôts au sol trop importants voire dans la journée comme c'est le cas le mardi 13 avril au matin de 9h à 12h (impact probable sur les niveaux de poussières). Une colle néoprène a été employée le mercredi 14 avril matin entre 8h et 10h (impact sur les niveaux de Composés Organiques Volatils - COV) et une peinture en phase aqueuse pour extérieur a été utilisée en fin de semaine.

Dans l'habitation, aucun produit spécifique n'a été utilisé, ni nettoyage réalisé et la fréquence d'aération des pièces n'a pas été précisée dans les questionnaires distribués.

Informations complémentaires spécifiques à la campagne phase de juillet 2021 :

Durant la campagne, les activités de plaquage de chants mélaminés, de fabrication de placard et de rabotage sont réalisées tous les jours de la semaine (7h30-12h et 13h15 à 17h30), des activités de peintures sont en plus réalisées le jeudi 8 juillet après-midi (14h-17h30) et vendredi 9 juillet matin (8h-12h).

Durant la semaine de mesure, dans le bureau 1 et l'atelier, les portes sont restées ouvertes entre les deux espaces toute la journée. Le bureau 1 a été aéré tous les jours par les occupants (le matin à 4h, fenêtres placées en oscillant-battant).

Une à 3 personnes sont présentes dans les locaux.

Il n'y a pas d'informations disponibles au travers du questionnaire sur l'entretien des pièces (nettoyage sol, vitre et tables...).

Il en va de même dans l'habitation. Aucun produit spécifique n'a été utilisé dans le bureau situé dans l'habitation et celui-ci a été aéré « en grand » le matin essentiellement et une partie de l'après-midi.

2. DESCRIPTION DES CAMPAGNES DE MESURE

Afin d'identifier les polluants spécifiques pouvant être émis dans la menuiserie, un travail de recensement des produits utilisés dans la menuiserie et une recherche bibliographique ont été réalisés en prenant notamment en compte les composés CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique) pouvant être présents dans les produits.

2.1. PRODUITS UTILISES

Dans son activité, la menuiserie utilise principalement les produits suivants (cf. tableau ci-dessous) dont certains sont diluables avec un produit type White Spirit (solvanté) et d'autres diluables uniquement à l'eau (hydrodiluable). Les molécules présentées sont issues des FDS (fiches de données sécurités).

Tableau 1 : Type de produits utilisés et molécules répertoriées.

Catégorie	Phase de dissolution	Composés présents dans phase solvantée
Peinture	Solvanté et Hydrodiluable	Acétate de butyle
Nettoyant ustensiles	Solvanté	Acétone, 2-méthoxyethoxy-éthanol
Colle néoprène liquide	Solvanté	Cyclohexane, acétate d'éthyl, hydrocarbures, C6-C7
Vitrificateur	Solvanté	Xylène, Éthylbenzène, hydrocarbures C9-C11, Isoalcanes
Diluant	Solvanté	Acétate de n-butyle
Vernis	Solvanté et Hydrodiluable	Xylène, Hydrocarbures aromatiques C8, Acétate de n-butyle éthylbenzène
Durcisseur	Hydrodiluable	Aliphatic polyisocyanate

Durant la première campagne, la menuiserie a utilisé une peinture en phase aqueuse pour extérieur¹ (microporeuse pour la protection et décoration des bois, à base de résines acryliques, d'aspect satiné, contenant au maximum 100 g/L de COV) et une colle néoprène.

Lors de la seconde phase, la menuiserie a utilisé une peinture de finition microporeuse mate à base d'émulsion d'huile végétale non transformée dont 98% de ses constituants sont naturels ou d'origine naturelle. D'après la fiche produit, elle ne contient aucun produit pétrolier, solvant ou co-solvant, son taux est de 0,4 g/L de COV et elle est étiquetée A+. A noter que cette peinture de substitution a été utilisée comme sous-couche, et qu'aucune autre peinture n'a été utilisée lors de cette deuxième campagne.

Un nettoyant pour le pistolet a également été utilisé à la place du White spirit. Ce produit, décrit comme un éco-solvant, est conçu sans COV, utilisable comme « diluant » dans de nombreux domaines comme le nettoyage d'équipement, l'application de vernis et peinture, la solubilisation de résines etc..).

¹ <https://www.peintures-gauthier.com/produits/bois/sylteo/217>

2.2. PARAMETRES SUIVIS

Les paramètres et polluants mesurés et sélectionnés dans le cadre de cette étude sont :

- **Les paramètres de confort** (température et humidité).
- **Le paramètre de confinement** : dioxyde de carbone CO₂ sont associés à ces mesures.
- Certains **composés organiques volatils**. Il s'agit des BTEX (benzène – toluène – éthylbenzène – les xylènes), les aldéhydes dont le formaldéhyde que l'on retrouve dans les produits chimiques du fait de leur pouvoir solvant ou de conservation. L'éthylbutylether (ETBE), le dichlorométhane, le n-hexane, le trichloroéthylène, le styrène, le 2-(2-methoxyethoxy) éthanol et le naphthalène ont également été mesurés. Une analyse complémentaire pour l'acétate de butyle, l'acétate d'éthyle et l'acétone a également été réalisée.
- La méthode d'analyse a permis également de déterminer en complément les **5 composés organiques volatils majoritaires** au niveau de chaque point de prélèvement (menuiserie comme habitat (bureau)). Des mesures d'isocyanates ont également été effectuées.
- **Les particules fines PM2,5** qui peuvent résulter des opérations de ponçage.
- Des mesures dynamiques des composés organiques volatils totaux, de formaldéhyde et de particules fines PM2,5 ont été également réalisées pour un suivi temporel de l'évolution des niveaux.

2.3. TECHNIQUES DE MESURE

2.3.1. Température et humidité relative



Figure 2 : Sonde EBRO/EBI

La température et l'humidité relative ont été suivies en continu par des sondes Ebro EBI 20-T-Ex déployées dans les sites intérieurs et extérieurs.

2.3.2. Tubes à diffusion passive

Le suivi des concentrations dans l'air a été effectué au moyen de tubes à diffusion passive pour les polluants gazeux suivants :

- ✓ **Les composés organiques volatils** (Benzène – Toluène – Ethylbenzène – les Xylènes, L'éthylbutylether (ETBE), le dichlorométhane, le n-hexane, le trichloroéthylène, le styrène, le 2-(2-methoxyethoxy) éthanol et le naphthalène...)
- ✓ **Les aldéhydes** (formaldéhyde, acétaldéhyde, hexaldéhyde, propionaldéhyde, butyraldéhyde, benzaldéhyde, valéraldéhyde).



Figure 3 : Tubes passifs Radiello

Les tubes passifs de type « Radiello » permettant la mesure des COV et des aldéhydes sont constitués de 2 tubes cylindriques concentriques (Figure 3) : un tube externe, le corps diffusif fait office de filtre en arrêtant les poussières et un tube interne, la cartouche, contient le réactif spécifique au composé à absorber.

La quantité de molécules piégées dans la cartouche est proportionnelle aux concentrations moyennes dans l'environnement durant l'exposition du tube.

Dans la pièce à investiguer, le tube passif est suspendu à l'horizontal et ceci pour une durée de 4,5 jours. Pendant le prélèvement, les polluants gazeux traversent le corps diffusif jusqu'à la zone de piégeage formée par la cartouche absorbante.

Après exposition, la cartouche est placée dans un tube en verre et envoyée à un laboratoire d'analyse. Les concentrations dans l'air moyennes des polluants sur l'ensemble de la période d'exposition (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ont été déterminées par analyse différée des échantillons en laboratoires.

- Le laboratoire interrégional de chimie 'SYNAIRGIE' situé à Schiltigheim par chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec détection par absorption pour les aldéhydes.
- Le laboratoire TERA Environnement pour l'analyse des composés organiques volatils et la recherche des 5 composés majoritaires selon une technique analytique spécifique préconisée pour les concentrations élevées et le laboratoire interrégional de chimie 'SYNAIRGIE' pour l'analyse complémentaire de certains COV présents en concentrations plus faibles (NF EN ISO 16017-2).

2.3.3. Les microvols



Figure 4 :
Microvol

Le préleveur bas débit Microvol (PM2,5) permet le prélèvement automatique sur un filtre des particules. L'air est aspiré à travers une tête de prélèvement spécifique à la fraction recherchée, à l'aide d'une pompe et d'un débitmètre. Les particules de diamètre supérieur à la fraction recherchée sont impactées sur de la graisse de silicone et sont donc éliminées. Les particules restantes suivent le flux d'air pour être collectées sur le filtre. Le débit de fonctionnement était de 3L/min lors de la campagne. Les filtres ont été pesés en laboratoire pour la quantification massique des particules par le laboratoire Micropolluant.

En complément, le laboratoire Eurofins a analysé les isocyanates par désorption chimique à partir des filtres de quartz préalablement imprégné de MPP selon une méthode interne.

2.3.4. Le NEMO



Il s'agit d'un appareil de mesure permettant de mesurer en continu le formaldéhyde.

Figure 5 : *NEMO*

2.3.5. La balise Fireflie



Figure 6 : *Balise Fireflies*

La station Fireflies®Q.E.I commercialisée par Haeger Services est un boîtier multicateur de mesure en continu. Les mesures effectuées par cette balise ne correspondent pas à une méthode de mesure normalisée, plus précise et spécifique, mais permettent de visualiser la dynamique des concentrations intérieures au cours d'une journée ou d'une semaine.

2.3.6. Le pDR-1500











L'analyseur de poussières Thermo pDR-1500 est un néphélomètre qui permet une mesure en temps réel de la concentration massique des poussières en continu.

Figure 7 : pDR-1500

Pour résumer :

Tableau 2 : Composés mesurés, laboratoires d'analyse et dispositifs de mesures.

Composés/Paramètres		Mesures passives/actives	Laboratoires d'analyse	Mesures dynamiques
Composés chimiques	BTEX		Synaergie	
	COV		Tera Environnement	
	Aldéhydes		Synaergie	 Formaldéhyde
	COV Totaux			
	Isocyanates		Eurofins	
Composés particuliers	PM2,5		Micropolluants	
Paramètres de confort	Température et humidité relative			
Paramètre de confinement	CO ₂			

2.4. SITES ET STRATEGIE D'ÉCHANTILLONAGE

Dans le bureau, un point de mesure a été instrumenté dans un sas d'accès au bureau (dénommé « bureau 1 »).

Dans la menuiserie, deux points ont été instrumentés : un point à proximité de l'atelier peinture (dit « atelier 1 ») et un point au centre de l'atelier (dit « atelier 2 »).

Dans l'habitat, deux sites ont été instrumentés : dans un sas permettant le passage de la menuiserie vers l'habitation (dénommé « habitation 1 »), lieu de stockage des produits, et dans un bureau (dénommé « habitation 2 »). Ce point a été instrumenté en remplacement du salon comme cela était initialement prévu en raison de la demande des propriétaires, qui ne souhaitaient pas la présence des instruments de mesures au cœur de leur habitation.

Un point a été instrumenté à l'extérieur (sur un candélabre en face de la menuiserie).

L'ensemble des sites ont été instrumentés pour la mesure des COV. Notons que des appareils de mesures dynamiques qui permettent la mesure en continu des composés organiques volatils (balise Fireflies), le formaldéhyde (NEMO), les particules fines PM_{2,5} (PDR), ont été mis en place dans la pièce d'habitation 1 (sas de passage entre atelier et habitation) et dans l'atelier à proximité du poste d'application des peintures (Atelier 1).

Figure 8 : Plan de la menuiserie et sites instrumentés.

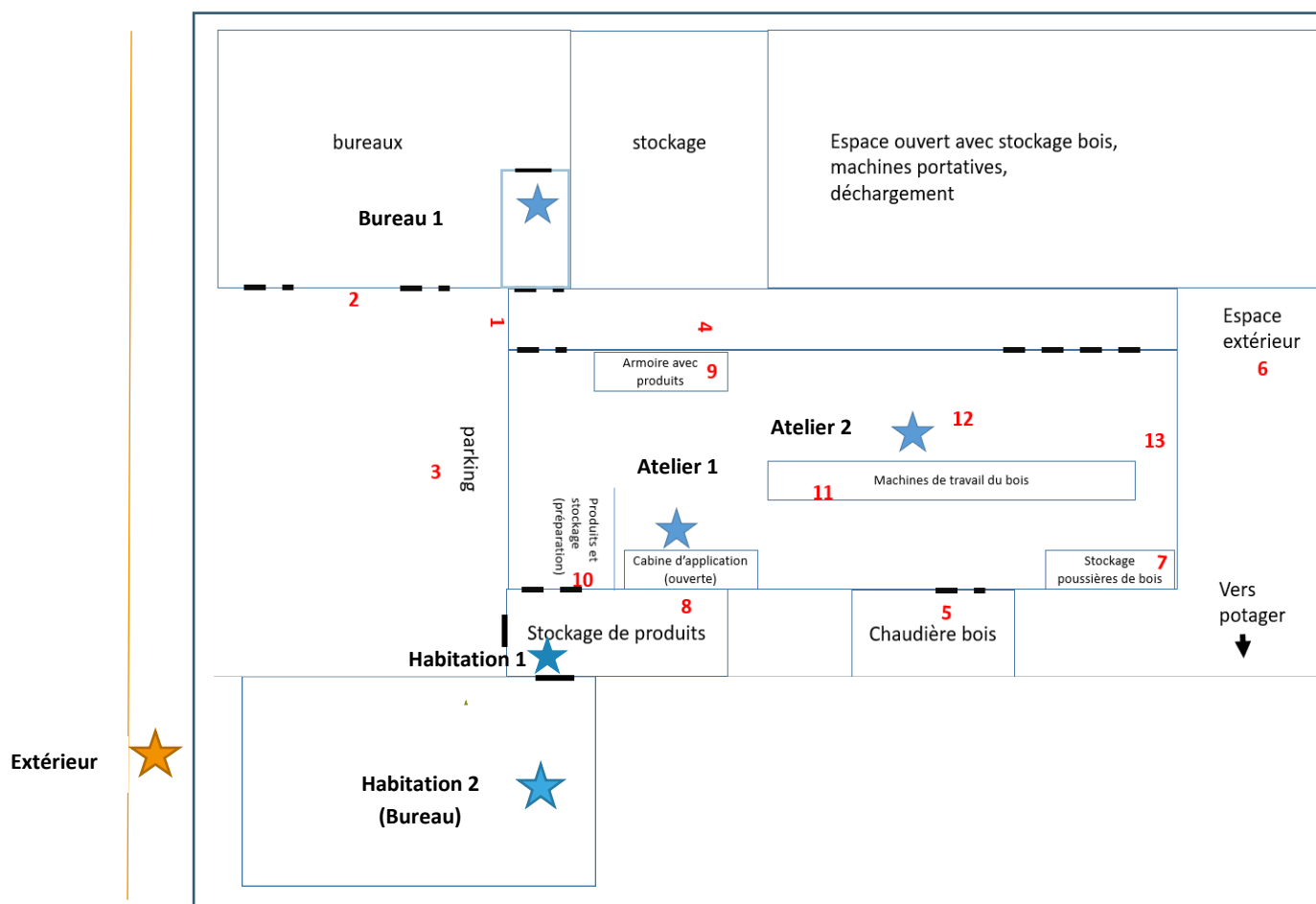


Figure 9 : Photos des sites instrumentés lors des campagnes de mesures.



Habitation 1 (SAS de liaison
entre atelier et habitation)



Habitation 2
(bureau)



Extérieur



Le tableau 3 suivant présente les composés mesurés ainsi que les systèmes de mesures par sites instrumentés.

Tableau 3 : Composés mesurés et sites de mesures

Pièces	Composés	Bureau	Atelier 1	Atelier 2	Habitation 1 sas	Habitation 2 bureau	Extérieur
Composés chimiques	BTEX dont benzène	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	ETBE	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Hexane	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Styrène	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Acétate de butyle	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Acétate d'éthyle	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Acétone	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	2-2-(methoxyethoxy) Ethanol	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Thrichloroéthylène	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Naphtalène	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	5 COV majoritaires	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	Aldéhydes	TP	TP	TP	TP	TP	
	Formaldéhyde		N		N		
	COV Totaux Eq formaldéhyde et benzène		Azi		Azi		
Isocyanates		µvol		µvol			
Composés particuliers	PM2,5	µvol	µvol et PDR	µvol	µvol et PDR	µvol	
Paramètres de confort	Température	EBI	EBI	EBI	EBI	EBI	EBI
	Humidité relative	EBI	EBI	EBI	EBI	EBI	EBI
Paramètre de confinement	CO ₂		Azi		Azi		

Légende :

TP : Tubes passifs
 Azi : balise Azimuth
 µvol : Microvol
 EBI : sonde EBI
 N : NEMO

Pour cette étude, deux campagnes de mesures ont été réalisées, « avant » en situation normale, et « pendant » la substitution des produits :

Tableau 4 : Dates de réalisation des campagnes de mesures.

Périodes	Dates campagnes
Avant	12/04/2021 au 16/04/2021
Pendant	05/07/2021 au 09/07/2021

Pour pouvoir se référer à des valeurs guides long terme, il est recommandé d'effectuer deux séries de prélèvements, chacune dans des **conditions climatiques contrastées**, et en période d'occupation normale (exposition réelle des personnes). La moyenne des deux séries de prélèvements permet d'approcher un état annuel de la qualité de l'air en prenant en compte les variabilités temporelles des concentrations de polluants dans l'air. **Dans le cadre de notre étude, les périodes de mesures ne sont pas climatiquement assez contrastées pour que le calcul de la moyenne annuelle soit pertinent. Elles sont cependant présentées à titre indicatif en annexe.**

3. STRATEGIE DE COMPARAISON

Soulignons que la comparaison par rapport aux valeurs de référence sera effectuée dans le présent rapport par rapport aux valeurs long terme décrites ci-dessous pour les bureaux/espaces d'accueil du public/logement. En ce qui concerne les ateliers, les VLEP (Valeur limite d'exposition) sont présentées à titre informatif mais aucune comparaison directe avec les concentrations mesurées ne pourra être effectuée. En effet, les techniques de mesures utilisées correspondent à une exposition long terme et non à une caractérisation de l'exposition des travailleurs. Dans ce cas, il s'agit de VLEP (valeur limite d'exposition) sur 8 heures alors que les prélèvements effectués dans le cadre de cette étude ont été réalisés sur 4,5 jours. Par ailleurs, pour les VLEP, les mesures d'exposition sont à réaliser au niveau du poste de travail.

3.1. VALEURS DE REFERENCE LONG TERME

3.1.1. Les paramètres de confort



Au niveau du **confort hygrothermique** (température et humidité relative), bien qu'il soit subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...), il est possible de définir des **plages jugées acceptables**. Par exemple, le **diagramme de Fauconnier²** suggère pour un confort optimal les plages de températures et d'humidité relative associées. Une **humidité trop faible (< 30%) peut donner une sensation de sécheresse gênante sur le plan respiratoire, cutanée et oculaire**. Une **humidité relative trop importante (>70%) peut favoriser le développement de moisissures**.

Par ailleurs, l'ADEME préconise un taux optimal d'humidité relative dans l'air entre 40 et 60 %, pour une température s'élevant entre 18° et 22° C³.

3.1.2. Le dioxyde de carbone

Le règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser dans un espace clos 1 000 parties par million (ppm) de CO₂ avec une tolérance jusqu'à 1 300 ppm. On considère que le confinement est élevé à partir de 1700 ppm.

3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde

Parmi l'ensemble des polluants évoqués ci-avant, le benzène, le formaldéhyde ainsi que le confinement sont réglementés par le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 et le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011.

Les autres polluants mesurés dans le cadre de cette étude ne disposent pas de valeurs réglementaires. Pour le benzène et le formaldéhyde, la réglementation fixe les valeurs limites à ne pas dépasser dans un espace clos ainsi que les différentes valeurs guides d'exposition à long terme qui rentreront progressivement en vigueur à partir de 2023 (tableau suivant).

² R. Fauconnier, Diagramme des plages de confort température-humidité - article « L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires » - numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement – 1992.

³ L'Habitat « Un air sain chez soi » Ademe, Edition : mai 2015.

A la demande des ministères chargés de la santé et de l'écologie, le Haut conseil de la santé publique (HCSP) élabore ensuite des valeurs repère d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur, en tenant compte à la fois des VGAI définies par l'Anses et d'autres paramètres (méthodes de mesures disponibles, considérations pratiques, réglementaires, économiques et sociologiques, etc.). Le HCSP établit deux types de valeurs pour aider les décideurs publics à gérer des situations à risque sanitaire :

- Valeur repère pour l'air intérieur (VRAI) : généralement, différentes valeurs sont fixées pour la VRAI par échéances temporelles, jusqu'à atteindre la VGAI de l'Anses.
- Valeur d'action rapide (VAR) : elle correspond à un niveau de concentration tel que des travaux et actions d'amélioration sont nécessaires à court terme du fait d'un dépassement important de la VRAI.

La **valeur guide** pour l'air intérieur désigne un niveau de concentration de polluants de l'air intérieur, déterminé pour un espace donné à atteindre à long terme pour protéger la santé des personnes.

La **valeur limite** désigne la valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées afin d'identifier et de neutraliser les sources dans le but de ramener les teneurs intérieures en dessous de la valeur repère.

Tableau 5 : Valeurs réglementaires relatives au benzène et au formaldéhyde

Synthèse des différentes valeurs réglementaires			
		Valeur guide pour une exposition long terme	Valeur limite
Formaldéhyde		10 µg/m³ à compter du 1 ^{er} janvier 2023	100 µg/m³
		30 µg/m³ Depuis le 1 ^{er} janvier 2015	
Benzène		2 µg/m³ Depuis le 1 ^{er} janvier 2016	10 µg/m³

Dans l'air ambiant, le benzène fait l'objet d'un seuil à ne pas dépasser, fixé par le code de l'environnement – article R221-1 : la valeur limite annuelle est de 5 µg/m³ pour 2010.

En février 2018, l'ANSES⁴ a proposé une valeur guide court terme de 100 µg/m³ pour le formaldéhyde, validée par des mesures de 1h à 4h successives sur la journée. Dans le cas où, les mesures sont effectuées sur un pas de temps plus long de 4,5 à 7 jours, le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP⁵) propose cependant de retenir une valeur de gestion provisoire à 30 µg/m³. Par rapport à la technique de mesure employée pour cette étude impliquant des prélèvements sur 4,5 jours, cette valeur (équivalente à la valeur guide long terme ci-dessus) sera utilisée dans le rapport pour la comparaison des concentrations obtenues.

⁴ Anses : Mise à jour de valeurs guides de qualité d'air intérieur : Le formaldéhyde – Avis de l'Anses – Rapport d'expertise collective – Février 2018 – Edition scientifique.

⁵ Haut Conseil de la Santé Publique : Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur : le formaldéhyde – 2 mai 2019

3.1.4. Les autres composés organiques volatils

Pour les polluants ne disposant pas de valeurs réglementaires, des valeurs dites de référence seront utilisées. Les composés organiques volatils pour lesquels aucune valeur n'est recensée, ne figurent pas dans le tableau ci-après et l'interprétation est réalisée de façon quantitative. Des valeurs guides indicatives ont été proposées pour le styrène et les xylènes dans une étude de Koistinen et al⁶.

Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a également proposé des valeurs guides indicatives pour le trichloroéthylène⁷ et le tétrachloroéthylène⁸. L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES) a également établi une valeur guide long terme pour l'acétaldéhyde⁹, le toluène¹⁰ et l'éthylbenzène¹¹

Tableau 6 : Valeurs de référence pour les composés organiques volatils

Polluants	Valeurs indicatives
Acétaldéhyde	ANSES : 160 µg/m ³ (2014)
Toluène	ANSES : 20 000 µg/m ³ (2018)
(m+p)-xylènes et o-xylène	INDEX : 200 µg/m ³ (2005)
Styrène	INDEX : 250 µg/m ³ (2005)
Ethylbenzène	ANSES : 1500 µg/m ³ (2016)
Tétrachloroéthylène	HCSP : 250 µg/m ³ (2010) Action rapide : 1250 µg/m ³
Trichloroéthylène	HCSP : 2 µg/m ³ (2012)

Zoom sur les Isocyanates :

Les isocyanates sont caractérisés par la présence dans leur formule d'une ou plusieurs fonctions N=C=O qui entrent en réaction avec un polyol pour former un polyuréthane (PU). Les PU font partie des matières plastiques. Les isocyanates se distinguent entre eux par le nombre de leurs groupements isocyanates : monoisocyanates, diisocyanates, polyisocyanates.

Les isocyanates les plus utilisés dans l'industrie sont : le TDI (2,4 et 2,6-toluène-diisocyanate, le plus nocif en raison de sa grande volatilité), le HDI (1,6-hexaméthylène-diisocyanate également volatil) et le MDI (2,4 diisocyanate de diphénylméthane). D'autres comme le NDI (naphtylène diisocyanate) et l'IPDI (diisocyanate d'isophorone) sont également rencontrés en milieu industriel.

Dans le BTP, de nombreux salariés peuvent être exposés aux isocyanates par l'intermédiaire de colles, peintures, vernis, laques, résines et mousses de polyuréthane.

⁶ Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulou S et al. (2008). The INDEX project : executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. Allergy, 63:810-819.p

⁷ HCSP (2012) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos, 6 juillet 2012, 3.

⁸ HCSP (2010) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos, 16 juin 2010,

⁹ Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'acétaldéhyde, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2014, Edition scientifique

¹⁰ Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur Le toluène, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2014, Edition scientifique

¹¹ Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'éthylbenzène, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, octobre 2016, Edition scientifique

Hors BTP, les isocyanates sont utilisés dans l'industrie automobile, pharmaceutique, en métallurgie, dans l'industrie des textiles synthétiques, pour la fabrication d'insecticides et d'herbicides, la production d'élastomères, **menuiserie (injection et projection de mousses PU, colles, liants) ...**

Danger :

Le TDI est le plus dangereux chez l'homme en raison de sa grande volatilité. La pénétration dans l'organisme se fait essentiellement par voie respiratoire sous forme de vapeurs ou d'aérosols.

Toxicité aiguë : à forte concentration les isocyanates sont des irritants puissants de la peau et des muqueuses. On retrouve des signes d'irritation cutanée (prurit, brûlure), oculaires (conjonctivite), ORL (rhinite), digestives (épigastralgies, diarrhée), neurologiques (céphalées, vertiges, trouble de la conscience, perte de connaissance) et pulmonaires dont la gravité dépend de la concentration atmosphérique du produit (toux, dyspnée, œdème pulmonaire).

Toxicité chronique : l'exposition répétée à des concentrations plus faibles peut être à l'origine d'une sensibilisation provoquant des allergies cutanées (rares) et respiratoires (fréquentes). – Asthme (pathologie la plus fréquente lors des expositions chroniques), pneumopathie d'hypersensibilité. – Eczéma de contact.

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle :

Des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes dans l'air des lieux de travail ont été établies en France pour les isocyanates de méthyle (article R.4412-149 du Code du travail) et pour le diisocyanate d'isophorone.

Tableau 7 : Valeurs limites d'exposition professionnelle pour les isocyanates

Composés	Valeurs limites d'exposition professionnelle en mg/m ³	
L'isocyanate de méthyle (HDI) ¹²	VLCT : valeurs limites d'exposition à court terme	0,15
	VME : valeur moyenne d'exposition	0,075
Le Diisocyanate d'isophorone (IPDI) ¹³	VLCT : valeurs limites d'exposition à court terme <i>Concentration mesurée sur une durée de 5 minutes</i>	0,18
	VME : valeur moyenne d'exposition	0,09

¹² INRS : Fiche Tox_162

¹³ INRS : FicheTox_166

3.1.5. Les PM2,5

En France, les valeurs guides (VGAI) sont établies par l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). A défaut, les VGAI établies par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) en 2010¹⁴ ou reconnues à l'échelle européenne peuvent être utilisées.

Il existe également des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le HCSP (Haut conseil de la santé publique) propose à partir des VGAI de l'ANSES, des valeurs dites de « gestion » avec un calendrier d'application associé. En outre, le HCSP propose des outils d'aide à la gestion en formulant des valeurs aux dessus desquelles des actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

Afin de prévenir les effets liés à une exposition chronique, le HCSP¹⁵ recommande dans l'air intérieur :

- Un objectif cible de 10 µg/m³ à échéance de 2025, avec des valeurs dégressives, directement applicable. La valeur repère pour 2020 est ainsi fixée à 15 µg/m³.
- Une valeur d'action rapide de 50 µg/m³ dont le dépassement doit déclencher dans les trois mois la mise en œuvre d'actions correctives.

Tableau 8 : Valeurs guides relatives aux PM2,5

Valeurs guides pour une exposition long terme		
Polluants	Air intérieur Valeurs Guide	Air extérieur Valeurs Limites Article R221-1 modifié par le décret n° 2008-1152 du 7/11/2008-art.1)
PM _{2,5}	Valeur repère : 14 µg/m ³ (2021) HCSP Valeur d'action rapide : 50 µg/m ³ (avis de 2013) HCSP	Moyenne annuelle : 25 µg/m ³

¹⁴ OMS 2010 WHO Guidelines for indoor air quality : selected pollutants, World Health Organization

¹⁵ Valeurs repères d'aide à la gestion dans des espaces clos : les particules, HCSP, juillet 2013

3.2. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLES

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) correspondent aux niveaux de concentration dans l'atmosphère de travail de certains polluants définis pour prévenir la survenue de pathologies d'origine professionnelle dues à l'exposition à un produit dangereux. Elles sont représentatives d'une exposition à court terme sur une durée de 8 heures et sont nettement plus élevées que les valeurs de référence présentées précédemment. Le tableau ci-dessous présente les VLEP pour les principaux polluants mesurés dans le cadre de cette étude :

Tableau 9 : Valeurs limites d'exposition professionnelles

Polluants	VLEP en mg/m ³
Benzène	3,25
Toluène	76,8
Naphtalène	50
Dichlorométhane	178
N-hexane	72
Trichloroéthylène	405
Styrène	100
2-méthoxyethoxy-éthanol	50,1
Acétate de butyle	710
Acétate d'éthyle	1400
Acétone	1210

3.3. DONNEES COMPARATIVES

Pour les bureaux/espaces d'accueil, les données peuvent être comparées aux données obtenues dans les bureaux dans le cadre du projet Offic'Air. Entre 2010 à 2014, le projet européen OFFICAIR¹⁶ (On the reduction of health effects from combined exposure to indoor air pollutants in modern offices) impliquant 13 partenaires de 8 pays (Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Portugal), visait à acquérir des connaissances sur la qualité de l'environnement intérieur, la santé et le confort dans les immeubles de bureaux neufs ou réhabilités depuis moins de 10 ans. Les résultats ont été publiés dans le bulletin n°8 de l'OQAI (décembre 2014)¹⁷.

Tableau 10 : Extrait des résultats du projet OFFICAIR (bulletin n°8 de l'OQAI - décembre 2014)

	ÉTÉ		HIVER	
	Médiane tous immeubles (n=37)	Médiane immeubles français (n=9)	Médiane tous immeubles (n=35)	Médiane immeubles français (n=9)
Benzène *	0,95	2,2	1,8	1,5
Toluène	4,7	15	3,3	2,8
Ethylbenzène	1,1	2,7	1,0	0,9
Xylènes	2,5	3,5	2,2	2,2
n-hexane	1,4	3,0	1,2	1,1
α-pinène	3,0	3,5	4,3	3,7
Limonène	3,9	4,5	16	16
Formaldéhyde *	14	16	7,5	6,4
Acétaldéhyde	6,1	6,3	4,5	3,5
Propionaldéhyde	2,4	2,4	1,2	0,9
Hexanal	10	12	4,4	4,6
Dioxyde d'azote	16	13	18	19
Ozone	5,6	1,8	< 0,8	1,9
PM _{2,5} **	9,2	/	16	/

* : Valeurs guides pour une exposition de longue durée égales à 5 µg/m³ pour le benzène à compter du 1er janvier 2013 et à 30 µg/m³ pour le formaldéhyde à compter du 1^{er} janvier 2015 (Décret no 2011-1727 du 2 décembre 2011)

** Les particules n'ont pas été mesurées dans tous les immeubles en raison de contraintes techniques.

En ce qui concerne les données dans les menuiseries, assez peu d'études de qualité de l'air sont disponibles.

3.4. TRANSFERT DE POLLUTION

Afin de caractériser le transfert de pollution de l'air extérieur vers l'air intérieur, on peut utiliser différents indicateurs dont le ratio Intérieur/Extérieur qui se déduit directement des mesures réalisées en simultanément à l'intérieur et à l'extérieur sur une durée définie (concentration intérieure/concentration extérieure)¹⁸. Il caractérise les transferts de polluants en l'absence de source intérieure.

Dans le cadre de cette étude, comme le transfert de pollution peut également se faire par le biais des ateliers, le ratio (concentration intérieure bureau/concentration atelier) a été calculé.

A noter que plus le ratio est proche de 1, plus le transfert de pollution est important. Lorsque que le ratio est supérieur à 1, cela signifie que des sources internes au polluant considéré sont présentes dans l'espace intérieur.

¹⁶ <http://www.officair-project.eu/>

¹⁷ http://www.oqai.fr/userdata/documents/460_Bulletin8_QAI_Confort_Bureaux.pdf

¹⁸ Caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments – Avis de l'Anses – Rapports d'expertise collective – Mai 2019 – Edition scientifique

4. RESULTATS

4.1. PARAMETRES DE CONFORT ET DE CONFINEMENT

4.1.1. 4.1.1 Température et humidité relative :

Les données de température et d'humidité relative observées durant les deux phases de mesures sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 11 : Statistiques sur la température et l'humidité relative

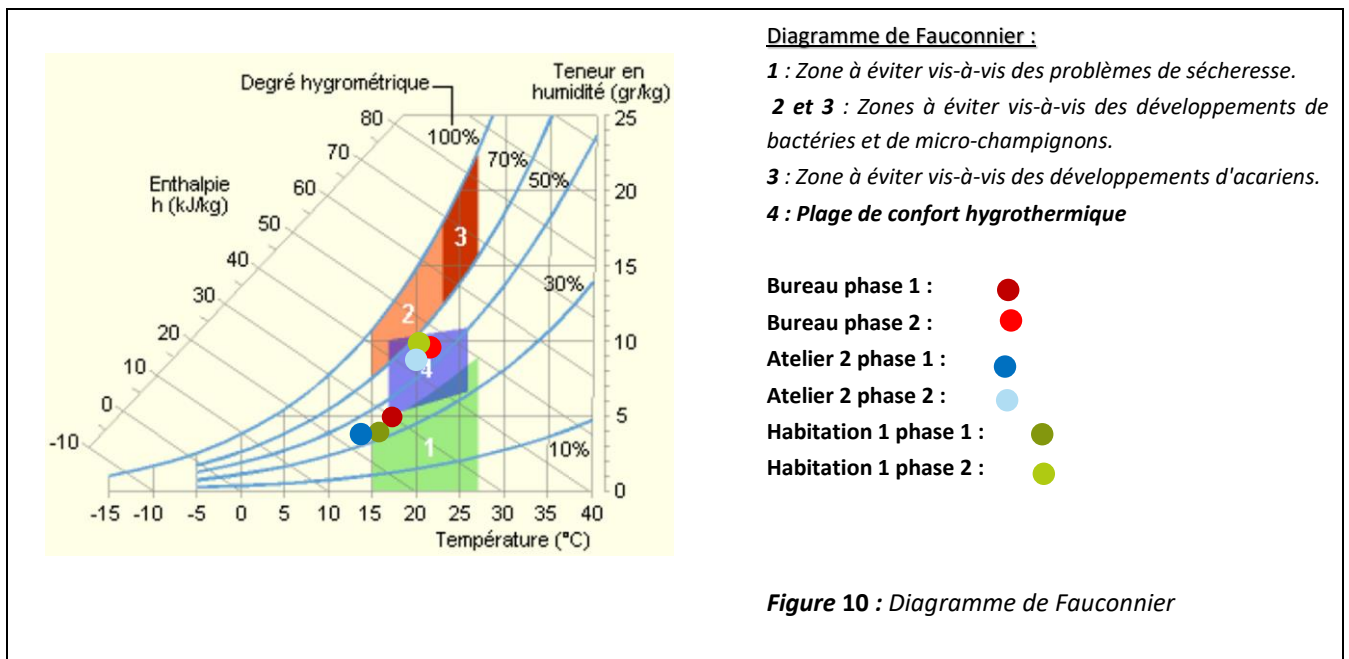
Sites	Pièces	Température en °C			Humidité relative en %		
		Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Campagne - avril 2021 (phase 1 - avant)							
Menuiserie	Bureau	14,1	23,8	18,8	26	44	39
	Atelier 1	10,7	22,8	15,2	20	53	36
	Atelier 2	10,2	22,1	14,7	24	52	36
Habitation	Habitation 1 (sas)	13,4	17,1	15,1	28	43	37
	Habitation 2 (Bureau)	14,6	23	18,7	28	46	38
Extérieur	Ext	-1,6	17,3	4,9	25	88	59
Campagne - juillet 2021 (phase 2 - pendant)							
Menuiserie	Bureau	22	23	23	59	65	62
	Atelier 1	16,4	23,3	19,7	/	/	/
	Atelier 2	15,8	24,3	19,9	52	78	68
Habitation	Habitation 1	19,3	21,5	20,3	61	72	67
	Habitation 2 (Bureau)	20,2	21,8	20,9	60	78	69
Extérieur	Ext	10,2	31,5	18,4	/	/	/

Pour la première campagne, les températures mesurées sont parfois assez faibles dans la menuiserie (ateliers 1 et 2) et dans le sas de passage entre les deux espaces (habitation 1). On relève des températures moyennes variant entre 14,7 °C et 15,2 °C. Il s'agit en effet de grands espaces difficiles à chauffer. Pour le bureau 1, les températures moyennes sont légèrement plus élevées (18,7 °C).

Quel que soit la pièce considérée, **les taux d'humidité mesurés sont relativement faibles** ce qui peut favoriser une sensation de sécheresse gênante sur le plan respiratoire, cutanée et oculaire.

Pour la deuxième campagne, les températures relevées dans l'ensemble des espaces sont conformes aux **préconisations**. Les taux d'humidité sont plus élevés en lien avec une météorologie fortement perturbée et pluvieuse. Elles restent cependant conformes aux préconisations.

Les données relatives aux campagnes ont été reportées au niveau du diagramme de Fauconnier ci-après :



Comme l'indique le diagramme, lors de la première phase (avril), les pièces sont en dehors voire à la limite basse de la **plage de confort hygrothermique**. Pour la deuxième campagne (juillet), les pièces se positionnent dans la plage de confort hygrothermique.

4.1.2 Le confinement :

Le tableau ci-après regroupe les différents teneurs en CO₂ dans une pièce de l'habitation 1 (sas de liaison) et à proximité du poste de peinture dans l'atelier (atelier 1). Ces informations sont données à titre indicatif car elles sont issues de la balise FireFlies.

Tableau 12 : Valeurs obtenues pour le CO₂

Sites	Pièces	Dioxyde de carbone en ppm	
		Moyenne	Maximum
Campagne phase 1 – avril 2021			
Atelier	Atelier 1	429	701
Habitation	Habitation 1	428	783
Campagne phase 2 – juillet 2021			
Atelier	Atelier 1	417	559
Habitation	Habitation 1	438	658

Les valeurs les plus élevées sont observées en avril. En juillet, l'ouverture de la porte de l'atelier et des ouvrants a certainement permis un renouvellement d'air plus efficace.

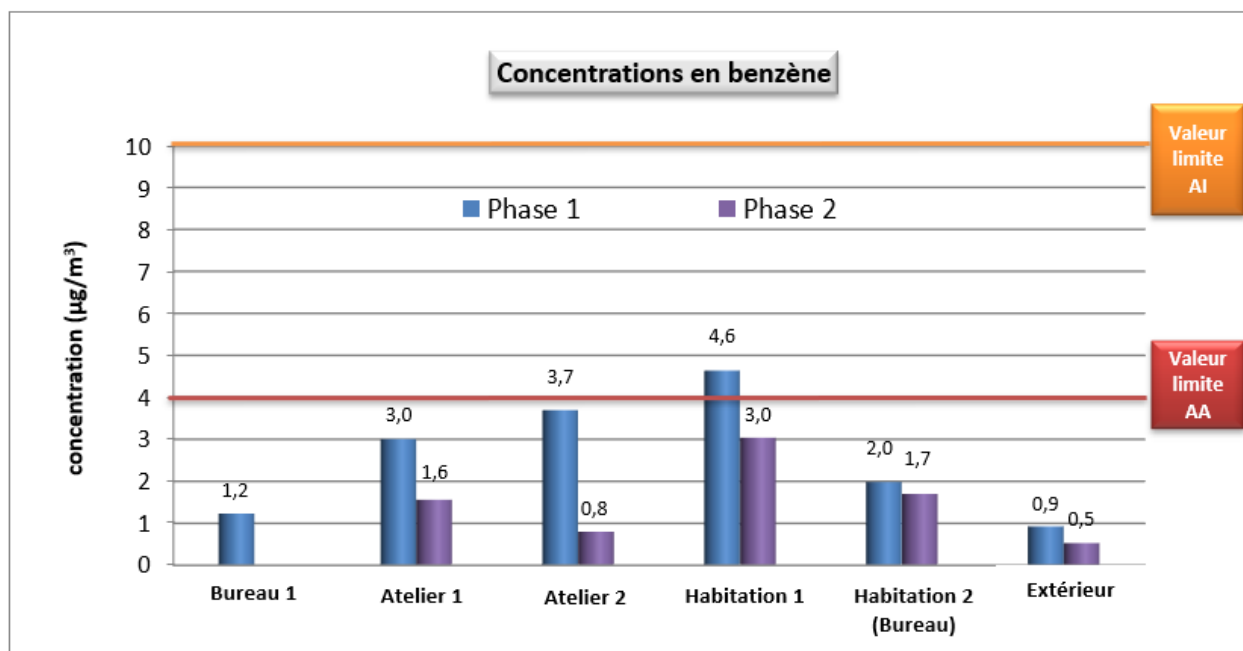
Que ce soit sur la phase 1 ou la phase 2 de la campagne, aucun dépassement du seuil de 1000 ppm et à fortiori du seuil de 1700 ppm sont observés dans cet établissement dans la partie « habitation » comme dans l'atelier traduisant un confinement faible.

4.2. LE BENZENE ET LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS

4.2.1 Le benzène :

Le graphique ci-dessous présente les valeurs obtenues pour le benzène au niveau des différents points de mesure sur la phase 1 (avril), phase 2 (juillet) :

Figure 11 : Concentrations en benzène mesurées dans les différents espaces.



AI : Air intérieur
AA : Air ambiant (extérieur)

Dans le bureau 1, la concentration en phase 1 (avril), avec utilisation des produits classiques est de 1,2 µg/m³. Elle est inférieure à ce qui est habituellement observé dans ces espaces (étude Officair : 1,8 µg/m³ en hiver).

Dans l'atelier 1 : la concentration lors de la phase 1 est de 3,0 µg/m³ et de 1,6 µg/m³ pour la phase 2.

Dans l'atelier 2 : la concentration lors de la phase 1 est de 3,7 µg/m³ et de 0,8 µg/m³ pour la phase 2.

Dans l'habitation 1 (sas de liaison entre atelier et habitation) : la concentration lors de la phase 1 est de 4,6 µg/m³. La concentration lors de la phase 2 est de 3,0 µg/m³.

Dans l'habitation 2 (bureau) : La concentration lors de la phase 1 est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle est supérieure à ce qui est habituellement observé dans ces espaces (étude Officair : $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver). La concentration lors de la phase 2 est de $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle est légèrement supérieure à ce qui est habituellement observé dans ces espaces (étude Officair : $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en été).

La valeur guide en air intérieur fixée à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est respectée dans les bureaux (moyennes des deux phases présentées en annexe). Globalement, la valeur limite fixée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est jamais dépassée sur aucune phase de mesures.

A noter que, quel que soit l'espace considéré, les niveaux de pollution sont plus importants au cours de la première phase par rapport à la deuxième. L'ouverture de la porte principale de l'atelier en juillet (plus de chaleur) pendant la réalisation des activités a notamment pu permettre de limiter la concentration des polluants dans les différents espaces.

Le site « habitation 1 » qui présente les concentrations les plus élevées pour le benzène se situe à proximité de la zone de stockage des produits et semble avoir été fortement impacté par celle-ci.

Comparaison Air intérieur / Air extérieur (tableau présenté en annexe) :

Les valeurs à l'extérieur de $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (première phase, d'avril), de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (seconde phase en juillet) sont faibles, ce qui laisse supposer la présence d'une source intérieure prédominante dans ces deux espaces (atelier et habitation).

Le ratio I/E (concentration intérieure /concentration extérieure) calculé lors de cette campagne pour l'ensemble des pièces est nettement supérieur à 1 ce qui confirme la présence d'une source majoritaire de l'intérieur.

Comparaison Air intérieur : concentration intérieure bureau/concentration atelier :

Les ratios calculés entre les ateliers et les bureaux situés à proximité, à savoir « bureau 1/atelier 2 » et « habitation 2/atelier 1 » et sont :

- **Entre « bureau 1 et atelier 2 »**, au cours de la première phase de 0,32 (le ratio pour la seconde phase n'a pas été calculé en raison d'absence de valeur dans le bureau 1 pour la phase 2).
- **Entre « habitation 2 et atelier 1 »** au cours de la première phase de 0,67 et de 1,06 pour la seconde phase.

Ainsi, en phase 1, le transfert de pollution est plus important entre les points de l'atelier 1 vers l'habitation 2.

4.2.2 Les composés organiques volatils :

Comme de nombreux composés organiques volatils ont été mesurés lors des 2 phases, les résultats ci-dessous sont présentés pour l'ensemble des pièces (tableau 13) :

Le trichloréthylène, le dichlorométhane, le naphthalène, le 2-(2-methoxyethoxy) éthanol, le styrène et le THF ont été mesurés à des concentrations inférieures à la limite de quantification sur les deux phases (non présentés).

Certains composés ne sont présents que sur une seule phase de mesure, dans la majorité des cas lors de la première phase (avril) avant remplacement des produits. Lors de la seconde phase (juillet -produits substitués), un nombre important de composés présentent des taux inférieurs à leur limite de quantification (4,81 µg/m³).

Les composés majoritairement mesurés, toute période confondue, appartiennent aux familles **des esters, cétone et des hydrocarbures (alcane linéaires, ramifiés, cycliques et aromatiques)**. Certains sont présents dans les produits utilisés et répertoriés dans le tableau 1.

On retrouve ainsi, par ordre de grandeur statistique pour les plus importants :

- **L'éthyl-acétate** : présent de la colle néoprène liquide,
- **L'acétone** : présente dans les nettoyeurs d'ustensiles,
- **Le cyclohexane** : présent dans la colle néoprène liquide,
- **Le m-p-xylène** : présent dans les vernis et les vitrificateurs,
- **L'acétate de butyle** : présent dans les vernis et les peintures,
- **Le cyclopentane** : (non identifié dans les produits répertoriés),
- **L'éthyl-benzène** : présent dans les vernis et vitrificateur,
- **Le o-xylène** : présent dans les vernis et vitrificateur,
- **L'acide acétique** (non identifié dans les produits répertoriés).

Viennent ensuite le cyclohexane methyl, l'heptane, l'hexane, le toluène, hexane, 3-methyl, le limonène et le benzène. La figure 12 présente, selon les périodes de mesures et les sites, ces composés majoritaires.

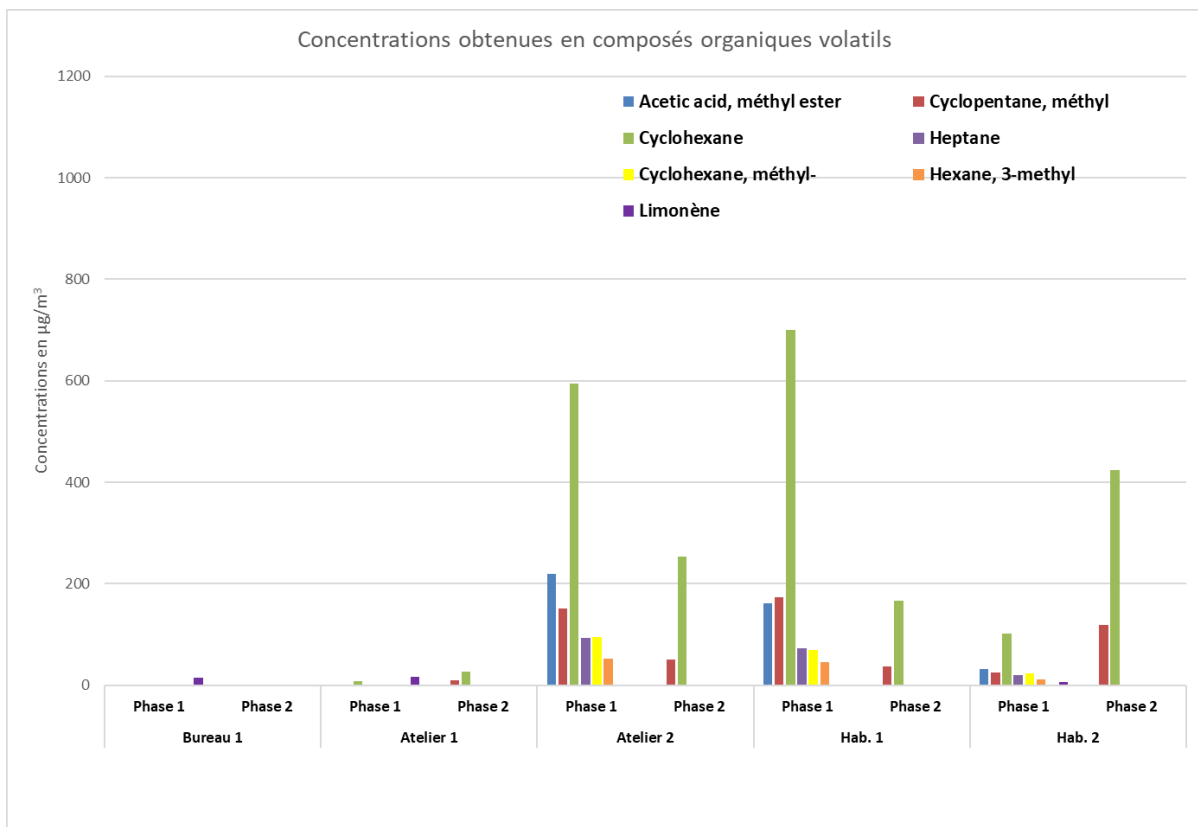
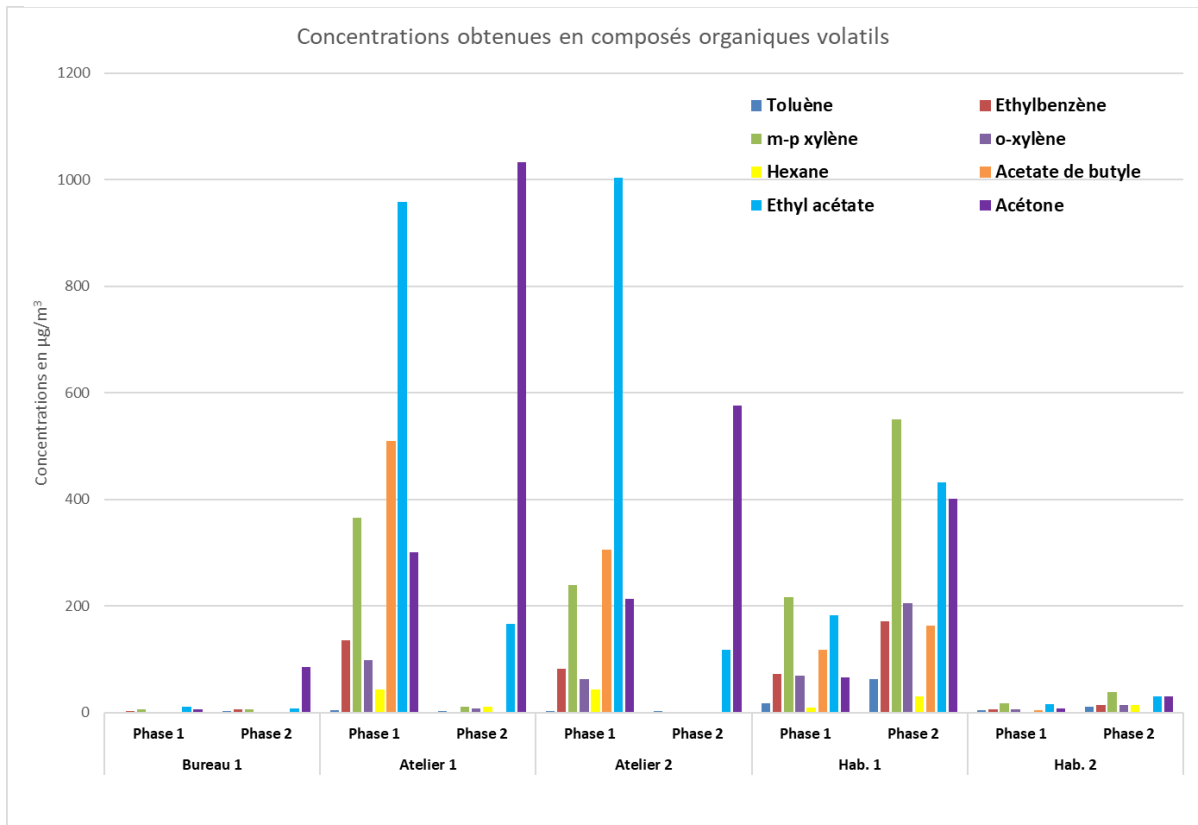
Mise à part le toluène et l'acétone, les concentrations sont globalement plus importantes en phase 1 par rapport à la phase 2.

Tableau 13 : COV mesurés sur les deux phases de la campagne.

Sites	Périodes	Concentration en µg/m ³																Total
		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m-p xylène	o-xylène	Hexane	Cyclopentane, méthyl	Heptane	Cyclohexane	Cyclohexane, méthyl-	Hexane, 3-méthyl	Ethylacétate	Acétic acid, méthylester	Acétate de butyle	Acétone	Limonène	
		Familles																
		Hydrocarbures (alcanes linéaires, ramifiés, cycliques et aromatiques)											Esters		Cétone	Terpène		
Bureau	Phase 1	1,2	0,9	3	6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10	< LQ	< LQ	5,4	14	41
	Phase 2	/	3,5	6,3	5,4	< LQ	< LQ	< LQ	/	< LQ	/	/	8	/	< LQ	86	/	192
Atelier 1	Phase 1	3,0	4,3	135	365	99	43	152	94	595	95	52	958	220	509	301	< LQ	3625
	Phase 2	1,6	3,3	< LQ	10	7	11	51	/	254	/	/	166	/	< LQ	1033	/	1537
Atelier 2	Phase 1	3,7	3,4	82,8	239	63	43	174	72	700	69	45	1004	161	305	213	< LQ	3178
	Phase 2	0,8	2,7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	37	/	167	/	/	118	/	< LQ	577	/	903
Hab. 1	Phase 1	4,6	18,1	72	216	70	10	26	20	101	23	12	183	31	117	66	6	976
	Phase 2	3,0	62,8	171	550	206	31	119	/	425	/	/	433	/	163	401	/	2565
Hab. 2	Phase 1	2,0	4,1	6	18	6	< LQ	< LQ	< LQ	8	< LQ	< LQ	16	< LQ	5	7,6	16	89
	Phase 2	1,7	10,1	14	38	14	14	9,1	/	27	/	/	30	/	< LQ	30	/	188
Extérieur	Phase 1	0,9	0,5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,4
	Phase 2	0,5	0,4	0,2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	/	< LQ	< LQ	< LQ	1,1

*LQ : 4,81 µg/m³

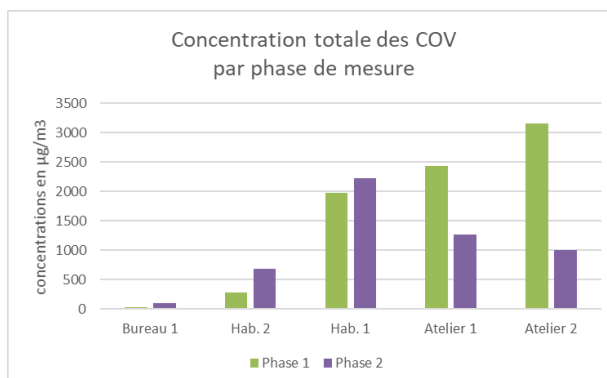
Figure 12 : Composés mesures lors des deux phases dans les différents espaces.



Lors de la première période, les pièces les plus chargées sont (par ordre de grandeur statistique – figure 13) : l’atelier 2, l’atelier 1, l’habitation 1, l’habitation 2 (bureau) et le bureau 1.

Pour la seconde phase, c’est dans la pièce habitation 1 que l’on retrouve les concentrations les plus fortes notamment en raison de la détection de tous les composés mesurés dont certains (par exemple l’acétone, l’éthyl-acétate, les xylènes...) sont présents à des concentrations plus importantes sur cette phase. Rappelons que ce point est placé à proximité des armoires de stockage des produits, pouvant impacter les mesures.

Figure 13 : Ensemble des COV mesurés par phase



Viennent ensuite l’atelier 1, l’atelier 2, l’habitation 2 (bureau) et le bureau 1. Cette phase est beaucoup moins chargée que la précédente.

Dans les bureaux, par rapport aux données comparatives de la campagne Officair, les niveaux observés (benzène, toluène, xylènes, éthylbenzène) sont **du même ordre de grandeur voire légèrement supérieurs aux valeurs obtenues lors de cette campagne (tableau 10)**.

Sur l’ensemble des espaces instrumentés, les **valeurs guides indicatives sont largement respectées pour le toluène** (fixée à 20 000 µg/m³) **et l’éthylbenzène** (fixée à 1500 µg/m³). **En revanche, le m-p xylène** dépasse largement cette valeur fixée à 200 µg/m³ notamment dans la pièce habitation 1 et atelier 1, phase 1 comme phase 2, ainsi que sur la période 1 dans l’atelier 2.

En termes d’exposition professionnelle, les valeurs mesurées dans les ateliers respectent, à titre indicatif (pour rappel les techniques de prélèvements/mesures ne permettent pas de s’y comparer), les VLEP définis pour chaque composé à savoir, benzène, toluène, n-hexane, acétate de butyle, acétate d’éthyle et acétone (voir tableau 9).

En extérieur, la plupart des composés ont des résultats inférieurs à leur limite de quantification et pour ceux qui ont été mesurés, leurs concentrations sont faibles (toluène et éthylbenzène).

Si l’on compare les concentrations obtenues dans les ateliers à celles obtenues à l’extérieur et que l’on calcule pour le benzène et le toluène (composés mesurés sur les deux phases) les ratios Intérieur/Extérieur, ces derniers sont tous supérieurs à 1. Ce qui veut dire que, quelle que soit la période considérée, la pollution est plus importante à l’intérieur qu’à l’extérieur. Pour information, les ratios sont présentés en annexe.

Si l’on compare les ratios obtenus entre les ateliers et les bureaux situés à proximité, à savoir « habitation 2/atelier 1 » et « bureau 1/atelier 2 », on note, pour les composés quantifiés sur les deux phases à savoir le toluène, l’éthyl acétate et l’acétone, que :

- **Entre « habitation 2 et atelier 1 »** les ratios varient au cours de la phase 1 entre 0,03 et 0,95 et entre 0,03 et 3,06 au cours de la phase 2.
- **Entre « bureau 1 et atelier 2 »**, les ratios varient au cours de la phase 1 entre 0,01 et 0,26 et ceux obtenus lors de la seconde varient entre 0,07 et 1,3.

Ces éléments permettent de conclure :

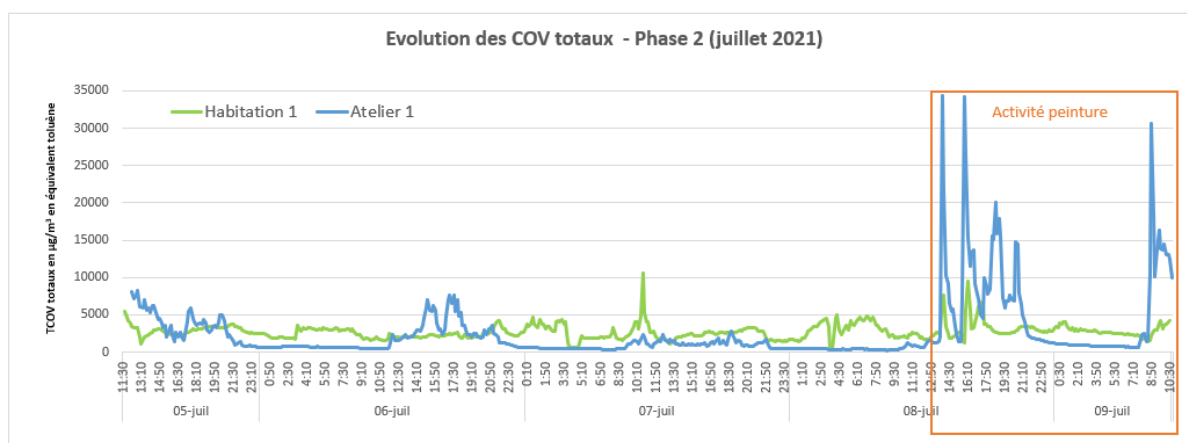
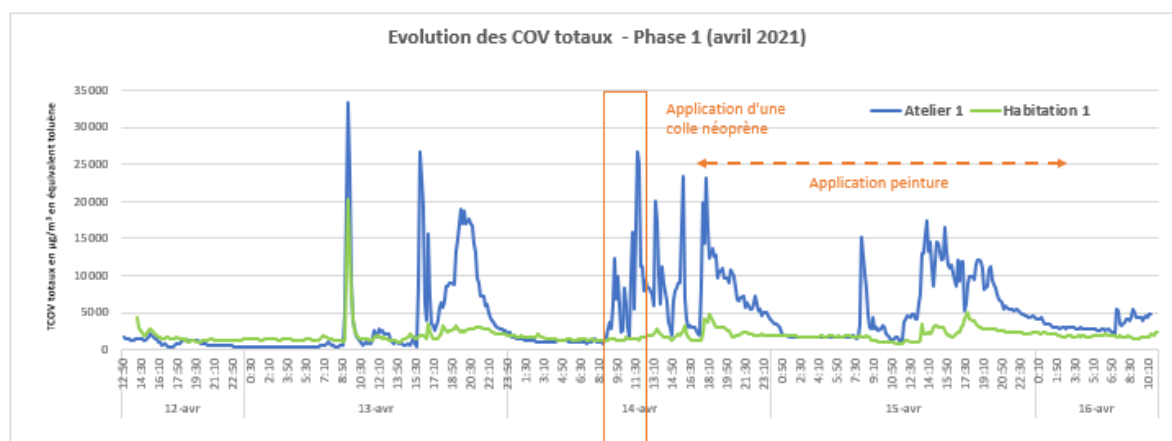
- Que le transfert de pollution est plus important lors de la seconde phase (juillet). L'ouverture des portes entre différents espaces dans l'atelier pendant la réalisation des activités a notamment favorisé le transfert vers les espaces attenants.
- Que la charge globale est moindre dans les ateliers lors de la seconde phase, sauf pour l'acétone. Cela est confirmé par le graphique ci-après qui présente l'évolution des COV totaux au cours des deux phases.

Evolution dynamiques des polluants :

Rappelons que deux balises ont été installées, une dans l'atelier 1 et une autre dans la pièce d'habitation 1 (sas de liaison).

Les graphiques ci-après présentent l'évolution des COV totaux pour les deux phases de mesures. **A noter que les encadrés « orange » correspondent aux périodes d'utilisation des produits qui ont été communiqués au travers des questionnaires d'activités (laissés aux gestionnaires au cours des semaines de mesures). La flèche orange en pointillée, correspond à une information complémentaire d'utilisation de peinture transmise oralement au CNIDEP à postériori.**

Figure 14 : Evolution des COV totaux dans l'atelier de peinture et l'habitation 1 (sas de liaison) au cours des deux phases.



Hormis quelques pics plus marqués en juillet (phase 2) en lien avec la réalisation de l'activité « peinture » en fin de période, les concentrations sont plus faibles sur cette phase par rapport à la phase 1 (avril).

D'après le questionnaire, le pic observé le 14 avril coïncide avec l'emploi d'une colle néoprène dans l'atelier 1. Une activité peinture a été également pratiquée mais les dates exactes d'application ne figurent pas dans le questionnaire (notifiée cependant sur le graphique à titre indicatif). Concernant les autres pics, aucune information ne permet d'en déterminer la cause exacte mais les différentes activités propres à ce type d'atelier peuvent en expliquer l'origine.

Malgré l'emploi d'une peinture faiblement émissive (utilisée en sous couche), un pic est observé en juillet (seconde phase, après substitution de produits) à savoir le jeudi 8 juillet après-midi (14h-17h30) et le vendredi 9 juillet matin (8h-12h).

En l'absence d'informations complémentaires sur les questionnaires, l'origine de certains pics observés tout au long des deux phases n'est pas connue.

Zoom sur les isocyanates :

Les isocyanates (IPDI (isophorone Diisocyanate) et HDI (hexaméthylène diisocyanate)) ont été mesurés dans l'atelier près de la zone où se déroule les activités de peinture (atelier 1) et dans le sas de liaison vers l'habitation (habitation 1).

Rappelons que ces composés peuvent être présents dans les colles, les liants et mousses de polyuréthane. Soulignons que, d'après les informations récoltées, les produits utilisés durant la campagne sembleraient ne pas contenir d'isocyanates. Il avait cependant été choisi d'inclure ces polluants dans les produits recherchés car ils apparaissent dans la liste des produits stockés et potentiellement utilisés dans la menuiserie.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Concentrations en isocyanates

Sites	Périodes	Concentration en ng/m ³	
		IPDI (Isophorone Diisocyanate)	HDI (hexaméthylène diisocyanate)
Atelier 1	Phase 1	<LQ	43
	Phase 2	<LQ	22
Habitation 1	Phase 1	<LQ	<LQ
	Phase 2	<LQ	<LQ

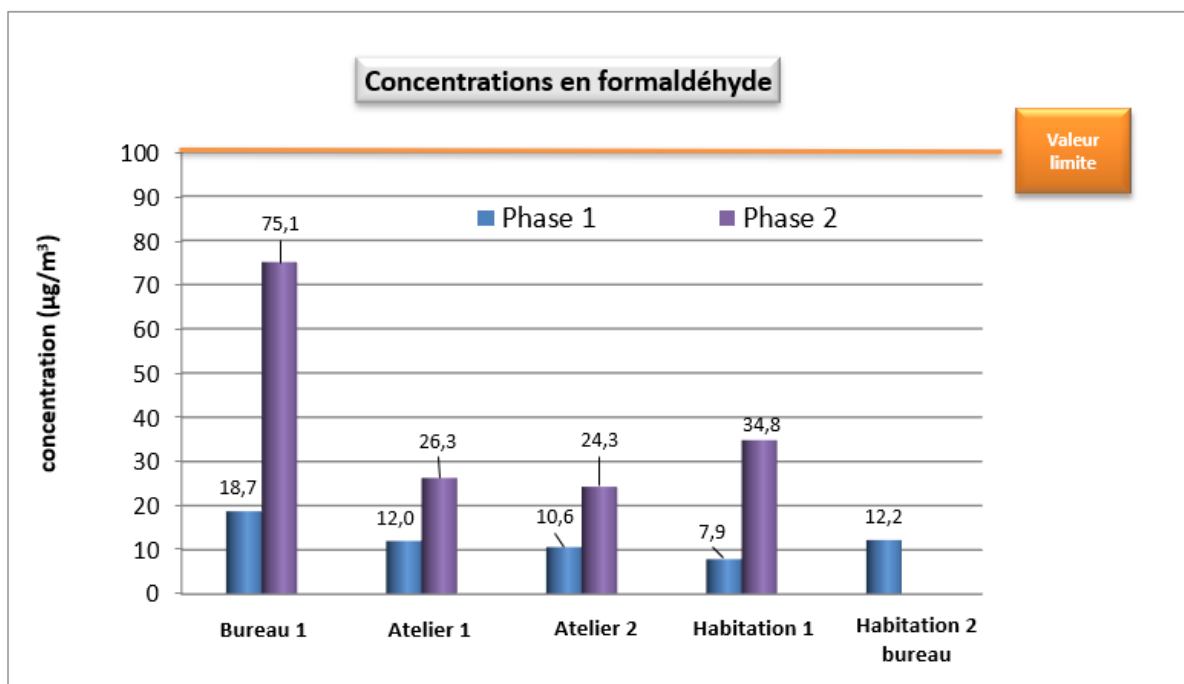
On note la présence des isocyanates (IPDI et HDI) uniquement sur la phase 1 et à des niveaux nettement inférieurs aux VLE proposées pour la France qui sont pour :

- Le 1,6 Diisocyanate d'hexaméthylène : VLCT = 0,15 mg/m³, VME = 0,075 mg/m³.
- Le Diisocyanate d'isophorone : VLCT = 0,18 mg/m³ (concentration pour une durée de 5mn), VME = 0,09 mg/m³.

4.3. LE FORMALDEHYDE ET LES ALDEHYDES

Les concentrations en formaldéhyde obtenues dans les différents espaces ont été reportées dans le graphique ci-après :

Figure 15 : Concentrations en formaldéhyde



Dans le **bureau**, la concentration lors de la phase 1 est de 18,7 µg/m³. La concentration lors de la phase 2 est de 75,1 µg/m³ ce qui est supérieur à ce qui est habituellement observé dans les espaces intérieurs.

Dans **l'atelier**, les concentrations lors de la phase 1 sont comprises entre 10,6 µg/m³ et 12 µg/m³. Les concentrations lors de la phase 2 sont comprises entre 24,3 µg/m³ et 26,3 µg/m³.

Dans l'habitation 1 (sas de liaison entre atelier et habitation), la concentration lors de la phase 1 est de 7,9 µg/m³. La concentration lors de la phase 2 est de 34,8 µg/m³.

Dans l'habitation 2 (bureau) : la teneur de la première phase est de 12,2 µg/m³. Un problème technique n'a pas permis de récolter pour cette pièce les informations pour la seconde phase.

Les concentrations mesurées dans les bureaux sont supérieures à ce qui est habituellement mesuré dans des locaux de type bureaux puisque 7,5 µg/m³ (hiver) et 14 µg/m³ (été) ont été observés lors de la campagne **Officair**.

A l'inverse du benzène, quel que soit l'espace considéré, les niveaux de formaldéhyde sont plus importants en période 2 (plus propice à leur émission) par rapport à la première phase.

La valeur guide en air intérieur fixée à 30 µg/m³ est dépassée dans le bureau 1 (moyennes des deux phases présentées en annexe).

La valeur limite de 100 µg/m³ n'est dépassée dans aucun espace.

Au vu de ces observations, il apparaît que les **sources en formaldéhyde ne proviennent pas uniquement de l’atelier** et pourraient également liées à la présence dans les bureaux de mobiliers (bois agglomérés), voire à l’utilisation de produits d’entretien.

Hypothèse vérifiée par la présence d’hexaldéhyde dont les sources peuvent provenir de panneaux de particules, de peintures à phase solvant, de produit de traitement du bois ou de la présence de panneaux de bois bruts ou agglomérés. Mise à part ce composé, les concentrations obtenues pour les autres aldéhydes, présentées dans le tableau suivant, sont plus faibles. Là encore, c’est dans le bureau 1 que l’on observe les valeurs les plus importantes, sur les deux phases.

Tableau 15 : Concentrations en aldéhydes.

Sites	Périodes	Concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
		Acétaldéhyde	Hexaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Valéaldéhyde
Bureau	Phase 1	5,7	20,2	1,6	5,2	<LQ	3,2
	Phase 2	25	136	7	22	2	26,2
Atelier 1	Phase 1	5,6	8,8	1,6	3,8	<LQ	0,7
	Phase 2	3,4	14,9	1,7	3,3	<LQ	2,1
Atelier 2	Phase 1	5,0	8,3	1,8	3,1	<LQ	0,6
	Phase 2	3,6	14	1,8	2,9	<LQ	2,0
Habitation 1	Phase 1	3,6	2,8	1,4	2,5	<LQ	0,3
	Phase 2	4,6	11	1,8	4,7	0,5	1,6
Habitation 2 (bureau)	Phase 1	7,6	5,4	1,2	3,9	<LQ	0,7
	Phase 2	/	/	/	/	/	/

Concernant les données comparatives de la campagne Officair, les niveaux observés dans le bureau 1 sont **supérieurs aux valeurs obtenues lors de cette campagne notamment pour le formaldéhyde et l’héxaldéhyde (tableau 10)**.

Par rapport à la **valeur guide indicative pour l’acétaldéhyde ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$)**, celle-ci est largement respectée dans toutes les pièces instrumentées.

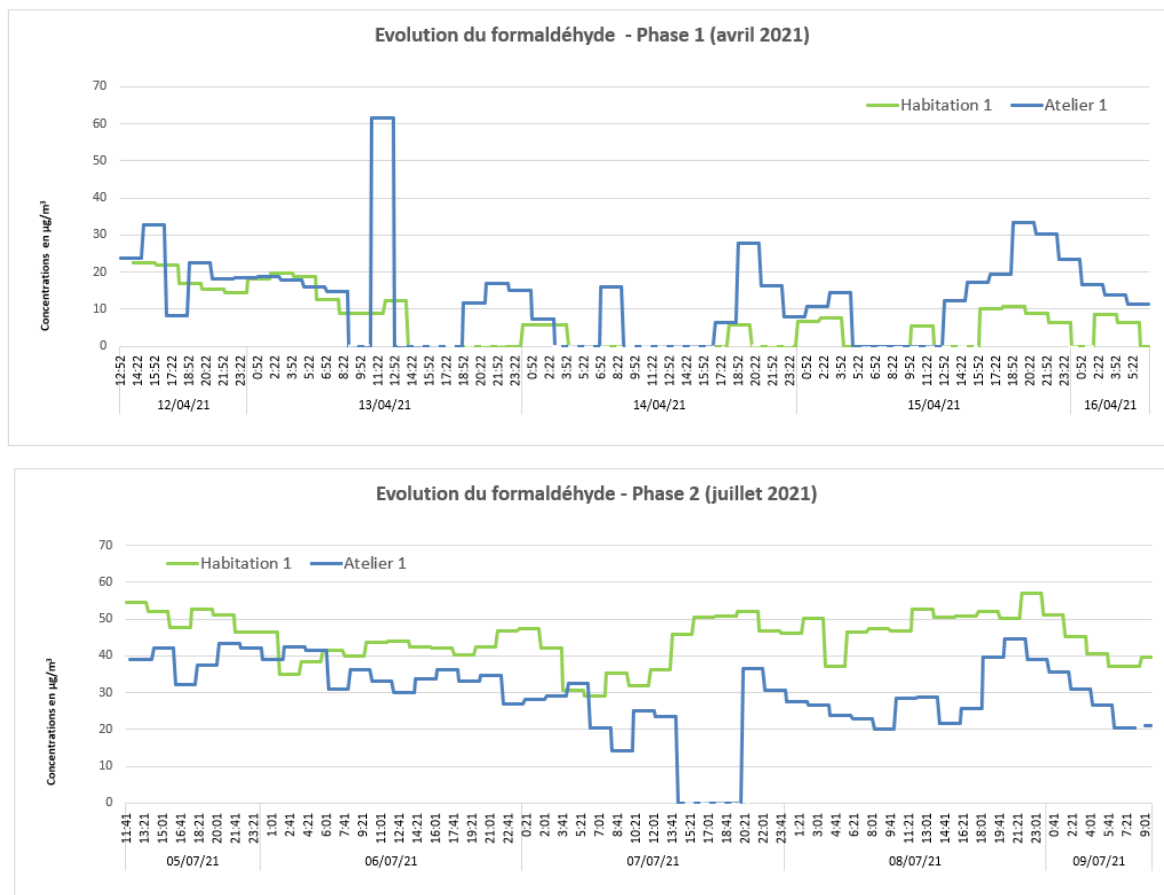
Evolutions dynamiques du formaldéhyde :

Pour rappel, le NEMO qui mesure le formaldéhyde en continu a été installé dans l’atelier (atelier 1) et dans le sas de passage vers l’habitation (habitation 1). La figure suivante présente les résultats obtenus pour les deux phases de mesures en 2021.

Concernant la première phase de mesures, les niveaux sont assez bien corrélés avec ceux des COV totaux (figure 14). A une amplitude moindre, les mêmes hausses sont constatées notamment pour le site de l’atelier 1.

Pour la deuxième phase, cette corrélation est moins importante. Toutefois, la hausse des niveaux constatés le 8 juillet pour les COV totaux est présente également sur la figure 16.

Figure 16 : Evolution du formaldéhyde sur les sites « Atelier 1 » et « Habitation 1 » durant les 2 phases



4.4. LES PM2,5

Le tableau ci-dessous précise les teneurs obtenues lors des deux périodes.

Tableau 16 : Concentrations obtenues pour les PM2,5 mesurées durant les deux phases.

Sites	Périodes	Concentrations PM2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Mesures actives (μvol)	Mesures dynamiques (PDR)	
		Teneurs	Teneurs	Maximum
Bureau 1	Phase 1	15,3		
	Phase 2	9,8		
Atelier 1	Phase 1	71,1	53,1	1203
	Phase 2	20,5	8,3	188
Atelier 2	Phase 1	3,01		
	Phase 2	*		
Habitation 1 (sas)	Phase 1	27,1	15,9	692
	Phase 2	6,9	3,5	41
Habitation 2 (bureau)	Phase 1	15,2		
	Phase 2	13,4		

*Pompe débranchée

Concernant les mesures actives :

- **Dans le bureau**, la teneur obtenue lors de la phase 1 est de $15,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour la phase 2 de $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Dans l'atelier 1**, la teneur obtenue lors de la phase 1 est de $71,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour la phase 2 de $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Dans l'atelier 2**, la teneur obtenue lors de la phase 1 est de $3,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la teneur de la phase 2 a été invalidée pour un problème technique (pompe débranchée).
- **Dans l'habitat 1**, la teneur obtenue lors de la phase 1 est de $27,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour la phase 2 de $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Dans l'habitat 2** qui est en fait un bureau, la teneur obtenue lors de la phase 1 est de $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et pour la phase 2 de $13,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

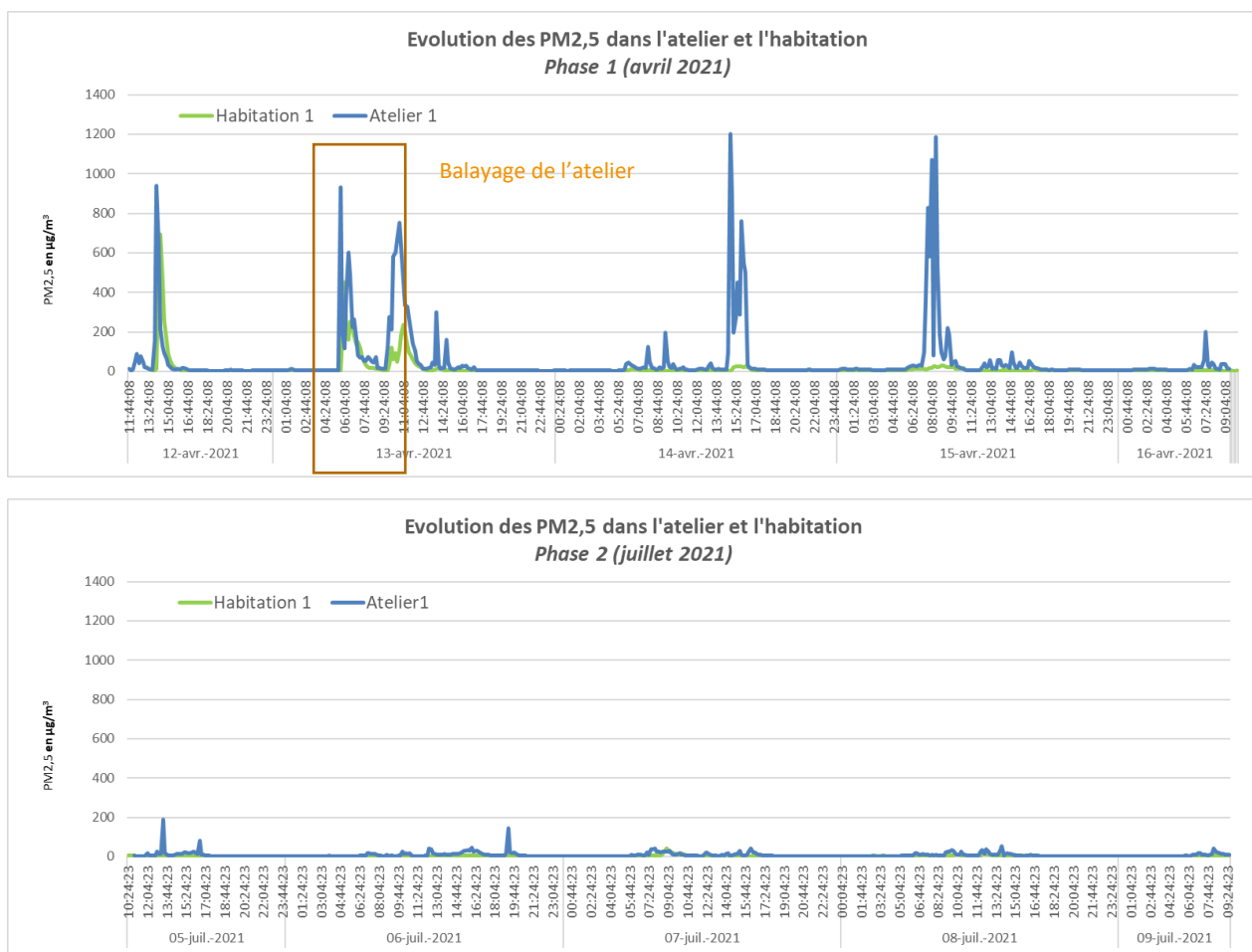
Les valeurs mesurées pour les PM2,5 dans le bureau sont relativement faibles et conformes à ce qui est habituellement mesuré dans les bureaux ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver et $9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en été pour la campagne Officair).

La valeur repère fixée par le Haut Conseil de Santé public ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2021)) est dépassée sur le site de l'atelier 1, habitation 1 et habitation2 (moyennes des deux phases présentées en annexe).

Evolutions dynamiques des PM_{2,5} :

A noter que l'encadré « orange » correspond à une période d'activité de balayage qui a été communiquée au travers des questionnaires d'activités (laissés aux gestionnaires au cours des semaines de mesures).

Figure 17 : Evolution des particules PM_{2,5} dans l'Atelier 1 et Habitation 1 durant les phases 1 et 2.



Globalement, les niveaux observés lors de la phase 1 sont plus importants qu'au cours de la deuxième phase. L'ouverture des fenêtres et portes a certainement contribué à la dispersion des particules lors de la seconde phase.

Quelques pics importants sont observés notamment en phase 1. Un seul est attribuable, d'après le questionnaire, à l'activité de balayage (13 avril 2021 par exemple). Quelques petits pics sont attribuables cependant au balayage quotidien. On note toutefois que ces hausses sont corrélées avec celles observées pour les COV totaux.

En l'absence d'informations complémentaires sur les activités de la semaine (absence de remplissage des questionnaires), il n'est pas de possible de déterminer l'origine des autres pics importants observés durant les phases de mesures.

5. CONCLUSION

Dans le cadre d'une étude réalisée en partenariat avec le CNIDEP et avec le soutien de la DREAL dans le cadre du PRSE 3, ATMO Grand Est a réalisé des campagnes de la qualité de l'air à l'intérieur d'une menuiserie. La première campagne, en période printanière (12/04/2021 au 16/04/2021) correspondant également à un état des lieux, sans changement au niveau des produits habituellement utilisés. La seconde, en période estivale (05/07/2021 au 09/07/2021), a été réalisée pendant la substitution par des produits moins émissifs (une peinture en phase aqueuse et un nettoyant pour outils essentiellement).

Pour cette étude, 5 sites ont été instrumentés : deux dans l'atelier, un dans un bureau pouvant accueillir du public, deux dans la partie « habitation » (sas d'accès et bureau). La partie habitat propre aux propriétaires (lieux de vie tels que salon ou chambre) n'a pas été instrumentée à la leur demande, le transfert des polluants vers ces lieux de vie n'a donc pas pu être appréhendé.

Les mesures de la qualité de l'air au sein de la menuiserie (bureau, atelier et « habitation ») ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- **Au niveau des paramètres de confort**, des températures faibles en avril et conformes aux préconisations de l'Ademe en été dans les bureaux. Elles peuvent combiner, dans tous les espaces, des taux d'humidités faibles au printemps et plus élevés en été en lien avec une météorologie perturbée observée sur la région Grand Est en juillet 2021, l'ensemble pouvant conduire à des sensations d'inconfort.
- **Le renouvellement d'air**, mesuré par les taux de CO₂, est satisfaisant dans l'atelier et l'habitation 1 (le sas de passage de celui-ci vers l'habitation) pour les deux phases. Les valeurs maximales de CO₂ sont observées lors de la phase 1 mais le niveau de confinement reste faible. Pour la deuxième phase, durant l'été, l'ouverture de la porte principale a certainement contribué à un meilleur renouvellement de l'air dans les différents espaces.
- **Pour le benzène**, quel que soit l'espace considéré, les concentrations sont plus importantes lors de la phase 1 avant remplacement des produits. Les niveaux les plus importants sont observés dans « l'habitation 1 », « atelier 2 » et « atelier 1 », puis dans les bureaux. En phase 2, dite de substitution des produits, les valeurs sont globalement plus faibles et c'est toujours dans la partie « habitation 1 » que les niveaux sont les plus élevés. Les niveaux obtenus dans les ateliers sont plus faibles que dans les espaces bureaux durant la phase 2. Cette différence pourrait être liée à des pratiques d'aération plus importantes voire à l'utilisation de produits moins émissifs.

Dans les espaces occupés en permanence (bureau), les teneurs sont conformes en phase 1 à ce qui est habituellement mesuré dans des locaux de même typologie (étude bureaux OFFICAIR). Sur la seconde phase (après remplacement de produits), les concentrations sont légèrement supérieures à cette étude notamment dans l'espace « habitation 1 ». A titre indicatif, la valeur guide de 2 µg/m³ est respectée dans ces espaces.

Globalement, la valeur limite fixée à 10 µg/m³ est respectée pour chacune des phases de mesure dans tous les espaces.

- **Concernant la gamme élargie des COV** mesurés, de fortes concentrations en divers composés essentiellement de la famille des esters (éthyl acétate, acétate de butyle), cétone (acétone) et hydrocarbures (cyclo-héxane, les xylènes, l'éthyl-benzène...) sont observés dans la partie « atelier » et dans une moindre mesure dans la partie « habitat ». Ces différents composés sont générés dans l'atelier en lien avec les activités s'y déroulant (peinture et autres activités) et la présence de divers

produits (stockés dans un lieu défini voire posés dans différents endroits de l'atelier). Mis à part le toluène et l'acétone, les concentrations sont globalement plus importantes lors de la phase 1 (avant remplacement des produits) qui est par ailleurs caractérisée par un renouvellement de l'air plus faible.

Les concentrations à l'**extérieur** sont faibles voire inexistantes (valeurs inférieures à la limite de quantification pour la plupart des composés mesurés).

Le **ratio** de transfert (air intérieur/air extérieur) est globalement supérieur à 1, ce qui traduit une présence majoritaire de sources internes au bâtiment. En revanche, le transfert entre l'atelier et le bureau 1 voire jusqu'au bureau de l'habitation 2 est avéré notamment sur la seconde phase (certainement favorisé par des portes communicantes ouvertes).

Sur l'ensemble des espaces instrumentés, les **valeurs de référence sont largement respectées pour le toluène et l'éthylbenzène**. En revanche, à titre indicatif, la valeur guide indicative pour le m-p xylène est dépassée dans la pièce « habitation 1 » et « atelier 1 », sur les deux phases, ainsi que lors de la phase 1 dans l'atelier 2.

- **Pour les isocyanates**, des niveaux sont quantifiés sur la phase 1 (avant remplacement des produits) mais pas sur la phase 2 (pendants remplacement).
- Pour le **formaldéhyde**, contrairement au benzène, les niveaux de pollution sont plus importants sur la seconde phase (qui a eu lieu en été et qui est donc plus propice à leur émission). Les concentrations mesurées dans les bureaux (bureau 1 et bureau installé dans l'habitation) sont, sur les deux phases, supérieures à ce qui est habituellement mesuré dans des locaux de même typologie (campagne bureaux Officair).

Seul le bureau 1 dépasse la valeur guide de 30 µg/m³ (présentée à titre indicatif) et l'ensemble des espaces instrumentés respectent, sur chaque phase, la valeur limite (100 µg/m³).

Mise à part l'héxaldéhyde, les concentrations des autres composés, acétaldéhyde, propionaldéhyde, butyraldéhyde et valéraldéhyde sont faibles. La présence dans le bureau de formaldéhyde et d'héxaldéhyde témoigne à la fois d'un transfert de pollution de l'atelier vers cet espace (en lien avec l'activité peinture répertoriée) mais également de la présence d'une source interne au bureau (présence de mobilier en bois aggloméré).

- **Pour les PM_{2,5}** les valeurs obtenues sont faibles et conformes à ce qui est habituellement mesuré dans des locaux de bureaux. La valeur repère fixée par le Haut Conseil de Santé Public (14 µg/m³) est dépassée sur les sites de l'atelier 1, l'habitation 1 et habitation 2 uniquement.
- Bien que les **données dynamiques** obtenues pour les COV totaux, le formaldéhyde et les particules fines PM_{2,5} dans l'atelier 1 et la partie l'habitation 1 soient partielles, elles mettent en évidence des concentrations parfois importantes dans ces espaces surtout lors de la phase 1. On note que ces pics observés sont bien corrélés avec des activités de la menuiserie (application de peintures, balayage du sol, recensées dans le questionnaire) y compris en phase 2 dite de substitution des produits. En l'absence d'informations sur les questionnaires, l'origine de certains pics est difficilement imputable à l'activité des ateliers.
- Les techniques de mesure employées ne permettant de faire de comparaison directe, à titre indicatif, les résultats obtenus sont inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelles (benzène, toluène, acétate de butyle, acétate d'éthyle, acétone, n-hexane).

Cette étude a permis de mettre en évidence que les espaces ateliers peuvent faire l'objet d'une pollution spécifique et les espaces attenants tels que des bureaux d'un transfert des polluants émis dans ces ateliers (par leurs activités et le stockage des produits). Les transferts s'avèrent favorisés par l'ouverture des portes attenantes. Il y a de plus, pour certains polluants (hexaldéhyde et le formaldéhyde), dans ces derniers, une source spécifique dont l'origine peut provenir du mobilier de bureau.

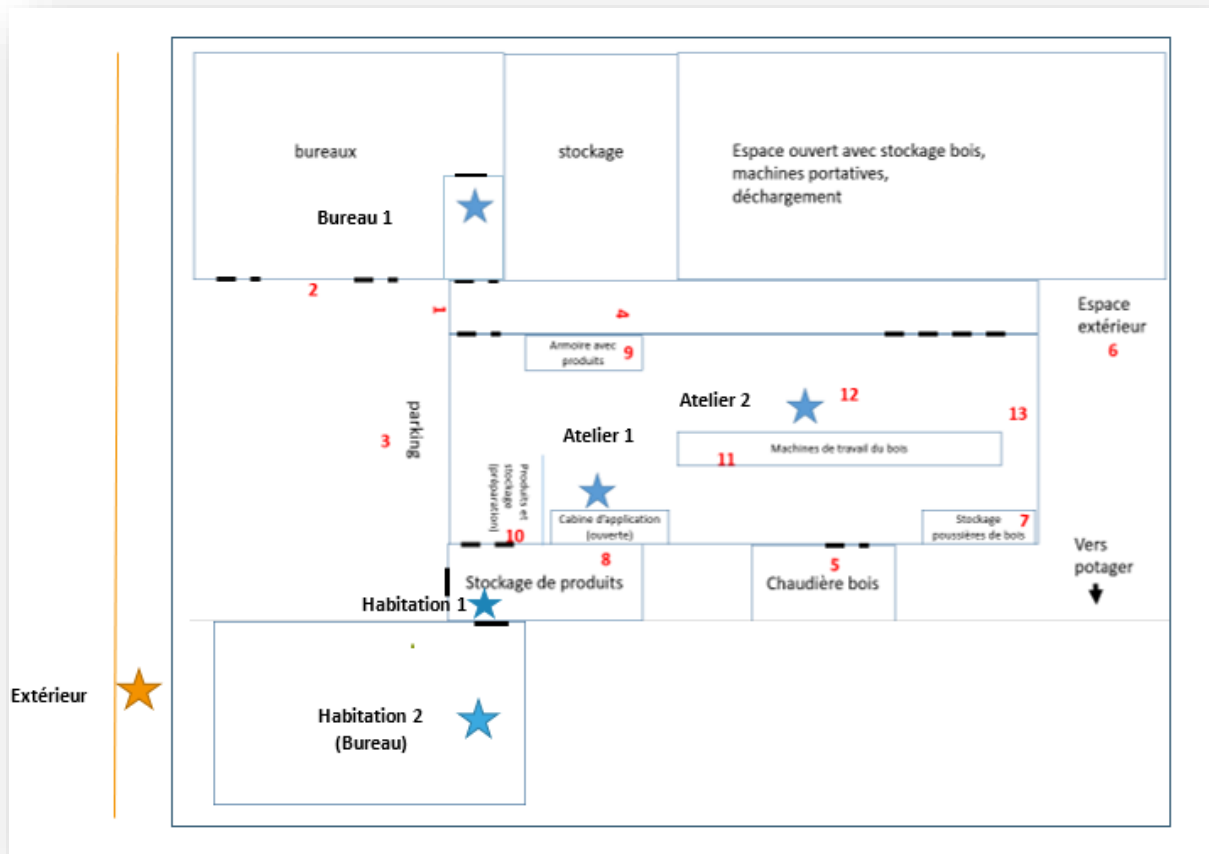
Entre les deux phases de mesures, une amélioration de la qualité de l'air est constatée pour la majorité des composés mesurés. Cependant, celle-ci ne peut pas être entièrement mise sur le compte de l'emploi de produits de substitution moins chargés en COV (présence de pics observés en fin de semaine sur le suivi dynamique après substitution des produits témoigne de la charge). En effet, les conditions de renouvellement d'air des locaux semblent avoir été également un facteur pour la diminution des concentrations.

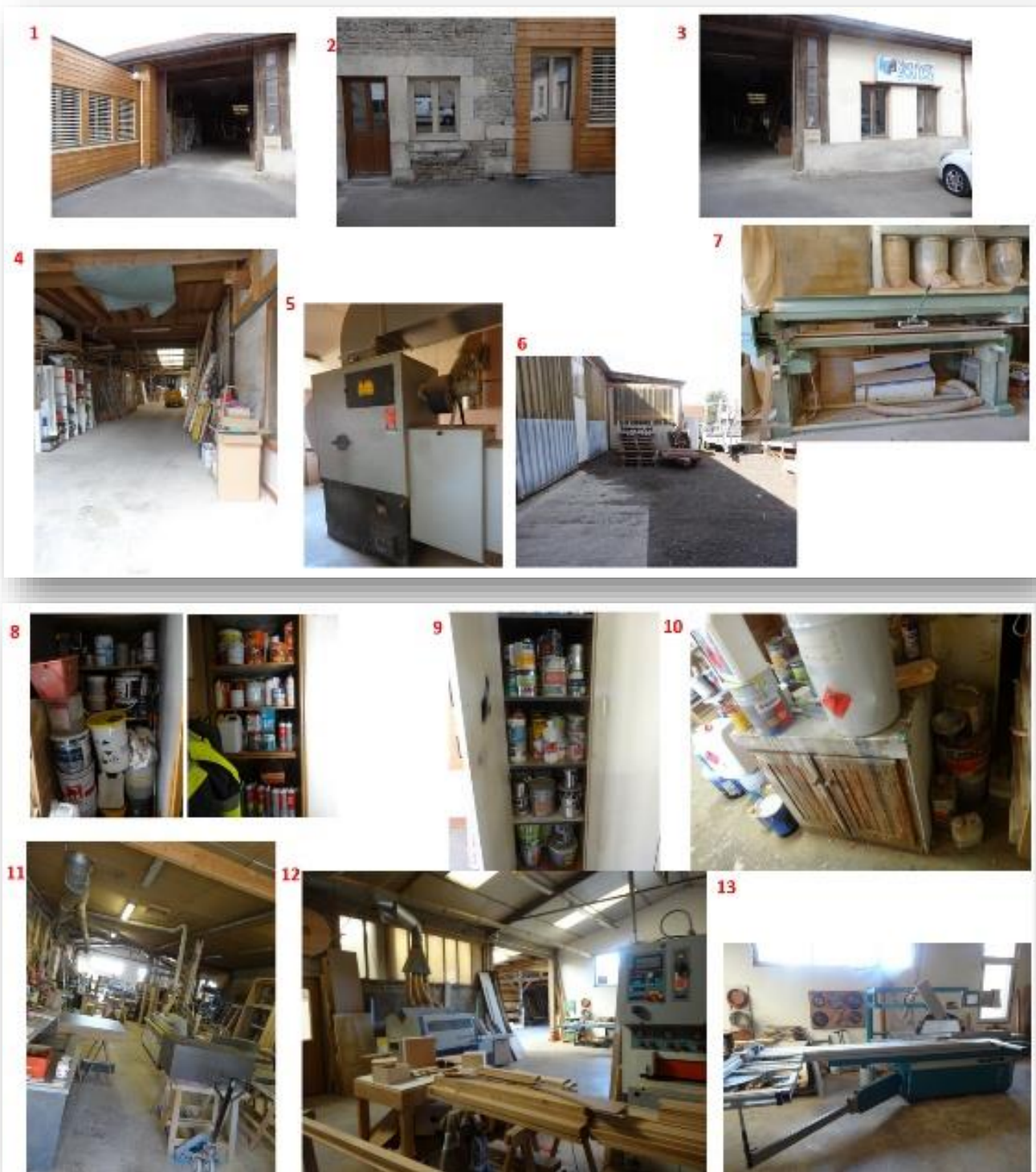
Au vu des résultats obtenus, il est conseillé d'améliorer les conditions de stockage des produits qui peuvent dégrader la qualité de l'air environnante alors même qu'ils ne sont pas utilisés. Par ailleurs, une meilleure ventilation des locaux notamment des bureaux permettrait de limiter l'impact de l'atelier.

Il apparaît également nécessaire de documenter les phénomènes de transfert de pollution pouvant être générés par les activités artisanales vers les lieux d'occupation. C'est pourquoi, il est proposé dans le cadre de l'action du PRSE, d'investiguer d'autres menuiseries présentant des configurations différentes ou d'autres types d'établissements (onglerie, imprimerie...).

6. ANNEXES

ANNEXE 1 : PLAN ET PHOTOS DES SITES INSTRUMENTES LORS DU REPERAGE DES LIEUX.





ANNEXE 2 : CONCENTRATIONS OBTENUES POUR LES COMPOSES MAJORITAIRES ET RATIOS :

CONCENTRATIONS COV ET RATIOS AIR INTERIEUR / AIR EXTERIEUR

Site	Période	Concentration en µg/m ³															
		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m-p xylène	o-xylène	Hexane	Acétate de butyle	Ethyl acétate	Acétone	Acetic acid, méthyl ester	Cyclopentane, méthyl	Cyclohexane	Heptane	Cyclohexane, méthyl-	Hexane, 3-méthyl	Limonène
Bureau 1	Phase 1	1,2	0,9	3	6	< LQ	< LQ	< LQ	10,1	5,4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	14
	Phase 2	/	3,5	6,3	5,4	< LQ	< LQ	< LQ	7,8	85,6	/	< LQ	< LQ	/	/	/	/
	Moyenne	1,2	2,2	4,7	5,7	/	/	/	8,9	45,5	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 1	1,3	1,8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	/	8,75	31,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Atelier 1	Phase 1	3	4,3	135	365,1	99	43	509	958,1	301,2	220	151,7	594,8	94	95	52	< LQ
	Phase 2	1,6	3,3	< LQ	10,3	7	11	< LQ	165,7	1033,4	/	50,7	253,9	/	/	/	/
	Moyenne	2,3	3,8	/	187,6	53	27	/	561,9	667,3	/	101,2	424,4	/	/	/	/
	R. Phase 1	3,3	8,6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	3,2	8,25	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Atelier 2	Phase 1	3,7	3,4	82,8	238,7	63	43	305	1003,8	213,4	161	174,1	699,9	72	69	45	< LQ
	Phase 2	0,8	2,7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	117,5	576,9	/	37	166,9	/	/	/	/
	Moyenne	2,2	3,1	/	/	/	/	/	560,3	395,2	/	105,5	433,4	/	/	/	/
	R. Phase 1	4,1	6,8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	1,6	6,75	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Hab. 1	Phase 1	4,6	18,1	72,4	216	70	10	117	182,9	66,2	31,3	25,7	101,1	20	23	12	6
	Phase 2	3	62,8	170,5	550	206	31	163	432,5	400,8	/	118,7	424,7	/	/	/	/
	Moyenne	3,8	40,5	121,5	383	138	21	140	307,7	233,5	/	72,2	262,9	/	/	/	/
	R. Phase 1	5,1	36,2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	6	157	852,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Hab. 2	Phase 1	2	4,1	6	17,8	6	< LQ	5	16,2	7,6	< LQ	< LQ	8,1	< LQ	< LQ	< LQ	16
	Phase 2	1,7	10,1	14	38,2	14	14	< LQ	29,8	29,6	/	9,1	27,3	/	/	/	/
	Moyenne	1,8	7,1	10	28	10	/	/	23	18,6	/	/	21,8	/	/	/	/
	R. Phase 1	2,2	8,2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	3,4	25,25	70	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ext	Phase 1	0,9	0,5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Phase 2	0,5	0,4	0,2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	/	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Moyenne	0,7	0,4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

RATIOS AIR INTERIEUR : ESPACE BUREAU 1/ ATELIER 2

		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m-p xylène	o-xylène	Hexane	Acétate de butyle	Ethyl acétate	Acétone	Acetic acid, méthyl ester	Cyclopentane, méthyl	Cyclohexane	Heptane	Cyclohexane, méthyl-	Hexane, 3-méthyl	Limonène
Bureau 1	Phase 1	1,2	0,9	3	6	< LQ	< LQ	< LQ	10,1	5,4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	14
	Phase 2	/	3,5	6,3	5,4	< LQ	< LQ	< LQ	7,8	85,6	/	< LQ	< LQ	/	/	/	/
Atelier 2	Phase 1	3,7	3,4	82,8	238,7	63	43	305	1003,8	213,4	161	174,1	699,9	72	69	45	< LQ
	Phase 2	0,8	2,7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	117,5	576,9	/	37	166,9	/	/	/	/
Ratio	R. Phase 1	0,32	0,26	0,04	0,03	/	/	/	0,01	0,03	/	/	/	/	/	/	/
	R. Phase 2	/	1,30	/	/	/	/	/	0,07	0,15	/	/	/	/	/	/	/

RATIOS AIR INTERIEUR : ESPACE HABITATION 2 (BUREAU) / ATELIER1

		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m-p xylène	o-xylène	Hexane	Acétate de butyle	Ethyl acétate	Acétone	Acetic acid, méthyl ester	Cyclopentane, méthyl	Cyclohexane	Heptane	Cyclohexane, méthyl-	Hexane, 3-méthyl	Limonène
Hab. 2 bureau	Phase 1	2	4,1	6	17,8	6	< LQ	5	16,2	7,6	< LQ	< LQ	8,1	< LQ	< LQ	< LQ	16
	Phase 2	1,7	10,1	14	38,2	14	14	< LQ	29,8	29,6	/	9,1	27,3	/	/	/	/
Atelier 1	Phase 1	3	4,3	135	365,1	99	43	509	958,1	301,2	220	151,7	594,8	94	95	52	< LQ
	Phase 2	1,6	3,3	< LQ	10,3	7	11	< LQ	165,7	1033,4	/	50,7	253,9	/	/	/	/
Ratio	R. Phase 1	0,67	0,95	0,04	0,05	0,06	/	0,01	0,02	0,03	/	/	0,01	/	/	/	/
	R. Phase 2	1,06	3,06	/	3,71	2,00	1,27	/	0,18	0,03	/	0,18	0,11	/	/	/	/

CONCENTRATIONS ALDEHYDES :

Sites	Périodes	Concentrations en µg/m ³					
		Acétaldéhyde	Hexaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Valéraldéhyde
Bureau 1	Phase 1	5,7	20,2	1,6	5,2	<LQ	3,2
	Phase 2	25	136	7	22	2	26,2
	Moyenne	15,3	78,1	4,3	13,5	/	14,7
Atelier 1	Phase 1	5,6	8,8	1,6	3,8	<LQ	0,7
	Phase 2	3,4	14,9	1,7	3,3	<LQ	2,1
	Moyenne	4,5	11,8	1,6	3,5	/	1,4
Atelier 2	Phase 1	5	8,3	1,8	3,1	<LQ	0,6
	Phase 2	3,6	14	1,8	2,9	<LQ	2
	Moyenne	4,3	11,2	1,8	2,9	/	1,4
Habitation 1	Phase 1	3,6	2,8	1,4	2,5	<LQ	0,3
	Phase 2	4,6	11	1,8	4,7	0,5	1,6
	Moyenne	4,1	6,8	1,6	3,6	/	0,9
Habitation 2 bureau	Phase 1	7,6	5,4	1,2	3,9	<LQ	0,7
	Phase 2	/	/	/	/	/	/
	Moyenne	7,6	5,4	1,2	3,9	/	0,7

CONCENTRATIONS PM2,5 :

Sites	Périodes	Concentrations PM2,5 en µg/m ³		
		Mesures actives (µvol)	Mesures dynamiques (PDR)	
		Teneurs	<i>Teneurs</i>	Maximum
Bureau	Phase 1	15,3		
	Phase 2	9,8		
	Moyenne	12,6		
Atelier 1	Phase 1	71,1	53,1	1203
	Phase 2	20,5	8,3	188
	Moyenne	52,1	30,7	
Atelier 2	Phase 1	3,01		
	Phase 2	*		
	Moyenne	/		
Habitation 1 (sas)	Phase 1	27,1	15,9	692
	Phase 2	6,9	3,5	41
	Moyenne	17	9,7	
Habitation 2 (bureau)	Phase 1	15,2		
	Phase 2	13,4		
	Moyenne	14,3		



AtMO
GRAND EST

Metz – Nancy – Reims - Strasbourg

Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03.69.24.73.73 – contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air