

DETOX

Surventilation des bâtiments avant livraison



Rapport final
DOCUMENT PUBLIC

EXPERTISES

Janvier
2022

REMERCIEMENTS

Pierre Deroubaix, Ingénieur, Service Bâtiment ADEME
Etienne Marx, Ingénieur, Service Bâtiment ADEME
Souad Bouallala, Ingénieur, Service Qualité de l'air, ADEME

CITATION DE CE RAPPORT

CS Coeudevez, S Traverse, C Dematteo. DETOX Surventilation des bâtiments avant livraison. Rapport final. 41pp. Janvier 2022

CONSORTIUM :

ALLIE'AIR : Julien BOXBERGER, Anne-Marie BERNARD
BURGEAP : Sylvie TRAVERSE, Chi Kien NGUYEN, Alain GUIAVARCH, Jean Marie COME
EXPLOR'AIR : Karim MEDIMAGH, Guillaume PASCAL
INDDIGO Bâtiment, énergies & climat : Charline DEMATTEO, Elsa JEANDEL
MEDIECO : Marine GUIIS, Claire-Sophie COEUDEVEZ

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1904C0020

Étude réalisée par MEDIECO, ALLIE'AIR, BURGEAP, INDDIGO, EXPLORAIR pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : MEDIECO
Appel à projet de recherche : CORTEA 2019

Coordination technique - ADEME : DEROUBAIX Pierre ingénieur
Direction/Service : Bâtiment

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCTION	7
2. STRUCTURATION DU PROJET	8
3. ÉTAT DE L'ART DES CONNAISSANCES ACTUELLES SUR LE PROCESSUS DE SURVENTILATION	9
3.1. Impact des processus physiques sur les émissions de matériaux	9
3.2. Les objectifs de la surventilation	10
3.3. La surventilation dans les certifications et démarches environnementales	12
3.3.1. Les différentes typologies de surventilation	13
3.3.2. Orientations des travaux pour le projet DETOX	14
4. ÉVALUATION EN LABORATOIRE DE L'INFLUENCE DE LA VENTILATION ET DE LA TEMPERATURE SUR LES EMISSIONS	15
4.1. Matériaux et protocole expérimental	15
4.2. Polluants émis par les matériaux	17
4.2.1. Panneaux MDF	17
4.2.2. Peinture	18
4.3. Impact d'une augmentation de ventilation ou de température sur les émissions et les concentrations dans l'air	18
4.3.1. Peinture	18
4.3.2. Panneaux agglomérés MDF	20
4.4. Perspectives	20
5. EXPERIMENTATION DE LA SURVENTILATION SUR DEUX OPERATIONS	21
5.1. Présentation des 2 opérations	21
5.1.1. École élémentaire	21
5.1.2. Bâtiment de logements collectifs	21
5.2. Protocoles mis en œuvre	22
5.2.1. École élémentaire	22
5.2.2. Bâtiment de logements collectifs	24
5.3. Synthèse des résultats	25
5.3.1. École élémentaire	25
5.3.1.1. Les bénéfices de la ventilation avant occupation	25
5.3.1.2. Les difficultés rencontrées	26
5.3.2. Bâtiment de logements collectifs	26
5.3.2.1. Les bénéfices de la ventilation avant occupation	26
5.3.2.2. Les difficultés de mise en œuvre	26
6. SYNTHÈSE DES APPORTS DU PROJET DETOX	28
6.1. Les principaux éléments à retenir	28
6.1.1. Issus de l'état de l'art	28

6.1.2.	Issus des essais en laboratoire	28
6.1.3.	Issus des expérimentations in situ.....	29
6.2.	Les conditions de surventilation optimales	29
6.3.	Les freins identifiés à la mise en œuvre des conditions idéales de surventilation	30
6.3.1.	L'augmentation des débits d'air	30
6.3.1.1.	En simple flux	30
6.3.1.2.	En double flux.....	30
6.3.2.	L'atteinte d'une température de 30 °C	30
6.3.3.	Le respect de la durée de la surventilation	31
7.	RECOMMANDATIONS.....	32
7.1.	Proposition de protocoles de « surventilation »	32
7.2.	Recommandations pour la mise en oeuvre des protocoles de surventilation	33
7.2.1.	Prérequis à la mise en œuvre de la ventilation spécifique pendant les OPR	33
7.2.2.	Mission spécifique auprès de l'entreprise en charge du lot CVC.....	34
7.2.3.	Ventilation constante pendant les six premiers mois d'exploitation	34
7.3.	Perspectives.....	34
7.3.1.	Envisager des travaux complémentaires pour la ventilation naturelle	34
7.3.2.	Développer des systèmes simple flux plus adaptés à la surventilation	34
8.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
	INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	35
	SIGLES ET ACRONYMES.....	36

RÉSUMÉ

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur est aujourd'hui intégrée dans divers référentiels de labels, méthodes ou certifications tant en France qu'à l'international. Ces documents préconisent généralement une surventilation du bâtiment avant la réalisation de mesures de concentrations de polluants dans l'air.

La surventilation, aussi appelée flush out ou building flush, vise à accélérer le relargage des composés gazeux par les matériaux et favoriser leur évacuation à l'extérieur du bâtiment. Autrement dit, l'augmentation des débits à réception a deux objectifs :

- Accélérer la réduction des émissions des matériaux avant l'arrivée des occupants,
- Réduire la concentration de ces polluants dans l'air intérieur pour garantir des niveaux acceptables.

Si le phénomène de dégazage des matériaux est a priori facilement compréhensible, peu d'études ont été menées pour évaluer son efficacité et les bonnes conditions de sa mise en œuvre.

Le projet DETOX, lauréat de l'appel à projet CORTEA de l'ADEME, vise à mieux appréhender cette surventilation à travers l'évaluation de son efficacité et des difficultés de mise en œuvre. Le projet a permis de développer un protocole de surventilation pour deux typologies de bâtiment et d'identifier les contraintes, bénéfiques et bonnes pratiques de surventilation.

Préalable indispensable à l'orientation des expérimentations, le projet a débuté par un état de l'art des connaissances actuelles sur le processus de surventilation. Cette tâche avait pour objectifs de décrire les processus physiques et les bénéfices observés dans la littérature mais aussi de recenser et d'analyser les techniques actuelles de dégazage des matériaux à la réception des bâtiments et les recommandations de mise en œuvre associées.

Des essais en laboratoire ont été réalisés sur une peinture et un panneau MDF pour évaluer l'influence de paramètres physiques (vitesse d'air, humidité relative et température) sur les émissions des matériaux en chambre d'essai contrôlée. Sur les deux matériaux testés en laboratoire, il ressort que l'effet combiné de surventilation et surchauffe semble le plus intéressant vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations de polluant dans l'air.

Deux expérimentations sur sites réels, une école et des logements collectifs, ont été conduites. Un protocole de surventilation a été défini pour chaque bâtiment et mis en œuvre sur des durées allant d'une à plusieurs semaines afin d'évaluer l'efficacité de ces protocoles sur les concentrations en polluants dans l'air intérieur. Les mesures de qualité de l'air réalisées dans l'école élémentaire expérimentée ont montré que l'effet couplé de la ventilation et de la hausse des températures permettent une réduction des concentrations de l'ensemble des polluants. Dans le second bâtiment de logements collectifs, l'utilisation de produits faiblement émissifs, la mise en fonctionnement de la ventilation et chauffage en amont de la livraison et le recours à une période d'immobilisation du bâtiment ont montré des résultats positifs pour la qualité de l'air intérieur même si les conditions expérimentales peuvent s'avérer difficiles à répliquer.

L'ensemble des apports du projet DETOX ont permis de proposer deux protocoles de ventilation permettant d'améliorer la qualité de l'air intérieur avant l'arrivée des occupants. Ces protocoles distinguent systèmes de ventilation simple flux ou double flux. Ils reposent sur l'utilisation des systèmes de ventilation définitifs du bâtiment pendant la période des Opérations Préalables à la Réception (OPR) et a minima pendant 28 jours. Ils recommandent également en conditions hivernales la mise en route du chauffage pendant cette période. Enfin, les protocoles recommandent la réalisation de mesures de qualité de l'air avant l'arrivée des occupants pour contrôler les concentrations en polluants dans l'air.

Si ces protocoles doivent apporter des bénéfices pour la qualité de l'air intérieur avant l'arrivée des occupants, les résultats ont également montré la nécessité de respecter les prérequis avant la mise en œuvre de la surventilation et notamment : le choix de produits de construction faiblement émissifs, la fin de toutes les opérations de nettoyage et de retouches avant la mise en fonctionnement des installations de ventilation.

ABSTRACT

Nowadays, improving the indoor air quality is required to reach different standards in building certifications or management methods, both in France and abroad. Those documents recommend while delivering a new building, to flush-out before measuring the indoor air quality.

This flush out intent to release materials' gaseous compounds and to purge them out of the building. Increasing indoor air flow sets two goals:

- Accelerating the emission rate from material to reduce emissions more quickly
- Reducing pollutant concentration in indoor environment to ensure good air quality levels

Even though the phenomenon of material emission is quite easily understandable, very few studies were conducted to estimate the efficiency and the right conditions of its implementation.

DETOX project, selected by the call for project CORTEA lead by the ADEME, seek to better understand physical phenomenon involved in flush-out. The study intends to build a protocol for two types of buildings and identify benefits, constraints, and good practices for its implementation.

As an essential prerequisite to the experiment's orientations, the project began with an international state of the art, reviewing current knowledge on the flush-out process. This task aims to describe the physical processes and the benefits observed in literature about overventilation or increasing temperature on air concentrations, but also to list and analyze the current techniques for degassing materials in new buildings and the related recommended implementation.

Laboratory tests under controlled conditions were conducted using a painting and a plywood panel to assess the influence of physical parameters (air velocity, relative humidity, temperature) on material's emissions. Those tests with two different types of materials, showed that the combined effect of overventilation and overheating is the most interesting to reduce the emissions and concentration of pollutant in the air.

Two experiments were conducted on real building working site: one school and one multi-unit building. A flush-out protocol was defined and implemented on different periods, ranging from one to several weeks, to assess the effectiveness on indoor air pollutant. In the elementary school, the air quality measurements showed that combining overventilation and rising the temperature reduce the concentrations of all the pollutants. In the multi-unit building, using low-emissive products, starting ventilation and heating systems prior to delivery while keeping a period of immobilization showed positive results for indoor air quality, although the experimental conditions could be difficult to replicate.

DETOX's contributions enabled to propose two ventilation protocols to improve indoor air quality in new buildings before occupant's arrival: single and dual flow ventilations. These protocols are based on using building's final ventilation systems during the operations prior to acceptance period and for at least 28 days. During winter periods it recommends to start at the same time the heating system. Finally, the protocols advise to measure air quality before occupants arrival to control pollutants concentrations in the air.

While these protocols should bring benefits for indoor air quality before the arrival of the occupants, the results also showed the need to respect the prerequisites before the flush-out implementation such as: the choice of low-emissive construction products, and the end of all cleaning and retouching operations before starting the ventilation system.

1. Introduction

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur est aujourd'hui un sujet de préoccupation grandissant. Elle est intégrée dans divers référentiels et méthodes de management de la construction tant en France (démarche HQE, méthode ECRAINS, label IntAIRieur, etc.) qu'à l'international (LEED, BREEAM, WELL et plus largement ASHRAE...). Depuis 2010, la réglementation française a également intégré cet enjeu avec la mise en place de l'étiquetage obligatoire des produits de construction et la surveillance obligatoire de la qualité de l'air dans les Etablissements Recevant du Public. Une dynamique forte tend à promouvoir la prise en compte de cet enjeu lors de la construction. Ceci conduit principalement à s'interroger sur le choix des matériaux, les modes de construction et la ventilation des bâtiments.

Dans un objectif de garantir les performances du bâtiment vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur, notamment dans les guides et référentiels précités, les mesures de concentrations de polluants à réception se démocratisent. Elles complètent ainsi la vision jusqu'alors ciblée sur le bon fonctionnement des systèmes de renouvellement d'air. Parallèlement, compte tenu de délais souvent courts entre la mise en œuvre des matériaux de construction et la livraison, de la limitation de la ventilation en cours de chantier, ces mêmes documents recommandent une surventilation des bâtiments avant livraison dans l'objectif de limiter l'exposition des futurs occupants aux polluants de l'air intérieur.

La surventilation, aussi appelée flush out ou building flush, vise à accélérer le relargage des composés gazeux par les matériaux et favoriser leur évacuation à l'extérieur du bâtiment. Autrement dit, cette augmentation des débits à réception a deux objectifs :

- accélérer la réduction des émissions des matériaux,
- réduire la concentration de ces polluants dans l'air intérieur pour garantir des niveaux acceptables.

La surventilation est aujourd'hui préconisée en phase réception des bâtiments dans un grand nombre de référentiels (certification HQE, LEED, BREEAM, WELL, méthode ECRAINS®, label Intairieur). Si le phénomène de dégazage des matériaux est a priori facilement compréhensible, peu d'études ont été menées pour évaluer son efficacité et les bonnes conditions de sa mise en œuvre.

Le projet DETOX, lauréat de l'appel à projet CORTEA de l'ADEME, vise à estimer l'efficacité de la surventilation et les difficultés à sa mise en œuvre. L'étude doit permettre de développer un protocole de surventilation et d'identifier les contraintes, bénéfiques et bonnes pratiques.

Le projet DETOX est mené par un groupement de bureaux d'études experts en qualité de l'air intérieur et en ventilation accompagné d'un laboratoire d'analyse. Il est composé d'ALLIE'AIR, GINGER-BURGEAP, EXPLORAIR, INDDIGO et MEDIECO. La coordination du projet a été assurée par MEDIECO.

2. Structuration du projet

Le projet DETOX s'est articulé autour de 5 tâches principales.

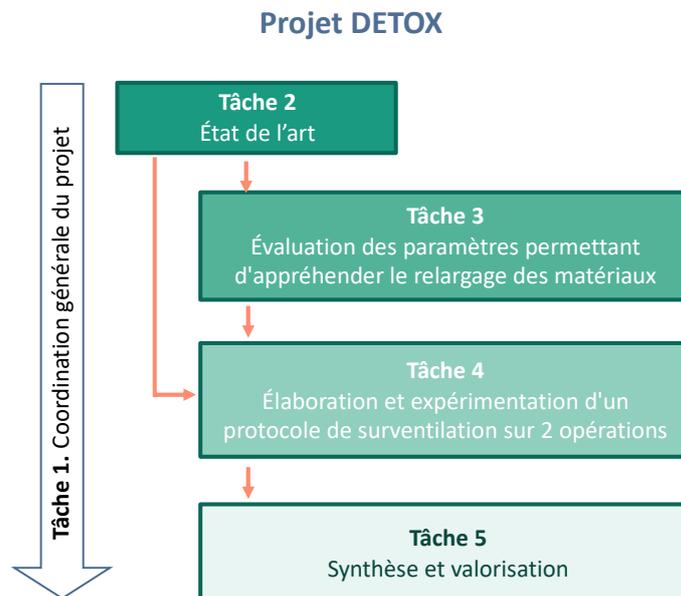


Figure 1. Structuration du projet DETOX

Préalable indispensable à l'orientation des expérimentations, la tâche 2 constitue un état de l'art international des connaissances actuelles sur le processus de surventilation.

La tâche 3 s'est consacrée à la conduite d'expérimentations en laboratoire visant à l'évaluation de l'influence de paramètres physiques (vitesse d'air, humidité relative, température) sur les émissions des matériaux en chambre d'essai contrôlée.

Suite à cela, la tâche 4 était dédiée à la conduite d'expérimentations sur sites réels.

Enfin, la synthèse de l'ensemble du travail réalisé tout au long du projet DETOX a fait l'objet de la tâche 5, constituée du présent livrable public. Ce document synthétise les résultats des travaux menés, les protocoles et recommandations pour la surventilation avant la livraison des bâtiments.

L'état de l'Art a été réalisé conjointement par l'ensemble des partenaires, les essais en laboratoire ont été conduits par GINGER-BURGEAP et EXPLORAIR, et les expérimentations sur site réel ont été réalisées par GINGER-BURGEAP, INDDIGO avec l'appui de l'ensemble des partenaires. L'ensemble des analyses chimiques ont été réalisées par le laboratoire EXPLORAIR.

3. État de l'art des connaissances actuelles sur le processus de surventilation

La tâche 2 s'est concentrée sur deux objectifs :

- Faire un état des connaissances actuelles quant aux impacts de la ventilation et de la température sur les émissions de matériaux et in fine les concentrations dans l'air ;
- Réaliser une revue des protocoles de surventilation et des méthodologies de mises en œuvre afin d'apprécier les différences de chacune et leurs contraintes de mises en œuvre.

L'émission surfacique de polluants des matériaux est un transfert gazeux depuis un support solide dans l'air. Le principal moteur de cette émission est le gradient de concentration entre l'air compris dans les pores du matériau émissif lorsqu'il est poreux ou à la surface du matériau émissif lorsqu'il est polymérique et l'air ambiant. Ce gradient est très fort dans la couche limite, c'est-à-dire la pellicule d'air qui est maintenue proche de la surface par viscosité. Dans cette pellicule d'air le transport du polluant est gouverné par la diffusion tandis qu'au-delà, l'air se déplace beaucoup plus librement, le transport étant alors convectif et diffusif.

3.1. Impact des processus physiques sur les émissions de matériaux

La diffusion dépend de la différence de concentration entre le matériau émetteur et l'air. Aussi une augmentation du débit d'air neuf, qui va tendre à réduire la concentration du polluant dans l'air, peut théoriquement également induire une augmentation de l'émission du polluant.

Afin de mieux appréhender le phénomène d'émission des matériaux et les mécanismes de transfert, l'état de l'art a permis de détailler un modèle physique ainsi que leurs équations associées.

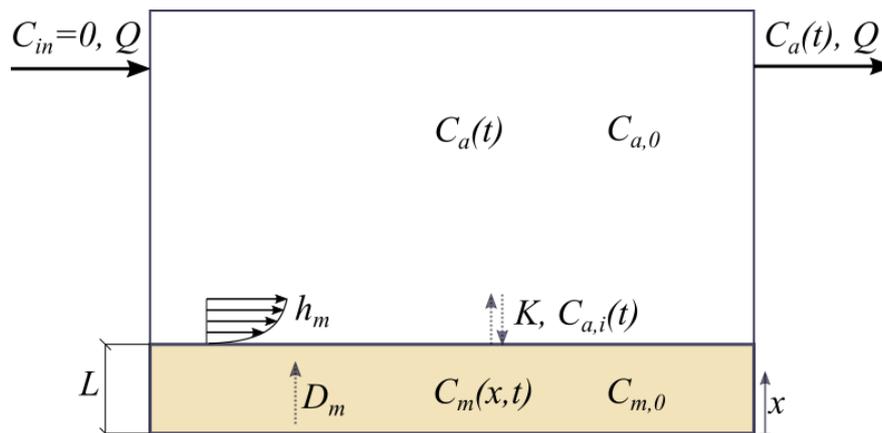


Figure 2 Emission de polluants gazeux d'un matériau solide

Les paramètres physiques déterminant le taux d'émission des matériaux et ainsi la concentration dans l'air C_a , sont :

- le coefficient de diffusion dans le matériau, D_m , et dans l'air D_a ,
- le coefficient de partage matériau - air, K , correspondant au transfert de la molécule au sein du matériau vers l'air dans la couche limite du matériau,
- la concentration émissible, C_m ,
- le débit d'air neuf, Q .

Ces paramètres physiques sont, entre autres, influencés par les conditions de l'environnement : la vitesse d'air, la température et l'humidité de l'air.

Une synthèse des résultats des études expérimentales recensées dans la littérature est présentée au Tableau 1. Ce tableau met en évidence une incidence de la température sur l'augmentation des émissions de composés organiques volatils (COV) et de formaldéhyde des matériaux. Concernant l'hygrométrie, si la majorité des auteurs montre une corrélation positive avec les émissions, les études ayant porté de manière couplée sur la température et l'hygrométrie, l'influence en propre de la concentration en vapeur d'eau n'a pas été analysée à ce stade.

Concernant le taux de renouvellement d'air (TRA) et la vitesse de l'air à la surface du matériau, le nombre d'études portant sur leur impact reste encore limité. Parmi ces études, les résultats sont partagés concernant leur impact sur le taux d'émissions de matériaux.

Ces premières conclusions ont conduit à orienter les expérimentations en laboratoire sur l'étude de la température et de l'hygrométrie (a minima pour pouvoir distinguer des périodes de réception été ou hiver) et le renouvellement d'air.

A l'échelle des bâtiments, peu d'études ont évalué les stratégies de surventilation. Sverre B. Hoos, (2018) constitue une synthèse des mesures réalisées sur plusieurs opérations (renouvellement d'air et de concentrations en polluants), la figure ci-dessous met en avant les émissions mesurées en fonction du temps après la construction.

Les auteurs montrent que dans les bâtiments, le taux de ventilation en occupation aurait peu d'influence sur les taux d'émissions mais qu'il est fondamental pour contrôler les concentrations avant l'arrivée des occupants.

3.2 Les objectifs de la surventilation Une inflexion dans les émissions des matériaux après une durée médiane de 6 mois après la fin de la construction, avant cela une décroissance exponentielle est observée tandis qu'après les émissions continuent de décroître mais de manière nettement plus modérée.

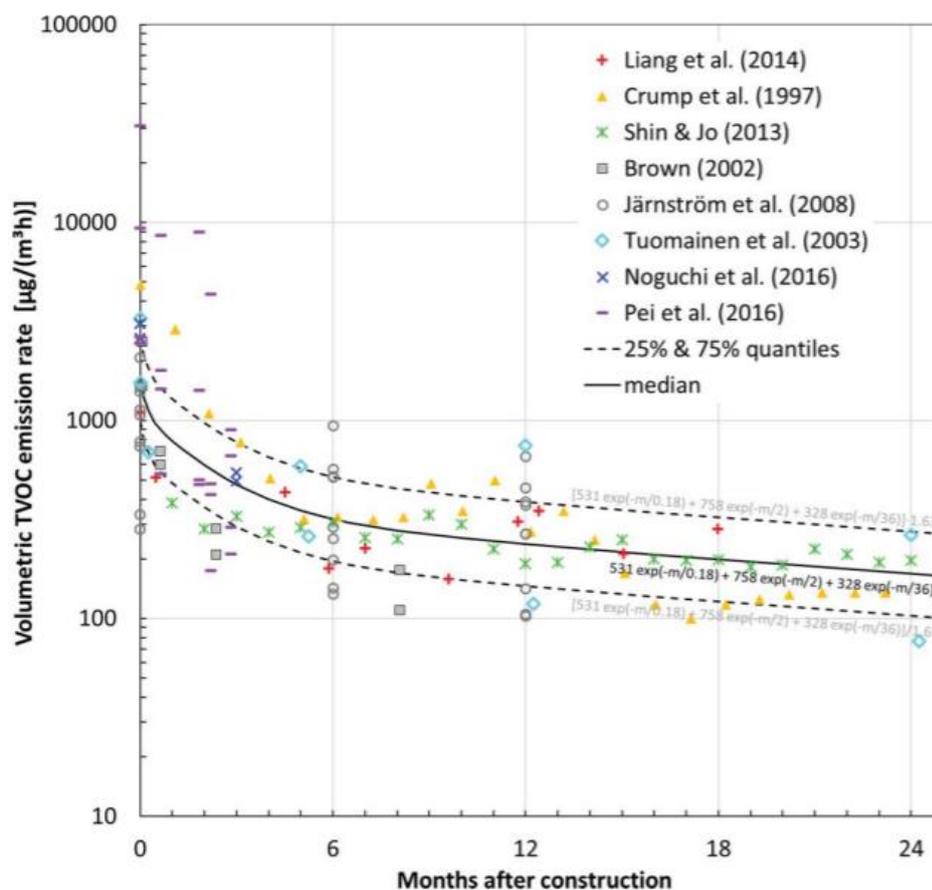


Figure 3. Emissions de COVT après la construction pour une sélection d'étude [source : Sverre B. Hoos, 2018]

Les auteurs mentionnent enfin, le besoin travaux de recherche pour mieux analyser les besoins quant aux opérations de surventilation dépendant notamment des caractéristiques émissives des matériaux de construction utilisés.

Auteur (date)	Conditions des essais					Matériaux émisifs étudiés	Molécules suivies	Influence des conditions intérieures			
	Chambre d'émission	Température [°C]	Humidité [%HR]	Vitesse de l'air [m/s]	Taux de renouvellement d'air [vol/h]			Température	Hygrométrie	Vitesse de l'air	Taux de renouvellement d'air
Wolkoff (1998)	Cellule FLEC	23, 35, 60 °C	0, 50	0.01 - 0.09	nc	moquette, sol PVC, mastic, vernis, peinture	2-ethylhexanol, 4-phenylcyclohexene, phenol, hexane, dimethyloctanol, butyl acetate, N-methylpyrrolidone, 1,2-propandiol, Texanol	++	+	-	nc
Knudsen (1999)	CLIMPAQ (50.9 L)	23	50	0.1, 0.3	56.6 - 127.3 (*)	moquette, sol PVC, mastic, vernis, peinture	2-ethylhexanol, 4-phenylcyclohexene, phenol, hexane, dimethyloctanol, butyl acetate, N-methylpyrrolidone, 1,2-propandiol, Texanol	nc	nc	-	nc
Won & Shaw (2005)	400 L	19, 24, 28, 34	50	0.02 - 0.16	0.5	peinture base solvant	1,4-dimethylbenzene, heptane, octane, nonane, decane, undecane, and dodecane	++	nc	+	nc
Zhang et al (2007)	30 L cylindrique	18, 30, 40, 50	60 ± 8	nc	nc	panneau aggloméré, panneaux MDF et HDF, sol vinyle	formaldéhyde	++	nc	nc	nc
Lin et al (2009)	56 L (40 x 40 x 35 cm)	15, 25, 30	60, 80	nc	1, 2	panneau contreplaqué	toluene, n-butyl acetate, ethylbenzene, m,p-xylene	++	+	nc	+
Frihart et al (2010)	PP bottle	25, 35	30, 75, 100	nc	nc	panneau contreplaqué	formaldéhyde	++	++	nc	nc
Xiong et Zhang (2010)	30 L cylindrique	25, 50	50	nc	0	panneau MDF	formaldéhyde	++	nc	nc	nc
An et al (2011)	20 L ; FLEC	20, 26, 32	50	nc	0.5 (20 L) ; 471 (FLEC)	parquet flottant (HDF)	formaldéhyde, toluene, ethylbenzene, xylene	++	nc	nc	+
Parthasarathy et al (2011)	10.75 L	15, 25, 35	50, 85	nc	5.6 (*)	panneau aggloméré, panneau contreplaqué	formaldéhyde	++	+	nc	nc
Huang et al (2015a)	30 L cylindrique	25 - 80	50	nc	10 (*)	panneau MDF	formaldéhyde	+++	nc	nc	nc
Huang et al (2015b)	30 L cylindrique	25 ± 0.5	20 - 85	nc	nc	panneau MDF	formaldéhyde	nc	++	nc	nc
Liang et al (2016a)	53 L	25.5 ± 0.5	20, 30, 50, 80	nc	1	panneau MDF	formaldéhyde	nc	++	nc	nc
Liang et al (2016b)	53 L	5.2 - 35	2.8 - 17.8 g/kg	nc	nc	panneau MDF	formaldéhyde	++	++	nc	nc
Jiang et al (2017)	30 L cylindrique	23, 35, 50, 60	50 ± 5	nc	0, 0.5, 1	panneau aggloméré	formaldéhyde, n-hexane, 2-ethylhexanol, hexanal, pentanal, toluene, 1,4-dichlorobenzene	+++	nc	nc	+

Tableau 1 Synthèse des résultats des travaux susmentionnés

nc : non communiqué
 (*) : calculé par nos soins, basé sur les données de l'article

De nombreuses certifications et démarches environnementales ou dédiées à la qualité de l'air intérieur intègrent une recommandation sur la réalisation d'une surventilation avant l'arrivée des occupants. Les modalités de mises en œuvre sont spécifiques à chacune. Les tableaux ci-après reprennent les différentes exigences telles qu'elles sont formulées dans les référentiels des certifications.

3.3 La surventilation dans les certifications et démarches environnementales

Tableau 2. Synthèse des modalités d'application de la surventilation dans les certifications environnementales à l'international

Certifications et démarches environnementales à l'international	
	<p>BREEAM International New Construction 2016 « An indoor air quality plan has been produced and implemented, with the objective of facilitating a process that leads to design, specification and installation decisions and actions that minimise indoor air pollution during the design, construction and occupation of the building. The indoor air quality plan must consider the following: 2.a Removal of contaminant sources 2.b Dilution and control of contaminant sources 2.c Procedures for pre-occupancy flush out 2.d Third party testing and analysis 2.e Maintaining indoor air quality in-use. »</p> <p>→ <i>Recommandation qualitative - Absence d'éléments plus détaillés</i></p>
	<p>LEEDv3 2009 « <u>Path 1</u> After construction ends, prior to occupancy or within 14 days following occupancy and with all interior finishes installed, install new filtration media and perform a building flush-out by supplying a total air volume of 14,000 cubic feet of outdoor air per square foot (4,500 cubic meters of outdoor air per square meter) of floor area while maintaining an internal temperature of at least 60° F (15° C) and, where mechanical cooling is operated, relative humidity no higher than 60%. OR <u>Path 2</u> If occupancy is desired prior to completion of the flush-out, the space may be occupied following delivery of a minimum of 3,500 cubic feet of outdoor air per square foot (1,000 cubic meters of outdoor air per square meter) of floor area. Once the space is occupied, it must be ventilated at a minimum rate of 0.30 cubic feet per minute (cfm) per square foot (0.1 cubic meters per minute per square meter) of outside air or the design minimum outside air rate determined in IEQ Prerequisite 1: Minimum Indoor Air Quality Performance, whichever is greater. During each day of the flush-out period, ventilation must begin a minimum of 3 hours prior to occupancy and continue during occupancy. These conditions must be maintained until a total of 14,000 cubic feet per square foot (4,500 cubic meters per square meter) of outside air has been delivered to the space. »</p> <p>→ <i>Recommandations quantitatives détaillant les volumes d'air associés au flush out</i></p>
	<p>WELL Building Standard v2 (May 31, 2018) « Upon completion of construction (including installation of woodwork, doors, acoustic tiles, paints, carpets, movable furnishings and other interior finishes), a building air flush is performed while maintaining an indoor temperature of at least 15 °C and relative humidity below 60%, at one of the below volumes: 1. A total air volume of 4 300 m³ of outdoor air per m² of floor area prior to occupancy. 2. A total air volume of 1 100 m³ of outdoor air per m² of floor area prior to occupancy, followed by a second flush of 3 200 m³ of outdoor air per m² of floor area post-occupancy. While the post-occupancy flush is taking place, the ventilation system must provide at least 0,1 m³ per minute of outdoor air per m² of floor area. »</p> <p>→ <i>Recommandations quantitatives détaillant les volumes d'air associés au flush out</i></p>

Tableau 3. Synthèse des modalités d'application de la surventilation dans les certifications et démarches environnementales en France

Certifications et démarches environnementales en France	
	<p>Référentiel HQE Performance Environnemental Bâtiments Résidentiels « Assurer une surventilation des logements avant la livraison pendant une période d'au moins 15 jours. »</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour une ventilation mécanique contrôlée ou une ventilation naturelle assistée, la surventilation peut être obtenue en forçant les débits d'air au maximum. - Pour un projet ne disposant pas de ventilation mécanique ou dont le système n'est pas raccordé avant livraison, il est possible de créer une surventilation par ouverture des ouvrants, à gérer en fonction des conditions climatiques et des horaires du chantier. <p>→ <i>Recommandation qualitative dépendant des systèmes de ventilation du bâtiment, utilisation des équipements de la ventilation définitive, période de 15 jours</i></p>
	<p>Version décembre 2020 Deux exigences :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « Définir le planning général en tenant compte des prescriptions ECRAINS®. En particulier sont intégrés : les temps de séchage des matériaux, la durée nécessaire à la réalisation de la surventilation du bâtiment et la durée des mesures à réception. » - Réaliser durant les premiers mois d'exploitation une surventilation du bâtiment permettant de réduire les émissions associées aux sources internes <p>→ <i>Recommandation qualitative - Absence d'éléments plus détaillés</i></p>
	<p>Préalablement à la campagne de mesure, flush-out de 30 min puis fermeture des ouvrants pendant 5h minimum avant la campagne de mesure</p> <p>→ <i>Ne concerne pas la surventilation dans un objectif de réduire les expositions des occupants mais s'apparente davantage à une recommandation vis-à-vis de la représentativité des mesures de concentrations</i></p>
	<p>Une surventilation des logements est assurée avant la livraison pendant une période d'au moins 1 semaine. (Ventilation en capacité maximale ou ouverture des fenêtres).</p> <p>→ <i>Recommandation qualitative : utilisation pour la surventilation du système existant ou ouverture de fenêtre, période de 1 semaine</i></p>

3.3.1. Les différentes typologies de surventilation

Les différentes solutions techniques permettant la surventilation d'un bâtiment sont présentées ci-après, elles peuvent être couplées ou non :

- l'utilisation des ouvrants (ouverture des fenêtres),
- l'utilisation du système de ventilation mécanique en place dans le bâtiment,
- le déploiement d'un système spécifique permettant une extraction de débit d'air maîtrisé.

Les équipements spécifiques pouvant permettre une extraction d'air dans les bâtiments sont nombreux. À titre d'exemple, 3 d'entre eux, sont illustrés ci-dessous.

Indoor Air Quality Philippines



Air Flushing technique for a newly renovated hotel floor

<https://www.iaqphilippines.com/air-flushing/>

Type : purificateur d'air

Kiloutou



Kiloutou.fr
 Type : système de chauffage par air en cours de chantier

Expérimentation DETOX



Système de ventilation spécifique mis en place dans le bâtiment de logements collectifs

Vis-à-vis de la potentielle utilisation des différentes solutions techniques, il est important d'identifier leurs avantages, inconvénients et les surcoûts associés. Ceux-ci sont présentés dans le tableau ci-dessous qui a été établi à partir des retours d'expérience des partenaires du projet DETOX. Si la ventilation naturelle apparaît plus simple à mettre en place que les autres systèmes, elle ne permet pas d'assurer une maîtrise des débits trop dépendante des conditions climatiques et de l'implantation des pièces (bâtiment traversant). L'utilisation du système de ventilation définitif, qu'il soit en simple flux, en double flux ou hybride pose notamment la question de la garantie des équipements qui n'est plus valable dès lors qu'ils sont alimentés par du courant de chantier. C'est un réel frein à la mise en fonctionnement des systèmes avant réception des installations. L'utilisation d'une ventilation ponctuelle apporte une solution cette problématique mais implique d'autres contraintes qui peuvent être économiques (location du matériel), techniques (branchement électrique triphasé à prévoir pour certains appareils) ou sécuritaire (vol de matériel).

Tableau 4 Caractéristiques techniques, coûts et contraintes des différentes solutions techniques de surventilation

		Naturelle par ouvrants	Ventilation mécanique (simple ou double flux)	Ventilation Hybride (ouvrants+mécanique)	Ventilation ponctuelle
Technique	Efficacité du renouvellement d'air	1 à 2 vol/h logement 2 à 3 vol/h tertiaire	1 à 2 vol/h logement 2 à 3 vol/h tertiaire	1 à 2 vol/h logement 2 à 3 vol/h tertiaire	250 à 37000 m3/h en fonction de l'équipement
	Maîtrise des débits	non maîtrisés	maîtrisés	maîtrisés	maîtrisés
	Facilité technique de mise en œuvre	Ouverture manuelle de tous les ouvrants	Utilisation du système du bâtiment	Utilisation du système du bâtiment	Branchement électrique à prévoir (en triphasé pour certaines machines)
	Zone d'action	Ensemble du bâtiment	Ensemble du bâtiment	Ensemble du bâtiment	Zone plus ou moins ponctuelle (fonction du bâti et de l'équipement)
Coûts	Coût de mise en place de la surventilation	Pas de surcoût identifié	SF : pas de surcoût DF : Changement filtres, nettoyage des réseaux	Changement filtres, nettoyage des réseaux	Location du matériel (surcoût dépendant de la taille du bâtiment et des débits souhaités)
	Coût énergétique	Déperdition thermique si les locaux sont chauffés	Consommations électriques	Consommations électriques	Consommations électriques
Contraintes	Encrassement des réseaux	NC	Potentiel en fonction de la date de mise en route	Potentiel en fonction de la date de mise en route	
	Problématique d'intrusion	Intrusion possible	Pas d'impact	Intrusion possible	Vol possible du matériel
	Phase d'exploitation	Surventilation possible en exploitation des locaux	Surventilation possible en exploitation des locaux	Surventilation possible en exploitation des locaux	Le matériel ne peut être installé qu'en période de chantier
	Problématique de garantie du ventilateur mis en service avant réception	NC	la garantie des équipements n'est plus valable dès lors qu'ils sont alimentés par du courant de chantier	la garantie des équipements n'est plus valable dès lors qu'ils sont alimentés par du courant de chantier	NC

3.3.2. Orientations des travaux pour le projet DETOX

Pour les expérimentations in situ

Le choix des solutions est assez varié et peut aller de l'ouverture des fenêtres à la mise en place d'un système ponctuel en passant par l'utilisation du système définitif de ventilation / traitement de l'air du bâtiment. Chacune des solutions ayant ses avantages et inconvénients : risque d'intrusion, consommation énergétique, encrassement du système, etc. Il semble que le recours à l'utilisation du système final de ventilation / traitement de l'air du bâtiment soit à privilégier.

Les problématiques liées également au planning chantier et à la mise en œuvre d'une surventilation ont également été relevées lors de la réalisation de cette tâche état de l'art et on fait l'objet de réflexions tôt dans les deux projets expérimentés pour garantir la bonne mise en place de la surventilation.

4. Évaluation en laboratoire de l'influence de la ventilation et de la température sur les émissions

Les essais réalisés en chambre contrôlée avaient un triple objectif :

- Préciser les influences des différents paramètres déterminants du dégazage forcé,
- Évaluer à l'échelle du laboratoire l'efficacité de différents protocoles de dégazage sur les émissions de matériaux par rapport à une décroissance classique de l'émissions après sa pose,
- Alimenter in fine le(s) protocole(s) déployés sur les sites expérimentaux.

Les essais ont été conduits sur deux matériaux : une peinture murale faiblement émissive (A+) et un panneau composite de fibres de bois de moyenne densité (MDF). Ces deux matériaux ont été choisis car leur composition en COV et aldéhydes est différente et ils peuvent présenter des différences d'émissions aux variables testées (surchauffe ou surventilation). Ils ont tous les deux été acquis auprès d'une enseigne commerciale de bricolage.

4.1 Matériaux et protocole expérimental

Tableau 5. Références des deux matériaux étudiés

Matériau	Panneau MDF	Peinture
Marque Modèle	Castorama Aggloméré T&G TGV4 milieu sec Plaque de 19mm.	Tollens Blanc satin murs et boiseries.
Photo		
Classe environnementale	Non spécifié	A+

Les échantillons ont été confectionnés invariablement 3 jours avant leur mise en place dans les cellules d'essais suivant les protocoles de la norme NF EN ISO 16000-11 (2006).

Pour le MDF, il est à mentionner que compte tenu du nombre d'essais réalisés, deux stocks différents ont été utilisés pouvant conduire à des variations de composition et d'émission.

Pour l'échantillon de peinture, l'épaisseur du feuil sec sélectionnée choisi est de 40 µm. Le support d'application de la peinture est une plaque en acier découpée et préalablement dégraissée.

Une cellule CLIMPAQ a été utilisée pour la conduite des essais. Les dimensions caractéristiques des échantillons ont été celles de la norme EN ISO 16000-9 (2006). Pour certains essais, afin de respecter des conditions particulières de température, une résistance chauffante a été installée à l'intérieur de la cellule ainsi qu'un calorifugeage extérieur.

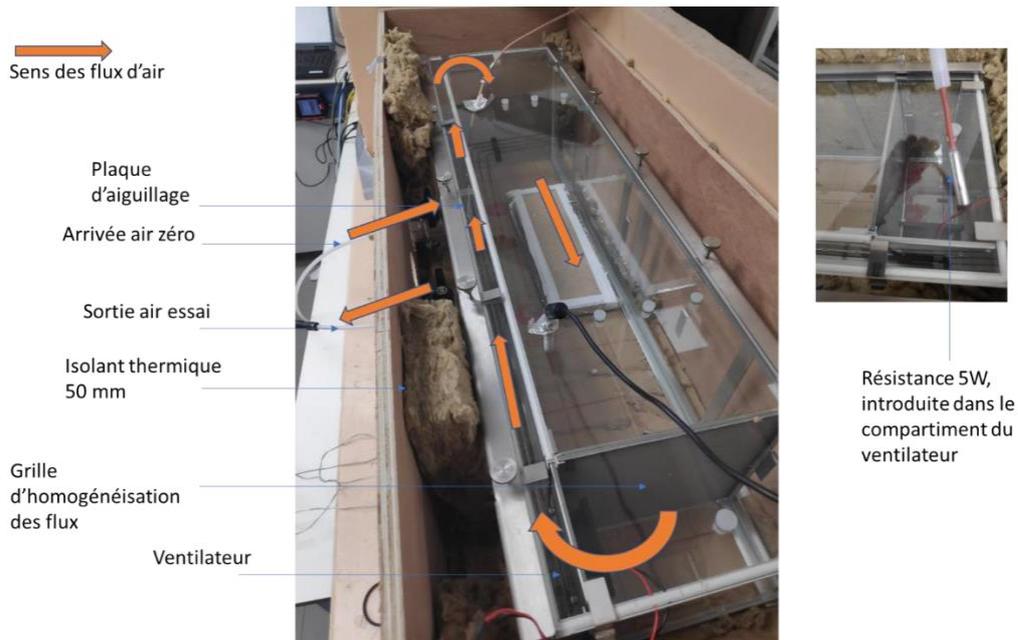


Photo 1. Cellule d'essai CLIMPAQ calorifugée avec résistance chauffante de 5W

Les essais ont été réalisés sur deux durées : 21 jours (i) ou 2 mois (ii). Différentes des conditions de référence pour la caractérisation des matériaux pour l'étiquetage (28 jours), ces durées ont été choisies pour mieux apprécier l'impact des conditions environnementales sur les émissions pendant : (i) une durée caractéristique de la surventilation d'une semaine avant livraison et (ii) une durée hypothétique de surventilation durant les deux premiers mois d'exploitation :

- Les essais sur 21 jours réalisés sur les deux matériaux ciblent les deux paramètres ayant la plus grande influence sur les émissions de matériaux et les concentrations dans l'air : le taux de renouvellement d'air (TRA) et la température. L'humidité relative est maintenue constante à 50 % ;
- Les essais sur 2 mois réalisés sur le panneau MDF permettent d'étudier spécifiquement le paramètre du taux de renouvellement d'air. La température et l'humidité relative de l'air dans la cellule sont maintenues constantes à 23 °C et 50 %.

Au sein de chaque essai, les périodes se succèdent comme illustré en Figure 4. Entre deux périodes où l'échantillon est exposé aux conditions de référence standard (conditions de la norme 16000-11, 2006), une période favorisée (7 jours pour les essais sur 21 jours et 49 jours pour les essais de 2 mois) permet de tester l'influence des paramètres testés. Ceux-ci sont présentés au Tableau 6.

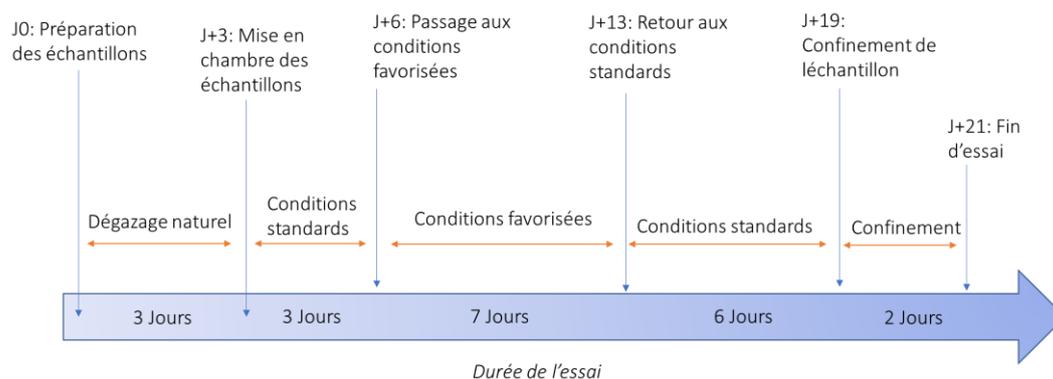


Figure 4. Phasage des essais de 21 jours en laboratoire

Tableau 6. Descriptif des conditions de références et favorisées pour les essais sur MDF et peintures sur 21 jours

Phase	Matériau	Description	TRA (vol/h)	T°C	HR%
Ref	MDF et Peint	Condition de référence standardisée	0.5	23	50
Q1	MDF et Peint	Taux de renouvellement d'air 6 fois supérieur à la référence	3	23	50
Q2	MDF et Peint	Taux de renouvellement d'air 17 fois supérieur à la référence	8.5	23	50
T1	MDF et Peint	Température 7°C au-dessus de la référence	0.5	30	50
T2	MDF et Peint	Température 7°C au-dessous de la référence	0.5	16	50
TQ1	MDF et Peint	Taux de renouvellement d'air 6 fois supérieur à la référence et température 7°C au-dessus la référence	3	30	50
T2Q1	MDF et Peint	Température 7°C au-dessous de la référence et taux de renouvellement d'air 6 fois supérieur à la référence	3	16	50
Ref-2	MDF	Condition de référence hivernale	0.5	16	50
T3Q1	MDF	Conditions hivernales en référence Température 7°C au-dessus de la référence hivernale (16°C) et taux de renouvellement d'air 6 fois supérieur à la référence	3	23	50

Le suivi des concentrations a été réalisé par des prélèvements de faibles volumes dans la cellule CLIMPAQ et analyses chimiques. Des supports DNPH et Carbograph 1TD ont été utilisés respectivement pour les aldéhydes et les COV. Les analyses ont été réalisées respectivement par HPLC et TD-GC-MS. Pour chaque essai neuf prélèvements et analyses ont été réalisés.

En parallèle, afin de compléter la vision discrète obtenue avec les prélèvements ponctuels, un suivi en continu dans les cellules a été réalisé : en COVL (appareil Fireflies de la société Azimut monitoring ou balise NEMO de la société Ethera) et en COVT (PID ppb avec une lampe d'ionisation 10.6 eV de marque RAE 3000 ou intégré dans la balise NEMO).

De mai 2020 à mars 2021 et de juillet 2021 à septembre 2021, 20 séries d'essais ont été réalisées dans la cellule climatique CLIMPAQ avec des modifications de température d'exposition des matériaux et de renouvellement d'air de la cellule tels que présentés dans le tableau ci-avant.

4.2. Polluants émis par les matériaux

4.2.1. Panneaux MDF

Les analyses de l'air dans la cellule CLIMPAQ permettent de connaître les proportions de polluants émis par les matériaux.

Pour le panneau MDF utilisé pour les essais de 21 jours (hors essais en conditions hivernales), le formaldéhyde (75 %) puis l'acétaldéhyde et l'hexanal (respectivement 8 % et 6 %) sont majoritaires dans les émissions. Ces proportions sont stables entre les essais et ne sont pas modifiées durant les 21 jours.

Pour la conduite des essais en conditions hivernale et les essais de 2 mois, de nouveaux panneaux ont été utilisés. Les proportions des différents aldéhydes sont sensiblement différentes. Pour ces échantillons, le formaldéhyde ne constitue que 23 % des émissions accompagné par l'hexanal (21 %). La part de terpènes est nettement plus importante. Ces échantillons vraisemblablement plus jeunes, ont une composition des émissions qui évolue dans le temps avec une part de plus en plus importante du formaldéhyde. Les compositions sont comparables cependant en fin d'essai (à 55 jours) à par rapport aux échantillons utilisés pour les essais courts.

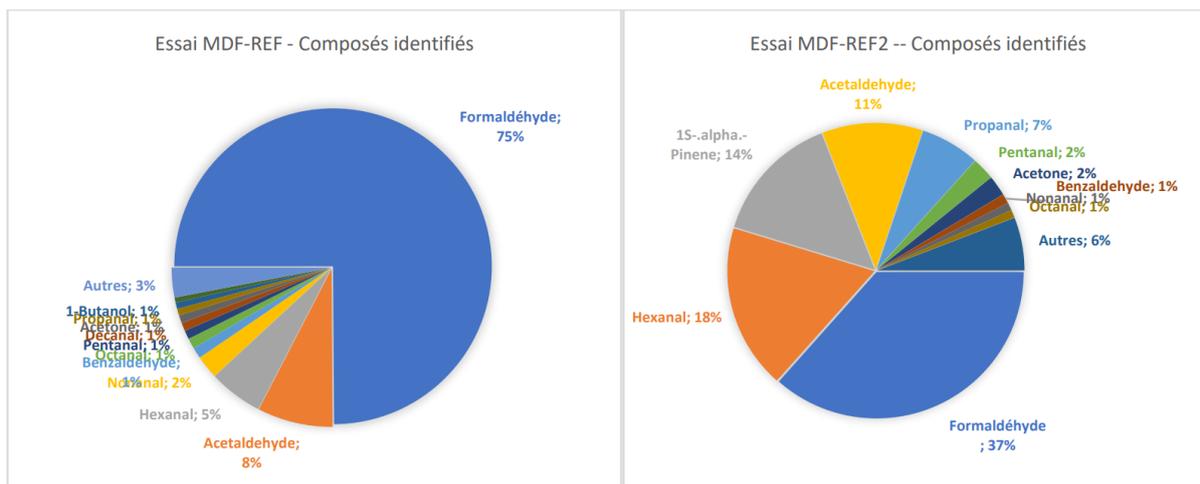


Figure 5. Composés identifiés dans les émissions des panneaux MDF de deux lots : MDF REF (conditions de référence) et REF2 (conditions hivernales)

4.2.2. Peinture

Pour la peinture, les polluants émis sont majoritairement le Texanol® (C12H24O3) pour 50 % et le TXIB (C16H30O4) pour 20 %. Viennent ensuite l'isobutanol et le 3-Pentanone 2,4-diméthyl pour respectivement 5 et 3 %.

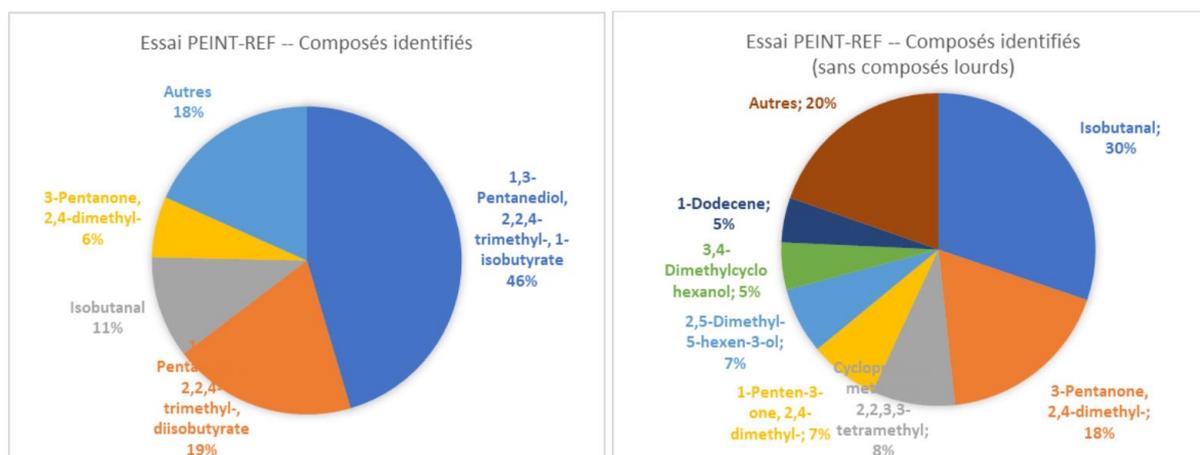


Figure 6. Composés identifiés dans l'air lors des essais Peinture

4.3. Impact d'une augmentation de ventilation ou de température sur les émissions et les concentrations dans l'air

Afin de comparer les essais entre eux, les concentrations et les émissions ont été normalisées au sein de chaque essai par rapport à la première période (conditions normales de référence) pour laquelle les concentrations et émissions sont prises égales à 1. C'est donc ici une analyse en relatif qui est réalisée.

Les efficacités ont été évaluées sur les COVL, les COVT et en particulier le formaldéhyde et l'alpha pinène pour le panneau MDF tandis qu'elles l'ont été sur l'indicateur COVT pour la peinture considérant ou non les composés majoritaires de l'émission que sont le Texanol® (CAS 25265-77-4) et le TXIB (CAS 6846-50-0), représentant plus de 60% des émissions de la peinture.

4.3.1. Peinture

La figure suivante présente les résultats normalisés des émissions pour l'ensemble des COV (COVT) quantifiés à partir de prélèvements sur support Carbograph 1TD et analyses par TD-GC-MS.

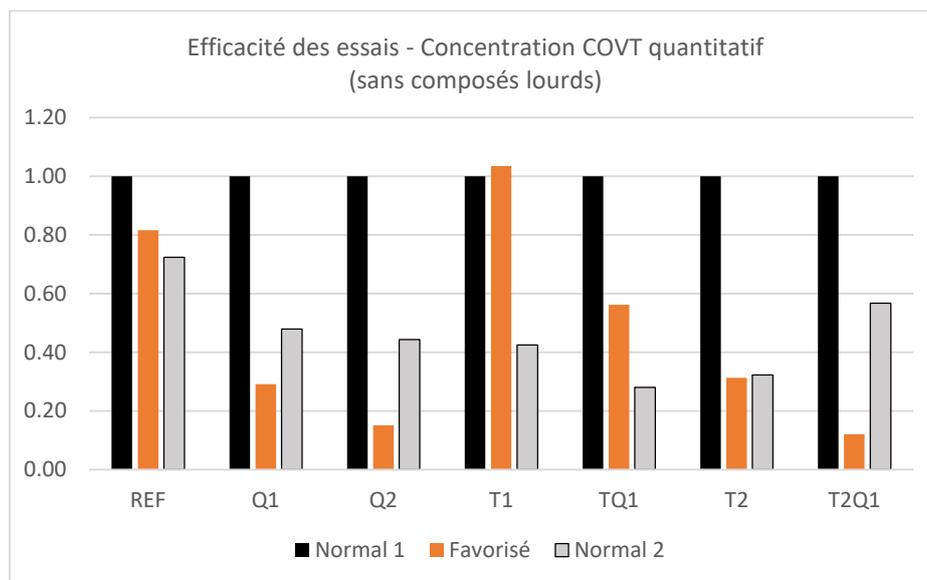


Figure 7. Efficacité des conditions favorisées sur les concentrations en COVT dans l'air pour la peinture testée

Tableau 7. Synthèse des résultats pour les peintures

Conditions de tests	Réduction des émissions et des concentrations dans l'air
Référence 23°C, 50 % HR et TRA de 0,5 vol/h	-28 %
Augmentation température + 7°C	Entre -34 et -42 % de plus que l'essai de référence
Augmentation renouvellement d'air TRA : 3 vol/h	
Effet combiné surventilation et surchauffe	-60 % de plus que l'essai de référence

Pour la conduite d'opérations spécifiques de courte durée avant la livraison (1 semaine), les résultats obtenus peuvent être synthétisés comme suit :

- Aux conditions dites de référence (23°C, 50%HR et avec un renouvellement d'air de 0.5 vol/h), les émissions des peintures diminuent dans le temps, 21 jours après la pose, cette décroissance des émissions de la peinture est de 28% pour les COVT sans Texanol® et le TXIB réduisant d'autant, à renouvellement d'air constant les concentrations dans l'air ; la réduction est de 60% si l'on considère le Texanol® et le TXIB dans les COVT ;
- Comparée à ces conditions de référence,
 - ✓ la surventilation à 3 vol/h ou l'augmentation de température de 7°C apporte une réduction supplémentaire des émissions et des concentrations de l'ordre de 34 à 42% pour les COVT (sans le Texanol® et le TXIB) en plus de celle observée dans les conditions de référence ;
 - ✓ l'effet combiné de la surventilation et la surchauffe est le plus efficace vis-à-vis la réduction des émissions et des concentrations dans l'air. En effet, une augmentation de température de 23 à 30 °C couplée à une surventilation de 3 vol/h conduit à une réduction supplémentaire des émissions et des concentrations de 60 % pour les COVT (avec ou sans le Texanol® et le TXIB) en plus de celle observée dans les conditions de référence.
- Les deux essais complémentaires avec une réduction de température de 5°C (17°C pour une température de référence avant et après de 23°C) ont confirmé que la température est un facteur clé. En effet, la réduction de 5°C réduit de 62 % les émissions et concentrations de COVT (hors Texanol® et le TXIB) par rapport à celles observées à 23°C.

4.3.2. Panneaux agglomérés MDF

La figure suivante présente les résultats normalisés des émissions pour l'ensemble des COVL quantifiés à partir de prélèvements sur support DNPH et analyses par HPLC.

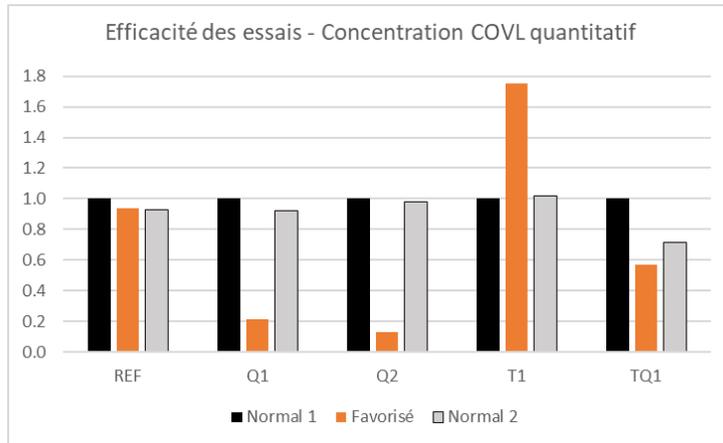


Figure 8. Efficacité des conditions favorisées sur les concentrations en COVL dans l'air pour le panneau MDF testé

Pour la conduite d'opérations spécifiques de courte durée avant la livraison (1 semaine), les résultats obtenus peuvent être synthétisés comme suit :

- Aux conditions dites de référence (23°C, 50%HR et avec un renouvellement d'air de 0.5 vol/h), il n'est pas observé de décroissance notable des émissions pour ces panneaux qui avaient déjà des émissions réduites et relativement stabilisées avant la conduite des essais ;
- Comparée à ces conditions de référence et pour ces panneaux :
 - la surventilation à 3 ou 8,5 vol/h ne présente pas d'effet sur la réduction des émissions et des concentrations au-delà de la période où cette surventilation est mise en œuvre pour l'ensemble des molécules suivies et les familles COVL et COVT ;
 - l'effet combiné de surventilation et surchauffe réduit visiblement les émissions et les concentrations dans l'air, et ce quelles que soient les conditions ambiantes de température. En effet, une augmentation de température de 23 à 30 °C ou de 16 à 23 °C couplée à une surventilation de 3 vol/h conduit à un effet visible de réduction tant des émissions que des concentrations dans l'air. Une semaine après le retour aux conditions de référence, la réduction des émissions et des concentrations est de 23 à 27% en condition estivale et de 38 à 41 % en conditions hivernale pour les familles COVL et COVT respectivement.

4.4. Perspectives

Sur les deux matériaux testés, que ce soit le panneau de bois MDF ou la peinture, il ressort que **l'effet combiné de surventilation et surchauffe (TRA augmenté de 3 vol/h et température augmentée de 7 °C) semble le plus intéressant vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations de polluant dans l'air**. Sur la peinture, l'augmentation du renouvellement d'air pendant 1 semaine présente une efficacité sur la réduction des émissions et donc des concentrations, cela n'a pas été observé pour le panneau MDF à l'échelle d'une semaine. Les émissions des panneaux MDF sont cependant réduites lorsque les conditions favorisées sont appliquées sur une période plus longue de 49 jours.

Enfin, les essais réalisés touchant à l'augmentation de température (de +23 à +30°C) sont également efficaces sur la réduction après une semaine des émissions de la peinture et du panneau MDF.

5. Expérimentation de la surventilation sur deux opérations

Afin de faciliter le travail de recherche des deux opérations, le groupement a privilégié le choix d'opérations impliquées dans l'AMI MANAG'R. Cet AMI, lancé par l'ADEME, rassemble 11 maîtres d'ouvrage qui se sont engagés pour expérimenter la méthode de management de la qualité de l'air intérieur ECRAINS® (anciennement MANAG'R), depuis la phase programmation jusqu'à 10 mois après la réception. La surventilation à réception des bâtiments figure parmi les prérogatives de la méthode.

5.1. Présentation des opérations

L'application de la méthode ECRAINS® - Engagement à Construire Responsable pour un Air Intérieur Sain - sur ces opérations est réalisée par un membre du groupement DETOX.

Des critères avaient également été fixés pour la sélection des opérations. Compte-tenu de la localisation des membres du groupement DETOX, les opérations devaient être localisées en Auvergne Rhône-Alpes. Sur les deux opérations sélectionnées, le groupement souhaitait étudier une opération de logements collectifs avec un système de ventilation simple flux hygroréglable et une opération en tertiaire avec une centrale de traitement d'air (CTA).

Les deux bâtiments sélectionnés sont :

- Une école élémentaire
- Un bâtiment de logements collectifs

5.1.1. École élémentaire

Située en milieu urbain, cette école dont la construction a démarré en 2018 comprend 10 salles de classe élémentaires, un restaurant scolaire et une salle polyvalente sur 3 niveaux. La livraison a été réalisée en avril 2021.



Photo 2. École élémentaire en chantier

L'école est ventilée au moyen de centrales de traitement d'air (CTA) de type double flux (à l'exception des sanitaires où une ventilation simple flux par extraction est installée). Au regard d'un objectif de bonne qualité de l'air intérieur un débit nominal de 25 m³/h/pers.

L'ensemble des matériaux utilisés pour la construction de l'école sont favorables à la qualité de l'air avec a minima un étiquetage A+ et pour plus de 50 % des matériaux une labellisation et/ou une certification complémentaire. Dans les salles de classes instrumentées pour le projet DETOX, les revêtements sont les suivants :

- Revêtement de sol : linoléum collé sur ragréage
- Revêtement mural : peinture de couleur blanche
- Revêtement de plafond : peinture de couleur blanche sur plafonds acoustiques en MDF
- Encadrements de fenêtre : bois du Jura

5.1.2. Bâtiment de logements collectifs

L'opération comprend la construction de 28 logements répartis sur 2 bâtiments. Conduite par un bailleur social, la construction des logements a démarré en mai 2020. La livraison, initialement prévue en juillet 2021, a été reportée au

mois de janvier 2022, en raison de difficultés d'approvisionnement de matériaux, notamment pour la réalisation des façades.



Photo 3. Bâtiment de logements collectifs en cours de chantier

Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation simple flux hygro A. Des entrées d'air autoréglables acoustiques sont positionnés en traverse haute des menuiseries et l'extraction se fait dans les pièces humides équipées de bouches d'extraction hygro-réglables. Des colonnes montantes sont présentes en gaine technique et l'extracteur est situé en toiture terrasse du bâtiment C.

En lien avec les exigences de la démarche ECRAINS®, l'ensemble des matériaux et produits utilisés pour la construction sont favorables à la qualité de l'air avec a minima un étiquetage A+ et pour plus de 50% des produits une labellisation et/ou une certification complémentaire.

Dans les logements ayant fait l'objet d'une instrumentation pour le projet DETOX, les revêtements sont les suivants :

- Revêtements de sol : carrelage dans les cuisines, séjours, salles de bain, WC et entrées des logements ; sol PVC dans les chambres ;
- Revêtements de murs et de plafonds : peinture sur plaques de plâtre en murs et plafonds, faïence dans les salles de bain ;

5.2. Protocoles mis en œuvre des salles de cuisine et salle de bain de classe A+, ou classés CTB-P+ ;

- Encadrements de fenêtre : PVC.

Les protocoles mis en œuvre dans chaque bâtiment ont été adaptés au contexte, ainsi qu'aux contraintes techniques et spécificités de chaque bâtiment.

5.2.1. École élémentaire

L'expérimentation a été effectuée dans 3 salles de classe de janvier à juin 2021. Le planning de l'expérimentation DETOX est présenté sur la figure suivante.

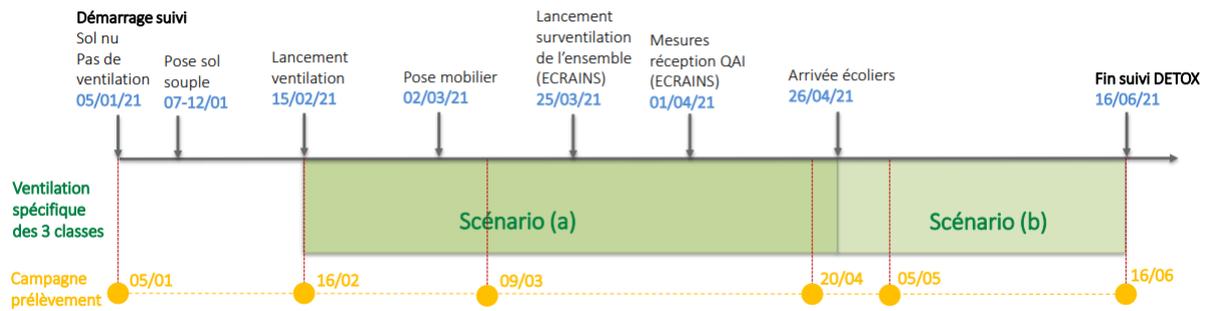


Figure 9. Planning du suivi DETOX sur l'école élémentaire

Dans les 3 classes instrumentées, la configuration de la ventilation envisagée pour l'expérimentation DETOX et demandée à l'entreprise CVC est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 8. Configuration de la ventilation envisagée dans les 3 classes (non mis en œuvre)

	Débit jour	Débit nuit/we
Classe 1-1	25 m ³ /h/p	25 m ³ /h/p
Classe 1-2	18 m ³ /h/p	18 m ³ /h/p
Classe 1-3	2.5 m ³ /h/p	2.5 m ³ /h/p

(a) Avant la réception

	Débit jour	Débit nuit/we
Classe 1-4	25 m ³ /h/p	25 m ³ /h/p
Classe 1-2	18 m ³ /h/p	18 m ³ /h/p
Classe 1-3	25 m ³ /h/p	2.5 m ³ /h/p

(a) En exploitation

Avant la réception [scénario (a)], les débits envisagés sont constants : 25 m³/h/personne dans la classe 1-1, soit un débit correspondant au CCTP ; 18 m³/h/personne dans la classe 1-2, soit le débit minimal fixé par la réglementation pour une salle de classe ; 2.5 m³/h/personne dans la classe 1-3, soit 10 % du débit maximal.

Après la réception [scénario (b)], le débit est forcé en continu à 25 m³/h/personne et 18 m³/h/personne respectivement dans la classe 1-1 et la classe 1-2 ; le débit dans la classe 1-3 est passé en exploitation normale avec modulation fonctionnelle (25 m³/h/personne en présence des écoliers sinon 10 %).

L'entreprise de CVC n'a pu mettre en œuvre les débits initialement prévus. Les mesures réalisées par les partenaires du projet DETOX n'ont en effet pas confirmé ces débits. Les difficultés rencontrées par l'entreprise par ailleurs sur cette opération ne nous permettent pas de connaître précisément les débits appliqués et la modulation de la ventilation. Les débits ont été estimés à partir de l'analyse des évolutions horaires des concentrations dans les espaces.

Pour le suivi des concentrations en composés gazeux dans l'air, ont été déployées :

- trois balises NEMo de la société ETHERA permettant de suivre en continu les paramètres suivants : température, humidité relative, CO₂, COVL, COVT, PM₁, PM_{2,5} et NO₂. Les capteurs sont de type électrochimique, excepté le capteur COVT qui est de type PID.
- 6 campagnes de prélèvements ponctuels (Prélèvements sur supports DNPH pour les aldéhydes et Carbograph pour les COV, analyses par TD-GC-MS et HPLC).



(a) En chantier



(b) En exploitation

Photo 4. Localisation des balises NEMO

5.2.2. Bâtiment de logements collectifs

L'expérimentation a été réalisée dans 4 appartements T4 traversants situés sur 4 niveaux (un appartement par niveau), de surface et d'orientation identiques.

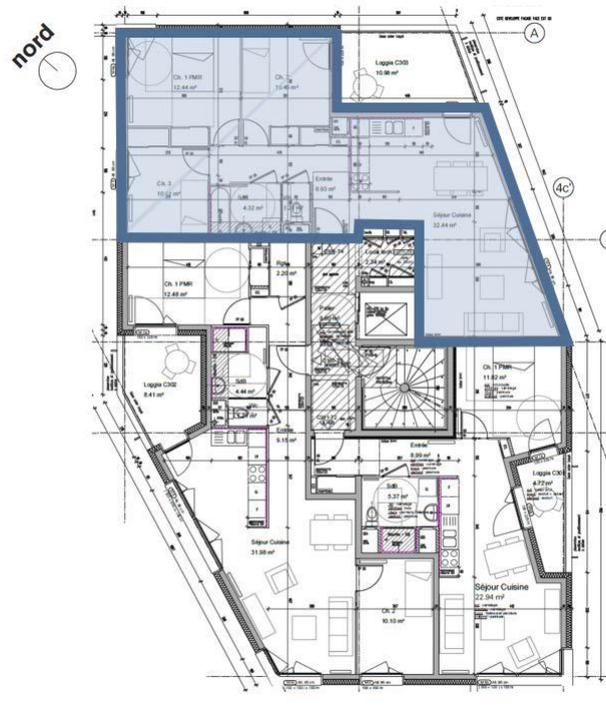


Figure 9 - Localisation des appartements à chaque étage

Chaque appartement a fait l'objet d'un procédé différent de surventilation comme illustré en figure suivante. Les débits qui y figurent ont été mesurés par nos soins exceptés ceux associés à l'aération par les ouvertures de fenêtre qui a été estimé au regard de la géométrie du bâtiment et des surfaces ouvertes.

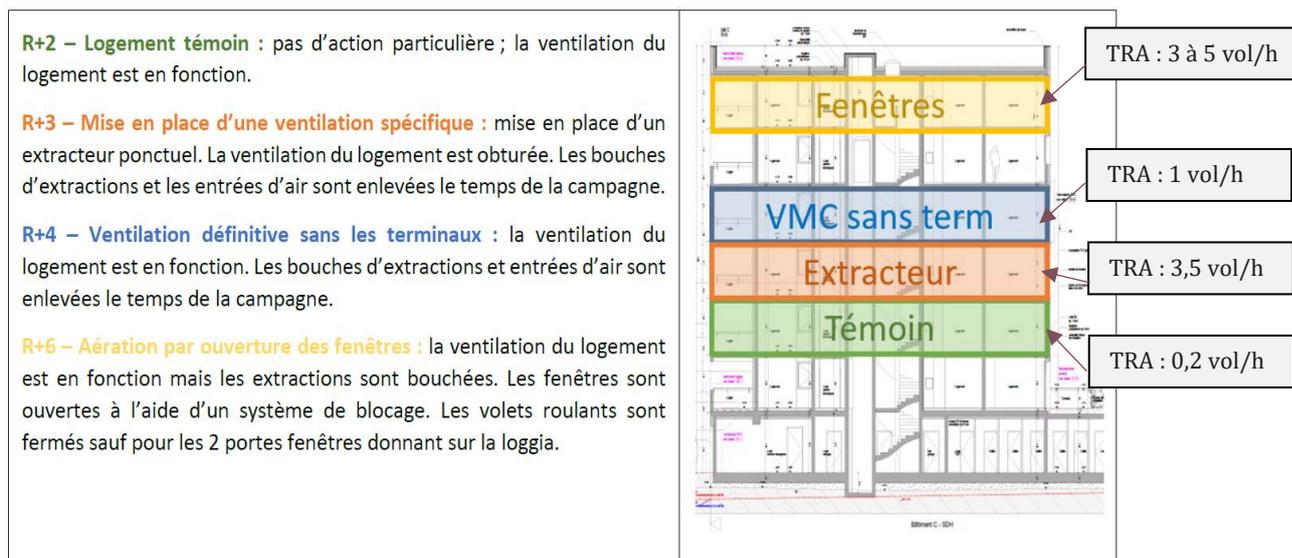


Figure 10. Description des procédés de surventilation mis en œuvre

Dans ces 4 appartements, un suivi en continu de la qualité de l'air intérieur a été réalisé à l'aide de balises NEMO de la société Ethera (température, humidité, CO₂, COVL, COVT). Les capteurs sont de type électrochimique, excepté le capteur COVT qui est de type PID. En parallèle, 3 campagnes de prélèvements d'air ponctuels sur support Carbograph et DNPH ont été réalisées ainsi que des mesures de débits de ventilation. De plus, des mesures d'émission ont été effectuées sur une sélection de matériaux.

5.3. Synthèse des résultats

L'objectif de chaque expérimentation était d'évaluer les difficultés et l'efficacité d'une surventilation du bâtiment vis-à-vis des concentrations en polluants dans l'air intérieur.

Les conclusions sont présentées ci-après.

5.3.1. École élémentaire

La mise en œuvre d'une ventilation spécifique en chantier dans cet établissement a été réalisée avec les systèmes définitifs. Durant le suivi, les émissions complémentaires associées au mobilier, aux fournitures des enseignants, au ménage et enfin à l'occupation (présence des populations et activités scolaires) sont présentes. Au regard des émissions importantes des occupants, contribuant à une dégradation significative de la qualité de l'air intérieur par rapport à celle induite par les matériaux et le mobilier, l'analyse réalisée quant à la diminution des concentrations durant le chantier ne tient pas compte de la période d'occupation.

Il est à noter que pour une des classes instrumentées, la ventilation naturelle parasite (ouvertures de portes donnant sur l'extérieur irrégulière) ne permet pas d'estimer des réductions de concentrations en lien avec la surventilation mécanique.

5.3.1.1. Les bénéfices de la ventilation avant occupation

Il est difficile d'évaluer les bénéfices de la ventilation avant occupation car l'influence de l'augmentation de la température ne peut être discriminée de celle de la ventilation. En effet, durant l'expérimentation conduite, les températures intérieures ont augmenté de manière importante de 8 à 9 °C pendant le chantier jusqu'à la livraison. Ainsi, à l'échelle du suivi, sont combinées pour les produits de construction :

- Une diminution naturelle des émissions des produits de construction,
- Une réduction complémentaire de ces émissions associée à l'augmentation de température,
- Une potentielle réduction complémentaire associée à la surventilation.

Les mesures réalisées montrent que l'effet couplé de la ventilation et de la hausse des températures est une réduction des concentrations de l'ensemble des polluants. Après une période de 3,5 mois de ventilation et une augmentation de température de 8 à 9°C, malgré l'apport de mobilier scolaire, les abattements de concentration ont été estimés comme suit :

- Pour la classe où le débit de ventilation est le plus important avec un débit en chantier entre 500 et 600 m³/h en journée et réduit la nuit (vraisemblablement nul ou au maximum de 10 % du débit total), un abattement des concentrations de 77 % pour la somme des COV est observé (90 % pour les alcools et cétones, 84 % pour les hydrocarbures, 75 % pour les terpènes et 64 % pour les aldéhydes) ;

- Pour la classe où le débit de ventilation est le plus faible avec pendant 3 mois entre 50 et 60 m³/h en journée et réduit la nuit (vraisemblablement nul ou au maximum de 10 % du débit total), un abattement de concentration de 37 % pour la somme des COV est observé (84 % pour les alcools et cétones, 39 % pour les hydrocarbures, 19 % pour les terpènes et 35 % pour les aldéhydes).

5.3.1.2. Les difficultés rencontrées

La COVID a généré des difficultés tant sur le chantier que pour les suivis réalisés, en particulier :

- sur la conduite par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et les entreprises des réceptions des équipements de ventilation ;
- sur les périodes de livraisons de mobilier, de ménage et d'installation des enseignants avant l'arrivée des écoliers. En effet, la livraison du bâtiment a été plusieurs fois reportée.

La principale difficulté rencontrée a ainsi été la calibration par l'entreprise des débits à des valeurs différentes de celles inscrites dans le CCTP pour certaines classes. En effet, la régulation des débits par les registres a été difficile pour l'entreprise qui n'a pas pu atteindre les consignes fixées. Au regard des multiples reports de délais et des difficultés rencontrées par ailleurs sur le chantier, les demandes spécifiques pour le projet DETOX leur étaient secondaires. In fine, les débits de ventilation pendant la période de suivi sont fortement incertains conduisant à des difficultés et des incertitudes sur les interprétations des résultats.

De cette expérimentation sur un bâtiment tertiaire, les points qui semblent importants pour faciliter la mise en œuvre d'une surventilation en chantier sont :

- La mise en œuvre de débits peu éloignés de ceux ciblés en exploitation et ne nécessitant pas de modification trop conséquente des équipements ;
- La mise en œuvre de cette ventilation après la réception des systèmes et équipements ;
- L'inscription claire dans le planning et le marché de l'entreprise CVC de cette action et le suivi par le conducteur d'opération de sa mise en œuvre.

5.3.2. Bâtiment de logements collectifs

5.3.2.1. Les bénéfices de la ventilation avant occupation

Les résultats des mesures effectuées permettent difficilement de conclure quant à l'intérêt d'une solution de surventilation sur l'opération testée, pour les raisons suivantes :

- **L'opération présente de très faibles niveaux de pollution intérieure**, en raison de la mise en œuvre de produits faiblement émissifs (en lien avec la mise en application de la démarche ECRAINS®) et de la période qui s'est écoulée entre la fin des travaux de peintures et la réalisation des mesures (6 semaines environ). **Cette période d'immobilisation, associée à une mise en route de la ventilation et du chauffage** (date inconnue) expliquent probablement les faibles niveaux de concentrations observés.
- Les résultats des mesures mettent en évidence **des travaux de retouches/ finition, voire des travaux de voirie réalisés en extérieur**. Ces interventions ponctuelles par le personnel de chantier, à des étages souvent différents, rendent difficiles l'interprétation des résultats de mesure, dans un contexte d'air intérieur faiblement pollué.

Ces résultats conduisent toutefois à des recommandations :

- **L'utilisation de produits faiblement émissifs, la mise en fonctionnement de la ventilation et du chauffage en amont de la livraison et le recours à une période d'immobilisation du bâtiment** apparaissent comme des solutions particulièrement efficaces pour améliorer la qualité de l'air intérieur en amont de l'arrivée des occupants. Ces solutions préventives, mises en place dans le cadre de cette expérimentation, ont rendu très difficiles l'évaluation de l'efficacité d'une solution corrective de type surventilation.
- Toutefois, **dans un contexte moins favorable à la qualité de l'air intérieur, c'est-à-dire avec des produits plus émissifs par exemple, il est fort possible que les solutions de surventilation testées aient des impacts positifs**. En effet, à l'inverse des bâtiments de type tertiaire, les bâtiments de logements sont généralement munis de systèmes de ventilation permettant des renouvellements d'air nettement plus faibles.

5.3.2.2. Les difficultés de mise en œuvre

Les différents procédés testés dans le cadre de l'expérimentation présentent des avantages et des inconvénients que nous souhaitons aborder ici.

Si la mise en place d'un extracteur spécifique présente un coût matériel relativement modéré (de l'ordre de 800 à 1000€ en incluant la plaque de plexiglas en remplacement de la menuiserie, l'extracteur et les différents dispositifs de raccordement), les manipulations nécessaires sont importantes et difficilement réalisables dans un contexte de fin de

chantier. Le nombre de manipulations est particulièrement important si le dispositif doit être déplacé d'un appartement à l'autre, selon l'avancée des travaux.

La solution d'aération par ouverture des fenêtres, si elle semble la plus facilement réalisable, interroge du point de vue des risques d'intrusion (pour les premiers niveaux), et des éventuelles entrées d'eau de pluie.

La solution d'utilisation de la VMC définitive sans les terminaux semble plus facilement réalisable, puisqu'il suffirait de décaler dans le temps la pose des terminaux par l'entreprise en charge du lot CVC. Cette solution pourrait mériter une expérimentation complémentaire, dans le cadre d'une opération de construction davantage contrainte en termes de délais de chantier.

6. Synthèse des apports du projet DETOX

La surventilation, aussi appelée flush out ou building flush, vise à accélérer le relargage des composés gazeux par les matériaux et favoriser leur évacuation à l'extérieur du bâtiment. Autrement dit, l'augmentation des débits a deux objectifs :

- accélérer le taux d'émission des matériaux pour les réduire plus rapidement,
- réduire la concentration des polluants dans l'air intérieur pour garantir des niveaux acceptables en début d'occupation.

La surventilation est aujourd'hui préconisée en phase réception des bâtiments dans un grand nombre de référentiels (certification HQE, LEED, BREEAM, WELL, méthode ECRAINS®, label Intairieur). Si le phénomène de dégazage des matériaux est a priori facilement compréhensible, peu d'études ont été menées pour évaluer son efficacité et les bonnes conditions de sa mise en œuvre.

A travers les différentes phases du projet DETOX, nous avons cherché à mieux comprendre les phénomènes physiques mis en jeu dans la surventilation et nous avons testé deux protocoles de surventilation adaptés aux deux typologies de bâtiments sélectionnés : une école élémentaire et un bâtiment de logements collectifs.

6.1.1. Issus de l'état de l'art

6.1. Les principaux éléments à retenir

Pour un matériau donné, les émissions dans l'air intérieur sont influencées par la vitesse d'air, la température et l'humidité relative, les concentrations étant influencées également par le renouvellement d'air du bâtiment.

Les études expérimentales présentées dans la revue de la littérature conduite mettent en évidence une incidence de la température sur l'augmentation des émissions en COV et en formaldéhyde des matériaux. Le constat est identique pour l'influence de l'hygrométrie vis-à-vis des COV.

Concernant le taux de renouvellement d'air (TRA) et la vitesse de l'air à la surface du matériau, le nombre d'études portant sur leur impact reste encore limité. Parmi ces études, les résultats sont partagés concernant l'impact de ces paramètres aérauliques sur le taux d'émission du matériau.

La synthèse de Sverre B. Hoos (2018) montre que dans les bâtiments, le taux de ventilation en occupation aurait peu d'influence sur les taux d'émissions mais qu'il reste fondamental pour contrôler les concentrations avant l'arrivée des occupants. L'analyse des émissions des COV totaux pour plusieurs études montre également qu'elles décroissent rapidement les 6 premiers mois d'occupation puis de manière beaucoup plus lente ensuite.

6.1.2. Issus des essais en laboratoire

Les essais en laboratoire et les expérimentations menées sur site dans le cadre du projet DETOX viennent globalement confirmer les conclusions de l'état de l'art.

Les essais en laboratoire ont montré que pour les peintures, aux conditions dites de référence (23°C, 50% HR et avec un renouvellement d'air de 0.5 vol/h), les émissions des peintures diminuent dans le temps 21 jours après leur application. Lorsque le renouvellement d'air est de 3 vol/h ou que la température est augmentée de 7°C par rapport aux conditions de référence, une réduction supplémentaire des émissions et des concentrations est observée. L'effet combiné de la surventilation et de la surchauffe est la plus efficace vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations dans l'air. En effet, une augmentation de température de 23 à 30 °C couplée à une surventilation de 3 vol/h conduit à une réduction supplémentaire des émissions et des concentrations de 60 % pour les COVT en plus de celle observée dans les conditions de référence. Les deux essais complémentaires avec une réduction de température de 5°C ont confirmé que la température est un facteur clé. En effet, la réduction de 5°C réduit de 62 % les émissions et concentrations de COVT par rapport à celles observées à 23°C.

Pour le panneau MDF, les essais menés aux conditions dites de référence n'ont pas montré de décroissance notable des émissions pour les COVL et les COVT. L'augmentation du taux de renouvellement d'air (à 3 et 8,5 vol/h) ne présente pas d'effet sur la réduction des émissions et des concentrations en COVL et COVT au-delà de la période où cette surventilation est mise en œuvre. L'effet combiné de l'augmentation du taux de renouvellement d'air et de la température semble par contre efficace vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations dans l'air. Les effets sont visibles quand la température passe de 23 à 30 °C mais également de 16 à 23 °C.

Sur les deux matériaux testés, que ce soit le panneau de bois MDF ou la peinture, il ressort que **l'effet combiné de surventilation et surchauffe (TRA augmenté de 3 vol/h et température augmentée de 7 °C) semble le plus intéressant vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations de polluant dans l'air.**

6.1.3. Issus des expérimentations in situ

Les résultats obtenus suite aux deux expérimentations sur site, dans une école élémentaire et un bâtiment de logements collectifs, sont plus difficiles à interpréter en raison des incertitudes liées à la mise en œuvre des protocoles de surventilation dans les bâtiments.

Toutefois, l'expérimentation menée dans l'école montre pour les produits de construction de faible émission choisis :

- Une diminution des concentrations est observée lors de la mise en route de la ventilation mécanique,
- Une réduction complémentaire de ces émissions est identifiée associée sans pouvoir en discriminer les impacts à l'augmentation de température et à la surventilation.

Dans le bâtiment de logements collectifs, il est difficile de conclure quant à l'intérêt d'une solution de surventilation en raison notamment de faibles concentrations en polluants gazeux dans l'air liées :

- au choix de produits de construction faiblement émissifs,
- à la période d'environ 6 semaines entre la fin des travaux de peintures et la réalisation des mesures : cette période a vraisemblablement permis une réduction significative des émissions,
- à la mise en fonctionnement de la ventilation et du chauffage (date inconnue) en amont des mesures.

Si les expérimentations réalisées sur le bâtiment de logements n'a pas permis de mettre en évidence l'efficacité de l'augmentation des débits sur le dégazage des produits, il confirme que pour garantir de faibles concentrations de polluants dans l'air intérieur, le choix de produits de construction faiblement émissifs et une durée conséquente après leur pose sont majeurs.

Dans les deux opérations expérimentées, des difficultés ont été rencontrées pour la mise en œuvre de la surventilation. Le contexte Covid a certainement accentué les difficultés rencontrées et notamment l'allongement des délais de chantier. Cette situation a entraîné des conséquences sur le projet DETOX car les demandes spécifiques au projet étaient secondaires pour les entreprises.

6.2. Les conditions de surventilation optimales

Au regard de l'ensemble des éléments recueillis, il apparaît que le choix de matériaux de construction les moins émissifs est le premier des critères à retenir. Par ailleurs, l'effet combiné d'une augmentation des débits d'air et d'une augmentation de la température aurait la meilleure efficacité sur la réduction des émissions des produits de construction et donc des concentrations en composés organiques volatils dans l'air avant l'arrivée des occupants. Enfin, le facteur temps entre la pose des produits et l'arrivée des occupants est également majeur.

Il semble donc pertinent, afin de favoriser le dégazage des produits de construction et évacuer les polluants, de travailler sur la température, le taux de renouvellement d'air et la durée entre la pose des produits et l'arrivée des occupants.

Dans la mesure du possible, de manière optimale et théorique, il est à retenir :

- une augmentation du renouvellement d'air à 3 vol/h sur une durée la plus longue possible.
- une augmentation de la température pour atteindre 30 °C la plus longue possible
- une durée d'au moins 28 jours entre la fin de tous les travaux et l'arrivée des occupants.

Si les conditions idéales de la surventilation à réception ont pu être définies, plusieurs freins à leur mise en œuvre ont été identifiés.

6.3.1. L'augmentation des débits d'air

6.3.1. Les freins identifiés à la mise en œuvre des conditions idéales de surventilation
Le taux de renouvellement d'air à réception était de 3 vol/h. Si ce taux de renouvellement montre une efficacité sur la diminution des émissions des peintures testées, il peut s'avérer difficile à mettre en œuvre en fonction des systèmes de ventilation du bâtiment.

Peu importe le système de ventilation, lors de sa mise en fonctionnement après réception, il est indispensable de prévoir un contrôle des débits de surventilation pour s'assurer d'avoir un débit d'air suffisant.

6.3.1.1. En simple flux

Lors de l'expérimentation menée dans le bâtiment de logements collectifs, les seules solutions pour atteindre un taux de renouvellement d'air d'au moins 3 vol/h ont été d'utiliser la ventilation naturelle ou un extracteur indépendant.

Si la ventilation naturelle est simple à mettre en œuvre, son efficacité est difficilement quantifiable. La mise en place d'une stratégie d'aération des locaux pendant les OPR (Opération préalable à la réception) impose qu'une personne en prenne la responsabilité. Une stratégie d'aération nécessite qu'une personne soit en charge, chaque jour, de l'ouverture des fenêtres le matin et de leur fermeture le soir pour éviter les intrusions. De plus, la ventilation naturelle par ouverture des ouvrants peut générer des problèmes de sécurité (intrusions nocturnes) et de dégradation des revêtements intérieurs (possibles entrées de la pluie). L'un des prérequis pour garantir l'efficacité de la ventilation naturelle est d'avoir des logements traversants, mais ce critère n'est cependant pas suffisant.

Le recours à un extracteur mobile est une solution qui a pu facilement être mise en place dans le logement instrumenté mais elle semble plus difficile à reproduire à grande échelle. D'abord en raison du surcoût lié à la location du matériel puis aux questions organisationnelles. En amont de la réception, il est nécessaire de définir l'entreprise responsable de la location du matériel et de sa mise en œuvre. Il faut également en prévoir un nombre suffisant pour que la surventilation soit effectuée dans l'ensemble des locaux. En effet, une des limites de ce type de système est le renouvellement uniquement dans les zones où il est installé. Cette solution peut être envisagée en maison individuelle car elle nécessite moins de matériel compte tenu de la taille du logement. En logements collectifs, il faudrait à minima un appareil par logement ou un extracteur de très grande puissance par étage, ce qui est techniquement et temporellement difficile à mettre en place. La location d'un appareil par logement d'extracteurs plus puissants par étage entraîne un surcoût pour le projet. L'installation de ces équipements est longue et nécessite également des moyens humains important pour les installer.

Dans l'un des appartements du bâtiment de logements collectifs instrumentés, le retrait des terminaux pour permettre au caisson d'extraction d'atteindre de plus grands débits a également été testé. Cette solution a permis d'obtenir dans le logement en question un taux de renouvellement d'air d'environ 1 vol/h, soit 5 fois plus important que celui recherché en exploitation (0,2 vol/h). Le retrait des terminaux pose néanmoins la question du déséquilibre des débits des logements de l'ensemble du bâtiment, cependant, lorsque le réseau est bien conçu et les conduits étanches, le déséquilibre des débits est faible. Ainsi, le retrait des terminaux permet d'obtenir des débits plus importants de renouvellement d'air dans chaque logement sans pour autant atteindre les renouvellements d'air de 3 vol/h.

6.3.1.2. En double flux

Ces systèmes de ventilation sont particulièrement présents dans les locaux tertiaires. L'augmentation des débits en double flux est plus simple à mettre en œuvre, en effet, il semble assez aisé d'imposer des débits d'air supérieurs aux débits règlementaires dans la limite des possibilités de l'installation de ventilation.

L'utilisation des centrales de traitement d'air définitives pour la surventilation nécessite cependant de prévoir un changement de filtre à la réception et un nettoyage des réseaux. Il est essentiel que ces missions soient intégrées dans les missions de l'entreprise CVC, soit dans le contrat initial, soit dans une mission complémentaire. Par ailleurs, ces systèmes étant plus complexes que les systèmes simple flux, il est particulièrement important que l'ensemble des installations soient réceptionnées avant leur utilisation pour la surventilation.

Comme pour les systèmes de ventilation mécaniques simple flux, l'utilisation des systèmes mécaniques définitifs pour la surventilation entraîne une augmentation des consommations énergétiques. Plus globalement, en dehors de la ventilation naturelle, l'utilisation de tout système mécanique, qu'il soit définitif ou mobile, impliquera une augmentation des consommations.

6.3.2. L'atteinte d'une température de 30 °C

D'après les résultats des essais en laboratoire et l'état de l'art, l'élévation de la température d'un bâtiment favorise le dégazage des produits de construction. L'atteinte d'une température de 30 °C représente les conditions idéales. Comme pour le renouvellement d'air, la montée en température du bâtiment peut être réalisée par le système de chauffage définitif ou par des chauffages d'appoints.

Si la mise en chauffe du bâtiment est facile à réaliser, la température de 30 °C est élevée et entraîne des consommations énergétiques supplémentaires.

Afin de pratiquer une mise en chauffe du bâtiment pertinente et efficace, il convient de la réserver aux situations qui le nécessitent le plus. C'est pourquoi, en fonction de la période de réception du bâtiment, en période de chauffe ou hors période de chauffe, la mise en chauffe du bâtiment ne sera pas toujours recommandée. Si la réception du bâtiment a lieu pendant la période de chauffe, entre le 15 octobre et le 15 avril, le bâtiment sera mis en chauffe. En dehors de cette période, la montée en température du bâtiment n'est pas imposée, il pourra cependant être pertinent en fonction des températures extérieures de l'envisager.

6.3.3. Le respect de la durée de la surventilation

Pour améliorer la qualité de l'air intérieur à l'arrivée des occupants, il est important qu'une durée suffisante ait été respectée après la mise en œuvre des produits pour laisser le temps aux matériaux de dégazer au maximum avant la livraison.

En théorie, plus la durée est longue, plus les bénéfices sur la qualité de l'air intérieur sont importants. Néanmoins, l'application d'une durée longue de ventilation spécifique du bâtiment avant la livraison peut être difficile à mettre en œuvre en raison notamment de contraintes temporelles de chantier. Il est important que la durée de ventilation spécifique recommandée dans le protocole proposé soit réaliste vis-à-vis des contraintes de chantier.

D'après le rapport d'expertise collective AFSSET (2009), préfigurant la réglementation sur les émissions des matériaux arrêté du 19 avril 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction sur leurs émissions de polluants volatils), une durée de 28 jours est considérée comme un compromis acceptable pour la caractérisation du niveau d'émission d'un produit de construction, jugé représentatif d'un profil d'émission à long terme. Ainsi, dans les conditions optimales proposées pour la surventilation, la durée de 28 jours constitue la durée minimale de ventilation spécifique entre la fin des travaux impliquant l'utilisation de produits émissifs et la livraison du bâtiment.

Pour se rapprocher des phases classiques d'une opération de construction et faciliter la mise en œuvre de la surventilation, nous recommandons son application pendant toute la durée des opérations préalables à la livraison (OPR) et a minima pendant 28 jours si la durée des OPR est inférieure à 28 jours.

7. Recommandations

Les résultats du projet DETOX permettent de confirmer que l'augmentation du renouvellement d'air a des effets bénéfiques pour la qualité de l'air intérieur du futur bâtiment. Mais l'augmentation du renouvellement d'air n'est pas le seul paramètre à prendre en compte. Sur les deux matériaux testés, que ce soit le panneau de bois MDF ou la peinture, il ressort que l'effet combiné d'une surventilation et surchauffe (TRA augmenté de 3 vol/h et température augmentée de 7 °C) est le plus intéressant vis-à-vis de la réduction des émissions et des concentrations de polluant dans l'air.

Afin d'apporter des solutions aux freins identifiés précédemment sur l'application des conditions idéales de surventilation, le groupement a privilegié une ventilation spécifique avant la livraison du bâtiment avec les installations de ventilation définitives. Ce choix permet avant tout de limiter les contraintes techniques et économiques que peuvent engendrer la location de matériel spécifique.

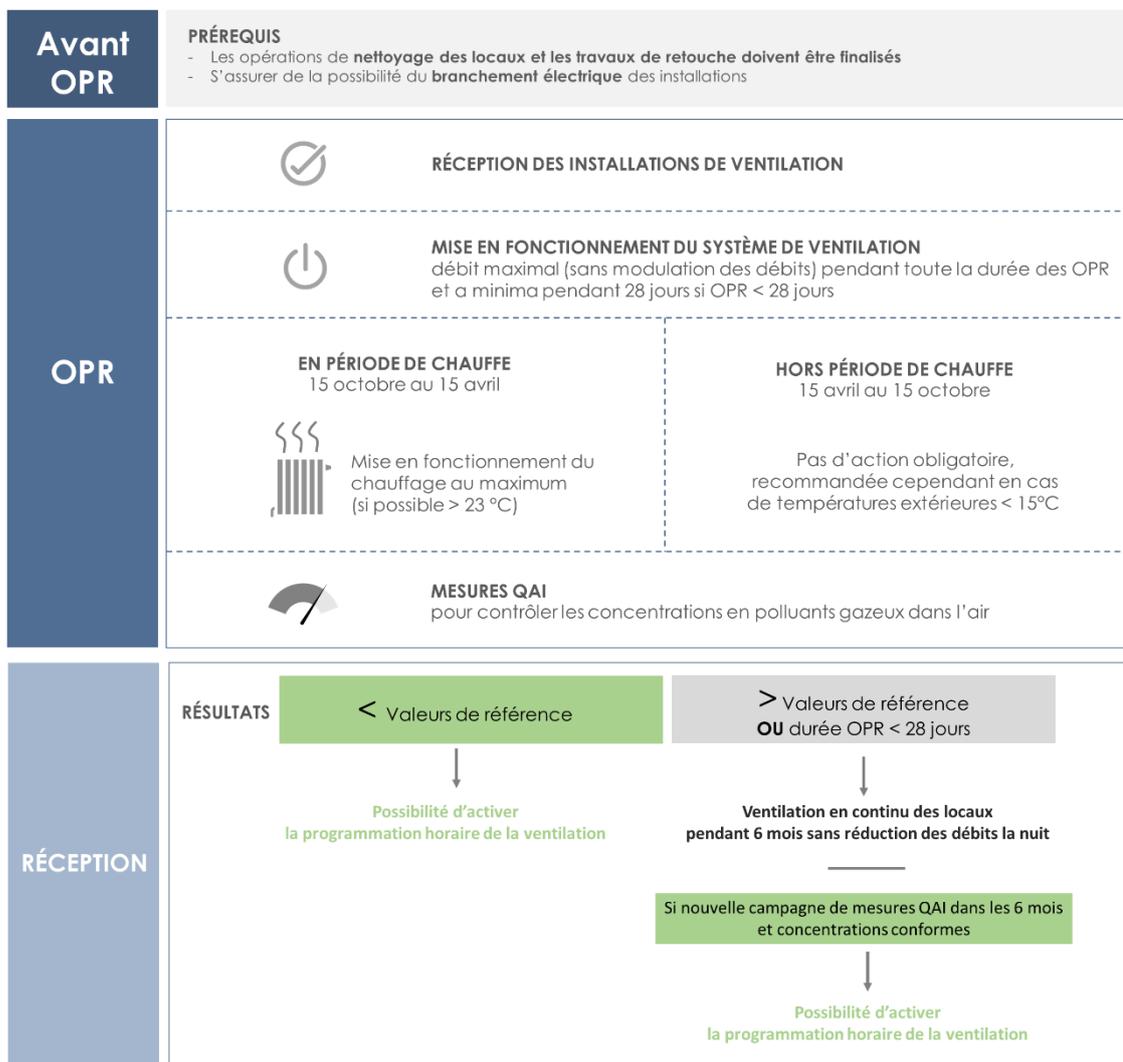
7.1. Proposition de protocoles de « surventilation »

Les freins identifiés à la mise en œuvre de la surventilation ont montré que l'approche était différente en fonction du type de système de ventilation installé dans le bâtiment. C'est pourquoi, deux protocoles sont proposés ci-après : le premier pour les bâtiments équipés d'un système de ventilation simple plus et le second pour ceux équipés d'un système de ventilation double flux.

Bâtiments équipés d'un système de ventilation simple flux

Avant OPR	PRÉREQUIS <ul style="list-style-type: none"> - Les opérations de nettoyage des locaux et les travaux de retouche doivent être finalisés - S'assurer de la possibilité du branchement électrique des installations 		
OPR		RÉCEPTION DES INSTALLATIONS DE VENTILATION	
		RETIRER LES TERMINAUX (entrées d'air et bouches d'extraction)	
		MISE EN FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE VENTILATION débit maximal pendant toute la durée des OPR ou a minima pendant 28 jours	
		EN PÉRIODE DE CHAUFFE 15 octobre au 15 avril Mise en fonctionnement du chauffage au maximum (si possible > 23 °C)	HORS PÉRIODE DE CHAUFFE 15 avril au 15 octobre Pas d'action obligatoire, recommandée cependant en cas de températures extérieures < 15°C
		REMETTRE LES TERMINAUX ET CONTRÔLER L'ÉQUILIBRAGE DE L'INSTALLATION	
		MESURES QAI pour contrôler les concentrations en polluants gazeux dans l'air	
RÉCEPTION		INFORMATION AUPRÈS DES ACQUÉREURS OCCUPANTS sur l'importance d'aérer régulièrement le logement pendant les premiers mois d'occupation	

Bâtiments équipés d'un système de ventilation double flux



7.2. Recommandations pour la mise en oeuvre des protocoles de surventilation

7.2.1. Prérequis

La durée des émissions des produits de construction est liée en partie à leur composition et notamment à leur teneur en COV. Afin d'obtenir la meilleure qualité de l'air possible avant l'arrivée des occupants, la surventilation avant l'arrivée des occupants n'est pas suffisante si les produits sont fortement émissifs. Ils auront besoin de temps pour dégazer. Ce constat met en évidence que le choix de produits de construction faiblement émissifs reste un prérequis indispensable à l'obtention d'une bonne qualité de l'air intérieur.

En raison de leurs émissions dans l'air intérieur, il est nécessaire, avant de commencer la surventilation, de s'assurer que les opérations de nettoyage des locaux et les travaux de retouche soient finalisés. Il est important que la durée de ventilation spécifique soit a minima de 28 jours après la fin de tous les travaux de retouche pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur avant l'arrivée des occupants. Dans l'hypothèse où des matériaux fortement émissifs étaient mis en œuvre sur le chantier, une surventilation plus conséquente (débit et/ou durée) serait nécessaire.

L'autre point essentiel est de s'assurer que le bâtiment est raccordé à l'électricité dès le début des OPR pour la mise en fonctionnement des installations de ventilation le plus tôt possible.

7.2.2. Mission spécifique de l'entreprise CVC

Afin de limiter la responsabilité des entreprises vis-à-vis de cette ventilation spécifique avant la livraison du bâtiment, les systèmes définitifs ne pourront être utilisés qu'après la réception des installations. La mise en place de la surventilation, en augmentant les débits par exemple ou en retirant les terminaux en simple flux, pourra être confiée à l'entreprise CVC mais avec une mission complémentaire après la réception de ses installations.

Cette mission doit comprendre la mise en œuvre de la ventilation spécifique pendant les OPR mais aussi la remise en l'état de fonctionnement normal des installations à la fin des OPR. Il conviendra à ce moment-là de prévoir : i) la mesure des débits, ii) le contrôle de l'équilibrage du système avant l'arrivée des occupants, iii) et pour la ventilation double flux spécifiquement le changement des filtres, voire le nettoyage si nécessaire des conduits.

7.2.3. Pendant les six premiers mois d'exploitation

Pour les bâtiments équipés d'une ventilation double flux, il est recommandé, si les résultats des mesures QAI réalisées à la réception du bâtiment sont supérieurs aux valeurs de référence pour la qualité de l'air intérieur, de s'assurer que le renouvellement d'air soit continu lors des 6 premiers mois d'exploitation.

Un renouvellement d'air constant implique l'arrêt de la régulation, notamment la nuit, pratiquée pour des économies d'énergie. Certes cela pose la question de l'augmentation des consommations liée au fonctionnement nocturne de la ventilation mais il est considéré que le bénéfice pour la santé des occupants est significatif sur cette période somme toute réduite. Il conviendra cependant de réfléchir en amont, au positionnement de cette action par rapport aux contraintes de la réglementation thermique.

7.3. ~~Perspectives~~ Envisager une surventilation par ventilation naturelle

L'aération n'est pas une solution considérée dans les recommandations formulées à l'issue du projet DETOX dans la mesure où son efficacité, très dépendante des bâtiments et des conditions météorologiques, n'est pas quantifiable. Un certain nombre de freins peuvent être cités :

- La justification de son efficacité en termes de renouvellement d'air généré ;
- Des difficultés organisationnelles au regard du nombre d'ouvrants dans un bâtiment qui nécessite quotidiennement des interventions. Cela nécessite un portage clair de ces responsabilités ;
- Une problématique de sécurisation du bâtiment : pour les ouvrants accessibles depuis l'extérieur, le risque d'intrusions doit être pris en compte ;
- La dégradation des matériaux par les intempéries lorsque les fenêtres sont ouvertes.

Ainsi, vis-à-vis de l'efficacité de la ventilation naturelle à réduire efficacement les concentrations avant l'arrivée des occupants, des travaux complémentaires s'avèrent nécessaires. Ceux-ci pourraient permettre de définir un protocole adapté qui puisse guider les acteurs dans sa mise en œuvre.

7.3.2. Développer des systèmes simple flux plus adaptés à la surventilation

Si la ventilation simple flux est présente dans la majorité des bâtiments de logements, elle ne permet pas une augmentation significative des débits limitant ainsi le dégazage des produits avant la livraison si les durées de la surventilation sont trop contraintes.

Ainsi, pouvant répondre également à d'autres enjeux comme le rafraîchissement nocturne en situation de canicule, il pourrait s'avérer pertinent de développer des systèmes de ventilation simple flux disposant d'une plage plus large de débit qui permette leur augmentation ponctuelle à certaines périodes.

8. Références bibliographiques

- [1] P. Wolkoff, "Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term voc emissions from building products," *Atmospheric Environment*, vol. 32, no. 14–15, pp. 2659–2668, Aug. 1998, doi: 10.1016/S1352-2310(97)00402-0.
- [2] H. N. Knudsen, U. D. Kjaer, P. A. Nielsen, and P. Wolkoff, "Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products: impact of concentration and air velocity," *Atmospheric Environment*, vol. 33, no. 8, pp. 1217–1230, Apr. 1999, doi: 10.1016/S1352-2310(98)00278-7.
- [3] D. Won and C. Shaw, "Effects of air velocity and temperature on VOC emissions from architectural coatings," in *The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Beijing, 2005, p. 9.
- [4] Y. Zhang, X. Luo, X. Wang, K. Qian, and R. Zhao, "Influence of temperature on formaldehyde emission parameters of dry building materials," *Atmospheric Environment*, vol. 41, no. 15, pp. 3203–3216, May 2007, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.10.081.
- [5] J.-Y. An, S. Kim, and H.-J. Kim, "Formaldehyde and TVOC emission behavior of laminate flooring by structure of laminate flooring and heating condition," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 187, no. 1, pp. 44–51, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.08.086.
- [6] C. R. Frihart, "Formaldehyde Emissions from ULEF- and NAF-Bonded Commercial Hardwood Plywood as Influenced by Temperature and Relative Humidity," in *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee*, Switzerland, 2010.
- [7] S. Parthasarathy, R. L. Maddalena, M. L. Russell, and M. G. Apte, "Effect of Temperature and Humidity on Formaldehyde Emissions in Temporary Housing Units," *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 61, no. 6, pp. 689–695, Jun. 2011, doi: 10.3155/1047-3289.61.6.689.
- [8] S. Huang, J. Xiong, and Y. Zhang, "Impact of Temperature on the Ratio of Initial Emittable Concentration to Total Concentration for Formaldehyde in Building Materials: Theoretical Correlation and Validation," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 3, pp. 1537–1544, Feb. 2015, doi: 10.1021/es5051875.
- [9] S. Huang, J. Xiong, and Y. Zhang, "The Impact of Relative Humidity on the Emission Behaviour of Formaldehyde in Building Materials," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 59–66, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.1019.
- [10] W. Liang, M. Lv, and X. Yang, "The effect of humidity on formaldehyde emission parameters of a medium-density fiberboard: Experimental observations and correlations," *Building and Environment*, vol. 101, pp. 110–115, May 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.008.
- [11] W. Liang, M. Lv, and X. Yang, "The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium-density fiberboard," *Building and Environment*, vol. 98, pp. 80–88, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.12.024.
- [12] C. Jiang, D. Li, P. Zhang, J. Li, J. Wang, and J. Yu, "Formaldehyde and volatile organic compound (VOC) emissions from particleboard: Identification of odorous compounds and effects of heat treatment," *Building and Environment*, vol. 117, pp. 118–126, May 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.03.004.
- [13] Sverre B. Hoos, 2018]
- [14] AFSSET (2009), Procédure de qualification des émissions de composés organiques volatils par les matériaux de construction et produits de décoration, 91 pages

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 Synthèse des résultats des travaux susmentionnés	11
Tableau 3. Synthèse des modalités d'application de la surventilation dans les certifications environnementales à l'international	12
Tableau 2. Synthèse des modalités d'application de la surventilation dans les certifications et démarches environnementales en France	13
Tableau 4 Caractéristiques techniques, coûts et contraintes des différentes solutions techniques de surventilation.....	14
Tableau 5. Références des deux matériaux étudiés	15
Tableau 6. Descriptif des conditions de références et favorisées pour les essais sur MDF et peintures	17
Tableau 7. Synthèse des résultats pour les peintures.....	19

Tableau 8. Configuration de la ventilation envisagée dans les 3 classes (non mis en œuvre).....	23
---	----

FIGURES

Figure 1. Structuration du projet DETOX.....	8
Figure 2 Emission de polluants gazeux d'un matériau solide.....	9
Figure 3. Phasage des essais de 21 jours en laboratoire.....	16
Figure 4. Composés identifiés dans les émissions des panneaux MDF de deux lots : MDF REF (conditions de référence) et REF2 (conditions hivernales).....	18
Figure 5. Composés identifiés dans l'air lors des essais Peinture.....	18
Figure 6. Efficacité des conditions favorisées sur les concentrations en COVT dans l'air pour la peinture testée.....	19
Figure 7. Efficacité des conditions favorisées sur les concentrations en COVL dans l'air pour le panneau MDF testé.....	20
Figure 8. Planning du suivi DETOX sur l'école élémentaire.....	23

PHOTOS

Photo 1. Cellule d'essai CLIMPAQ calorifugée avec résistance chauffante de 5W.....	16
Photo 2. École élémentaire en chantier.....	21
Photo 3. Bâtiment de logements collectifs en cours de chantier.....	22
Photo 4. Localisation des balises NEMO.....	24

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
BREEAM	Building research establishment environmental assessment
CDHS	California Department of Health Services
CHPS	Collaborative for High Performance Schools
CIWG-IAQ	California Interagency Working Group on Indoor Air Quality
COV	Composés organiques volatils
COSV	Composés organiques semi-volatils
COVL	Composés organiques volatils légers
COVT	Composés organiques volatils totaux
CTA	Centrale de traitement d'air
ECRAINS	Engagement à construire responsable pour un air intérieur sain
EPA	Environmental Protection Agency, Agence de Protection de l'Environnement Américaine
HDF	High Density Fiberboard
HR	Humidité relative
ICHAQAI	Impact de la phase chantier sur la qualité de l'air intérieur
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MDF	Medium Density Fiberboard
OPR	Opération préalable à la réception
TRA	Taux de renouvellement d'air
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
VOC	Volatile organic compound

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

DETOX SURVENTILATION DES BATIMENTS AVANT LIVRAISON

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur est aujourd'hui intégrée dans divers référentiels de labels, méthodes ou certifications tant en France qu'à l'international. Ces documents préconisent généralement une surventilation du bâtiment avant la réalisation de mesures de concentrations de polluants dans l'air. Les difficultés souvent constatées pour l'atteinte des performances QAI à la réception des bâtiments interrogent sur la mise en place de la procédure de surventilation, tant sur son efficacité à accélérer le relargage des composés gazeux des matériaux que sur les modalités de sa mise en œuvre.

Le projet DETOX, lauréat à l'appel à projet CORTEA de l'ADEME vise à évaluer l'efficacité des actions de surventilation à travers des essais en laboratoire, des expérimentations sur deux sites réels et les difficultés de mise en œuvre.

In fine, l'ensemble des travaux réalisés ont permis de proposer deux protocoles de ventilation permettant d'améliorer la qualité de l'air intérieur avant l'arrivée des occupants.

La surventilation est-elle efficace pour réduire le taux d'émission des matériaux et garantir une meilleure qualité de l'air ?

Quels sont les contraintes et limites rencontrées ?

Quels protocoles appliqués ?

