

RAPPORT FINAL

Novembre 2023

RENOVAIR

ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'ETANCHEITE A L'AIR, DE LA VENTILATION, DU CONFORT ET DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR DANS LES OPERATIONS DE RENOVATION ENERGETIQUE DE LOGEMENTS SOCIAUX



Rapport Final
Diagnostics Avant Travaux
Diagnostics Après Travaux
Diagnostics 1 An Après Travaux

Version 2.1 du 22.08.2024

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport.

Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

Atmo Nouvelle-Aquitaine est l'observatoire agréé par le ministère de la Transition écologique, pour surveiller la qualité de l'air en Nouvelle-Aquitaine. Son rôle est d'évaluer la situation de la région par rapport à la réglementation, pour contribuer à limiter l'exposition des populations et améliorer la qualité de l'air. Le quotidien de l'observatoire s'organise autour de 5 missions principales : surveiller la qualité de l'air 24h/24, prévoir les épisodes de pollution, étudier pour améliorer les connaissances, informer pour sensibiliser et accompagner les décideurs dans leurs plans d'action.

Site web : www.atmo-nouvelleaquitaine.org

Etude de l'évolution de l'étanchéité à l'air, de la ventilation, du confort et de la qualité d'air intérieur dans les opérations de rénovation énergétique de logements sociaux en Nouvelle-Aquitaine

Commanditaire : Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine

Auteurs : Eddy Handtschoewercker et Emilie Palka

Responsable du rapport

Andrés LITVAK – Département Territoires – Groupe Bâtiment Durable
Tél. : +33(0)5 56 70 65 98
Courrier : andres.litvak@cerema.fr
Direction Territoriale Sud-Ouest – rue Pierre Ramond – 33160 Saint-Médard-en-Jalles

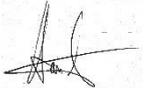
Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1.0	06/11/2023	Rapport final par Eddy HANDTSCHOEWERCKER
V1.1	06/11/2023	Relecture Andrés LITVAK
V1.2	06/11/2023	Relecture Fabrice MARIE
V2.0	08/11/2023	Relecture Emilie PALKA, Rémi FEUILLADE et Jérôme NICOLLE
V2.1	22/08/2024	Version anonymisée

Références

N° d'affaire : 21-SO-0124

Droits : Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans autorisation expresse de : Andrés Litvak Crédits photos – illustrations : Cerema SO

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
HANDTSCHOEWERCKER Eddy	Cerema SO	Auteur principal	22/08/2024	
PALKA Emilie	Atmo Nouvelle-Aquitaine	Auteur secondaire	22/08/2024	
LITVAK Andrés	Cerema SO	Contributeur	22/08/2024	
FEUILLADE Rémi	Atmo Nouvelle-Aquitaine	Relecteur	22/08/2024	
MARIE Fabrice	Cerema SO	Relecteur	22/08/2024	
NICOLLE Jérôme	Tipee	Relecteur	22/08/2024	

Résumé de l'étude :

De nombreux programmes européens proposent des aides financières éco-conditionnées pour accompagner les politiques publiques de décarbonation des bâtiments. C'est le cas, par exemple, du Programme Opérationnel FEDER 2017-2022 (PO FEDER), qui assiste financièrement la maîtrise d'ouvrage sociale pour des opérations de rénovation énergétique de son parc immobilier. Les conditions d'éligibilité aux aides financières concernent les consommations d'énergie, les performances d'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment et l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Le cahier des charges actuel de ce programme ne conditionne pas l'aide financière à des critères de performance portant sur la qualité d'air intérieur (QAI), la ventilation et l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment.

L'objectif du projet RENOVAIR est d'étudier l'impact sur le confort et la santé des occupants des travaux de rénovation énergétique de logements sociaux basse consommation, lorsqu'aucune obligation n'est faite sur la performance de la QAI, de la ventilation et de l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment.

Ce projet d'une durée de trois ans s'appuie sur 7 opérations candidates au programme FEDER pour la réhabilitation énergétique de logements collectifs sociaux en Nouvelle-Aquitaine. Dans ce travail, nous cherchons à caractériser la QAI, le confort, l'étanchéité à l'air et les performances de ventilation, avant et après les travaux de rénovation, dans le cadre de campagnes de mesures in situ sur 21 logements, afin d'enquêter sur l'importance de telles exigences pour construire des politiques publiques de décarbonation.

Dans ce rapport, nous présentons les typologies constructives des opérations pilotes, le protocole opératoire des campagnes de mesure et les résultats des 3 campagnes de mesures réalisées.

Sur chacun des 7 sites pilotes, 3 logements ont été sélectionnés pour faire l'objet d'un suivi métrologique et d'enquêtes occupants. Le protocole global est composé de 4 parties :

- 1) Un audit ventilation sur chaque logement, basé sur le protocole PROMEVENT, applicable aux logements neufs soumis à la nouvelle réglementation française RE2020 ; il consiste en des mesures aérauliques, un diagnostic visuel, des contrôles fonctionnels et une enquête auprès des occupants.
- 2) Mesures d'étanchéité à l'air de chaque logement avec une « porte soufflante », selon le protocole d'essai de la norme NF EN ISO 9972. Un classement qualitatif des fuites est effectué selon la méthodologie des contrôles réglementaires pour les constructions neuves, pour la réglementation thermique française RE2020.
- 3) Mesures de la QAI, par des mesures dynamiques de dioxyde de carbone et des mesures passives de composés organiques volatils (formaldéhyde, benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) dans chaque logement.
- 4) Relevés et mesures du confort des occupants par des stations de mesure multi-capteurs disponibles dans le commerce GreenMe® pour caractériser la qualité de l'environnement intérieur (température, humidité, CO₂, bruit, éclairage) dans chaque logement pendant deux semaines, en période hivernale.

Mots clés à retenir :

Rénovation éco-énergétique, étanchéité à l'air, ventilation, confort, QAI, mesures

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Contexte et objet de l'étude

Le Cerema accompagne depuis 2016 le Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine dans le cadre d'une assistance technique à la mise en place d'opérations de rénovation énergétique de logements sociaux. Au total, 70 opérations de rénovation énergétique ont été examinées par le Cerema dans le cadre de l'obtention d'une aide financière du Programme Opérationnel FEDER 2017-2022 (PO FEDER), représentant un total de 7 400 logements.

Les opérations ont été suivies avant, pendant et après les travaux de rénovation, selon des indicateurs énergétiques spécifiques répondant aux exigences éco-conditionnées du PO FEDER, qui excluent les questions liées à l'étanchéité à l'air, la ventilation, la QAI et le confort des occupants.

Cette présente étude propose de quantifier la prise en compte de quatre paramètres influençant directement la performance énergétique et sanitaire des bâtiments ainsi que le confort des occupants de logements sociaux rénovés (c'est-à-dire l'étanchéité à l'air, la ventilation, la QAI et le confort ambiant), lorsqu'aucune exigence relative à ces quatre paramètres n'a été donnée dans les cahiers des charges des programmes d'aides financières éco-conditionnées. En complément du travail réalisé par le Cerema sur ces problématiques, Atmo Nouvelle-Aquitaine, en convention avec le Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine, est en charge de la partie qualité de l'air intérieur (QAI).

SOMMAIRE

1	Introduction	8
2	Contexte et Enjeux	8
3	Objectifs de l'étude	9
4	Méthodologie	9
4.1	Description des opérations	10
4.1.1	Répartition géographique et bailleurs sociaux	10
4.1.2	Typologies constructives des bâtiments (existant)	11
4.1.3	Travaux envisagés (enveloppe et équipements)	11
4.1.3.1	Résidence #01	11
4.1.3.2	Résidence #02	11
4.1.3.3	Résidence #03	12
4.1.3.4	Résidence #04	12
4.1.3.5	Résidence #05	12
4.1.3.6	Résidence #06	12
4.1.3.7	Résidence #07	12
4.1.4	Economies d'énergie et réductions de GES attendues	13
4.1.5	Synthèse des opérations	17
4.2	Mesures d'étanchéité à l'air	19
4.2.1	Norme de mesures et guide d'application	19
4.2.2	Présentation du matériel de mesure	21
4.2.3	Classification des fuites	22
4.3	Mesures et inspection des systèmes de ventilation	23
4.3.1	Présentation du protocole PROMEVENT	23
4.3.2	Présentation du matériel de mesure	24
4.4	Mesures de Qualité de l'Air Intérieur	25
4.4.1	Présentation des valeurs de référence et de la représentation statistique des données	25
4.4.2	Présentation des normes de mesures pour chaque polluant	25
4.4.3	Présentation du matériel de mesure	26
4.5	Mesures du confort	26
4.5.1	Présentation des stations GREENME et des capteurs associés	27
4.5.2	Méthodologie d'enquête auprès des occupants	27
4.5.3	Modélisation du confort	27
4.6	Protocole expérimental : dates des mesures, logements instrumentés	28
5	Résultats Détaillés	30
5.1	Mesures d'étanchéité à l'air	30
5.1.1	Histogramme des mesures de débits surfaciques de fuite sous 4 Pa	30
5.1.2	Identification des fuites	31
5.2	Mesures et inspection des systèmes de ventilation	31
5.2.1	Histogramme des mesures de débits	31
5.2.2	Vérifications fonctionnelles	33
5.3	Mesures de Qualité de l'Air Intérieur	33
5.4	Mesures du confort	36
6	Analyse des Résultats	38
6.1	Sur le volet de l'étanchéité à l'air	38

6.2	Sur le volet ventilation	38
6.3	Sur le volet QAI	38
6.4	Sur le volet confort thermique	39
7	Conclusion	40
8	Références	41
9	Annexes	42
9.1	Opération #01	42
9.1.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.1.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.1.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.1.4	Mesures COV / CO2	42
9.2	Opération #02	42
9.2.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.2.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.2.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.2.4	Mesures COV / CO2	42
9.3	Opération #03	42
9.3.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.3.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.3.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.3.4	Mesures COV / CO2	42
9.4	Opération #04	42
9.4.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.4.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.4.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.4.4	Mesures COV / CO2	42
9.5	Opération #05	42
9.5.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.5.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.5.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.5.4	Mesures COV / CO2	42
9.6	Opération #06	42
9.6.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.6.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.6.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.6.4	Mesures COV / CO2	42
9.7	Opération #07	42
9.7.1	Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure	42
9.7.2	Diagnostics des systèmes de ventilation	42
9.7.3	Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée	42
9.7.4	Mesures COV / CO2	42
9.8	Boxplot des concentrations QAI sur les 3 phases de mesures	42

LEXIQUE

ADEME	agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFNOR	association française de normalisation
ANSES	agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AvT	phase de mesures ayant eu lieu avant les travaux
ApT	phase de mesures ayant eu lieu après la fin des travaux (à réception)
1anApT	phase de mesures ayant eu lieu 1 an après la fin des travaux
Bât	bâtiment
BT	basse tension
BTEX	benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes
Cep	consommation d'énergie primaire
CNL1	campagne nationale logement n°1
CO2	dioxyde de carbone
COV	composé organique volatil
CSTB	centre scientifique et technique du bâtiment
DGALN	direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
DV	double vitrage
ECS	eau chaude sanitaire
ERP	établissement recevant du public
FEDER	fonds européen de développement régional
GES	gaz à effet de serre
HCSP	haut conseil de la santé publique
HQE	haute qualité environnementale
ITE	isolation thermique par l'extérieur
LDR	laine de roche
LNC	local non chauffé
Log	logement
NDIR	spectroscopie infrarouge non dispersive
OQAI	observatoire de la qualité de l'air intérieur
Ph1/2/3	phase de mesures n°1/2/3
PO	programme opérationnel
ppm	partie par million
PSE	polystyrène expansé
PVC	polychlorure de vinyle
QAI	qualité de l'air intérieur
RE2020	règlementation environnementale 2020
RT2012	règlementation thermique 2012
SF	simple flux
SHON	surface hors œuvre nette
SV	simple vitrage
VGAI	valeur guide pour l'air intérieur
VMC	ventilation mécanique contrôlée
VR	volet roulant

1 Introduction

Depuis de nombreuses décennies, il est admis que pour une rénovation énergétique efficace des bâtiments, atteindre des performances de type bâtiment à faible consommation d'énergie n'est possible que si les problématiques de renouvellement d'air, de ventilation ou d'étanchéité à l'air sont très bien prises en compte.

De plus, la crise pandémique du COVID-19 a conduit à une prise de conscience du public sur l'importance de la qualité d'air intérieur (QAI). A défaut de devenir le critère prioritaire de décision pour les travaux de rénovation énergétique, la QAI est pourtant devenue une préoccupation majeure des maîtres d'ouvrage, tant en termes de santé que de confort des occupants. En effet, l'impact économique des travaux de rénovation énergétique à l'échelle des pays ou des territoires régionaux a été démontré comme significatif dans les études d'approche par coût global, si l'on intègre la perte de productivité et les coûts de santé publique associés à une mauvaise QAI (Copenhagen Economics, 2012).

Ainsi, il devient essentiel, lorsque les politiques publiques abordent les enjeux de massification de la réhabilitation énergétique des bâtiments, de prendre en compte les hautes performances de ventilation, d'étanchéité à l'air et les exigences QAI des bâtiments.

2 Contexte et Enjeux

De nombreux programmes européens proposent des aides financières éco-conditionnées pour accompagner les politiques publiques de décarbonation des bâtiments. C'est le cas, par exemple, du Programme Opérationnel (PO) 2017-2022 du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) qui assiste financièrement la maîtrise d'ouvrage sociale pour des opérations de rénovation énergétique de son parc immobilier.

Dans son cahier des charges du programme d'aides aux opérations de rénovation énergétique des logements sociaux, le PO FEDER 2017-2022 ne prend en compte aucun critère d'éco-conditionnalité sur l'étanchéité à l'air, ni la QAI ou le confort des occupants des projets de rénovation énergétique. Or, il est aujourd'hui admis que la maîtrise de l'étanchéité et du renouvellement d'air des bâtiments est devenue une condition nécessaire pour atteindre une très faible consommation d'énergie. Ainsi, il apparaît très important de pouvoir lier les conditions de mise en œuvre de l'étanchéité à l'air et du renouvellement d'air dans les opérations de rénovation énergétique accompagnées par les politiques publiques.

Ce constat a également été mis en exergue par les résultats de l'étude TREMI sur les "Travaux de Rénovation Énergétique des Maisons Individuelles" (ADEME, 2017), où l'amélioration du confort est identifiée comme le principal motif de réalisation des travaux, les ménages ayant le réflexe de commencer par l'isolation, mais oubliant trop souvent la ventilation. En effet, des études récentes en France démontrent l'importance des enjeux tels que l'étanchéité à l'air, la ventilation, le confort ambiant et la QAI si on vise la rénovation de bâtiments à faible efficacité énergétique (DGALN, 2019), (ADEME, 2019), (ADEME, 2016).

Le Cerema accompagne depuis 2016 le Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine dans le cadre d'une assistance technique à la mise en place d'opérations de rénovation énergétique de logements sociaux. Au total, 70 opérations rénovées bénéficient d'une aide financière du PO FEDER depuis 2014 (représentant un total de 7 400 logements). Depuis 2016, pour le compte du Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine, le Cerema a instruit les dossiers de demandes d'aides financière d'environ 70 de ces opérations de rénovation énergétique. Les opérations ont été suivies avant, pendant et après les travaux de rénovation, selon des indicateurs énergétiques spécifiques répondant aux exigences éco-conditionnées du PO FEDER, qui excluent les questions liées à l'étanchéité, la ventilation, la QAI et le confort des occupants.

Les principaux objectifs de l'assistance consistent à :

- S'assurer de la bonne qualité des études thermiques et de leur cohérence avec leur mise en œuvre effective,
- S'assurer que les travaux envisagés permettent réellement un gain énergétique suffisant correspondant à l'aide financière envisagée,
- Vérifier la qualité de réalisation des travaux et leur cohérence avec les prévisions,
- Accompagner la Région Nouvelle-Aquitaine dans l'analyse des impacts environnementaux et sociaux du PO FEDER

Pour ce travail permanent, l'analyse d'une opération se décompose en trois phases :

- Phase 1 : Etude des projets de rénovation, avant travaux (AvT). Cette phase consiste à vérifier que le gain énergétique théorique présenté dans le projet correspond à la réalité. Une vérification de la cohérence entre l'état initial réel du bâtiment et celui de l'étude thermique est effectuée au préalable. Dans un second temps, nous vérifions que les travaux prévus généreront effectivement les économies d'énergie escomptées.
- Phase 2 : Vérification de l'exécution et de la conformité des travaux de rénovation pendant la construction. Cette étape porte sur le suivi de la qualité des travaux et de la mise en place effective des dispositifs prévus dans le projet.
- Phase 3 : Vérification finale des travaux, après travaux (ApT). La conformité des travaux réalisés avec ceux prévus et leur bonne qualité est assurée lors de cette étape. Une attestation de conformité ou de non-conformité sera délivrée, conditionnant la phase de versement de l'aide par le service instructeur.

3 Objectifs de l'étude

Les indicateurs de performance d'étanchéité à l'air, de ventilation, de confort et de QAI n'étant pas explicitement demandés pour les aides éco-conditionnées dans le cahier des charges des PO FEDER, nous visons à étudier l'impact du renouvellement d'air (par ventilation et infiltration) dans les opérations de rénovation énergétique, et mieux comprendre les enjeux énergétiques, de confort et de santé sous-jacents.

Nous présentons dans ce rapport les résultats de l'étude RENOVAIR (2021-2023), projet de recherche adossé à l'appui opérationnel réalisé dans le cadre du PO FEDER. A travers le projet de recherche RENOVAIR, le Cerema et Atmo Nouvelle-Aquitaine visent à évaluer les performances d'étanchéité, de ventilation, de confort et de QAI sur 7 opérations aidées (soit 10% du total des opérations de rénovation contrôlées), par des mesures in situ réalisées avant et après les travaux de rénovation, puis un an après la réception des travaux de rénovation. En effet, le récent projet de recherche Durabilit'air sur la pérennité de l'étanchéité à l'air piloté par le Cerema (ADEME, 2019) a montré que la principale évolution de l'étanchéité à l'air après réception se situe au cours de la première année d'utilisation du bâtiment.

Le projet global RENOVAIR a trois objectifs principaux :

- Constater l'efficacité de la prise en compte - ou non - de l'étanchéité à l'air, de la ventilation et de la QAI dans la rénovation énergétique des 7 opérations aidées au logement suivies.
- Identifier les conditions d'amélioration de l'efficacité énergétique des rénovations, en lien avec la mise en place de solutions correctives sur l'étanchéité, la ventilation et la QAI, en fonction du niveau de performance énergétique attendu.
- Accompagner les politiques publiques pour définir des critères d'éco-conditionnalité sur l'étanchéité à l'air des rénovations, la ventilation et la QAI, sur la base de ce retour d'expérience terrain.

Dans ce rapport, nous présentons la méthodologie et les résultats liés aux trois phases de notre travail (c'est-à-dire comparer l'évolution de l'étanchéité à l'air, de la ventilation, du confort et de la QAI avant travaux, après travaux et 1 an après travaux). Ces travaux vont nous amener à livrer une analyse globale de l'intérêt d'intégrer des exigences formalisées sur l'étanchéité à l'air, la ventilation, le confort et les indicateurs QAI dans le futur cahier des charges FEDER OP.

4 Méthodologie

L'étude consiste à réaliser une série de mesures sur l'étanchéité à l'air, la ventilation, le confort et la QAI durant les trois phases "avant travaux" (campagne AvT), "après travaux" (campagne ApT) et "un an après travaux" (campagne 1anApT), établi comme suit, pour trois logements sur chaque opération :

- Réalisation de mesures sur site de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des logements étudiés pour en déterminer le niveau de perméabilité à l'air et identifier la localisation des points de fuites de chaque logement.
- Diagnostic du système de ventilation sur chaque logement
- Installation de capteurs de mesures permettant de caractériser le confort et la QAI dans chaque logement de l'opération.

4.1.2 Typologies constructives des bâtiments (existant)

Résidence #01 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus ; Construction 1958 ; Menuiseries PVC DV ; Chaudière gaz ind + radiateurs ; VMC SF auto-réglable.

Résidence #02 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus ; Construction 1989 ; Menuiseries PVC DV ; Convecteur elec + Ballon ECS elec ; VMC SF auto-réglable.

Résidence #03 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus ; Construction 1984 ; Menuiseries bois SV; Convecteur elec + Ballon ECS elec ; VMC SF auto-réglable.

Résidence #04 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse ; Construction 1984 ; Menuiseries bois SV; Convecteur elec + Ballon ECS elec ; VMC SF auto-réglable.

Résidence #05 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse ; Construction 1967 ; Menuiseries PVC DV ; Chaudière gaz ind + radiateurs ; Ventilation Naturelle sur conduits shunt.

Résidence #06 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse ; Construction 1984 ; Menuiseries bois DV; Convecteur elec + Ballon ECS elec ; VMC SF auto-réglable.

Résidence #07 :

Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus et toitures terrasses ; Construction 1969 ; Menuiseries PVC DV ; Chaudière gaz collective ou ind + radiateurs ; VMC SF auto-réglable.

4.1.3 Travaux envisagés (enveloppe et équipements)

4.1.3.1 Résidence #01

- ITE sur façade par 16 cm PSE ($R = 5,15 \text{ m}^2.K/W$)
- Isolation des combles perdus par 33,5 cm de LDR soufflée ($R = 7,5 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement par porte bois à âme isolante ($U_d = 1,30 \text{ W/m}^2.K$)
- Remplacement des menuiseries extérieures par menuiseries PVC double vitrage avec fermetures ($U_w \leq 1,30 \text{ W/m}^2.K$)
- Remplacement de la VMC
- Remplacement des chaudières gaz existantes par des chaudières à condensation plus performants
- Installation de thermostats d'ambiance programmables
- Ajout structure métallique extérieure sur poteaux donnant sur façade permettant création d'une Loggia et d'une Cuisine.

4.1.3.2 Résidence #02

- Remplacement de l'isolation thermique des combles par laine de bois soufflée ($R = 10,00 \text{ m}^2.K/W$)
- Reprise de l'isolation des toitures-terrasses par des panneaux en mousse rigide de polyuréthane ($R = 4,5 \text{ m}^2.K/W$)
- Reprise de l'isolation des planchers bas sur extérieur par des panneaux en laine de bois isolant ($R = 3,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Reprise de l'isolation des planchers bas sur garages par flochage avec durcisseur ($R = 3,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries extérieures par des menuiseries en PVC double vitrage argon avec $U_w \leq 1,3 \text{ W/m}^2.K$ et $S_w \geq 0,3$ et remplacement des persiennes par des VR PVC intérieurs
- Remplacement des portes palières et des portes sur séchoirs $U_d = 1,50 \text{ W/m}^2.K$
- Remplacement des émetteurs par des panneaux rayonnants intelligents à fluide caloporteur
- Mise en place d'un programmateur dans chaque logement

- Remplacement des chauffe-eaux électriques par des chauffe-eaux thermodynamique sur air extérieur type Calypso sauf pour les T2 des entrées 4, 5, 6, 7, 12 et 13 qui gardent les chauffe-eaux électriques classiques
- Les T2 des entrées 2 (droite et gauche) seront équipées de chauffe-eaux thermodynamiques sinon l'étiquette C ne pouvait pas être atteinte pour ce bâtiment.
- Mise en place d'une ventilation mécanique hygroréglable de type A

4.1.3.3 Résidence #03

- Pose d'un isolant en façade de 10 cm ($R=3,2 \text{ m}^2.K/W$)
- Pose d'un isolant de 12,5 cm en plafond des halls et plancher extérieur ($R=3,5 \text{ m}^2.K/W$)
- Pose d'un isolant (flocage) en vide sanitaire de 13 cm ($R=2,7 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries extérieures ($U_w = 1,30 \text{ W/m}^2.K$)
- Remplacement des radiateurs
- Remplacement des ballons ECS
- Mise en place d'une VMC collective hygroréglable B
- Fermeture des cages d'escalier sur l'extérieur pour créer un espace tampon

4.1.3.4 Résidence #04

- Pose d'un isolant en façade de 14 cm ($R=4,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Pose d'un isolant en terrasse de 20 cm ($R=9,09 \text{ m}^2.K/W$)
- Pose d'un isolant de 12.5 cm en plafond des halls et locaux poubelles ($R=3,5 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries extérieures ($U_w = 1,20 \text{ W/m}^2.K$)
- Remplacement des portes palières ($U_d=1,8 \text{ W/m}^2.K$)
- Mise en place d'une VMC collective hygroréglable B,
- Remplacement des radiateurs électriques
- Remplacement des ballons ECS

4.1.3.5 Résidence #05

- Isolation extérieure ($R=3,7 \text{ m}^2.K/W$)
- Isolation des planchers bas sur extérieur ($R=3,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Réfection de l'isolation en toiture terrasse ($R=4,35 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries avec volet roulants ($U_w = 1,30 \text{ W/m}^2.K$, $U_{coffre} = 2,0 \text{ W/m}^2.K$)
- Remplacement des portes palières ($R=2,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des chaudières par un modèle à condensation
- Remplacement des robinets thermostatiques de variation temporelle 0,2 K
- Mise en place d'une ventilation mécanique hygroréglable de type A

4.1.3.6 Résidence #06

- Remplacement de l'isolation en toiture terrasse par 14 cm d'isolant ($R=4,50 \text{ m}^2.K/W$)
- Isolation des vide-sanitaires par 10 cm d'isolant ($R=3,0 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries extérieures ($U_w = 1,30 \text{ W/m}^2.K$)
- Ajout de volets roulants ($U_c=1,2 \text{ W/m}^2.K$)
- Mise en place d'une VMC hygroréglable A,
- Remplacement des convecteurs électriques par panneaux rayonnants à inertie thermique
- Remplacement des ballons ECS

4.1.3.7 Résidence #07

- Remplacement de l'isolation thermique des combles ($R = 12,50 \text{ m}^2.K/W$)
- Reprise de l'isolation des planchers bas sur volume non chauffé par installation de panneaux Fibraroc ($R = 1,5 \text{ m}^2.K/W$)
- Mise en œuvre d'une isolation thermique par l'extérieur ($R = 3,85 \text{ m}^2.K/W$)
- Remplacement des menuiseries extérieures des logements sur les bâtiments E et M
- Remplacement des portes d'accès à tous les bâtiments
- Dépose des chaudières individuelles et mise en place d'une chaufferie collective par géothermie
- Remplacement des radiateurs

- Mise en place de robinet thermostatique et horloge avec contrôle d'ambiance dans chaque logement
- Remplacement et installation de chauffe-bains gaz
- Mise en place d'une ventilation mécanique simple flux hygroréglable

4.1.4 Economies d'énergie et réductions de GES attendues

Résidence #01		Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation	
		1958	2 187	3	45	Gaz	
	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment 1	729	168,09 D	74,07 B	94,02	25,52 D	10,21 C	15,31
Bâtiment 2	729	167,06 D	73,35 B	93,71	25,52 D	10,21 C	15,31
Bâtiment 3	729	168,09 D	74,07 B	94,02	25,52 D	10,21 C	15,31

Résidence #02		Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation	
		1989	6 993	11	90	Elec	
	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment 1	226	288,0 E	136,1 C	143,9	3,164 C	1,582 B	1,582
Bâtiment 2G	226	289,0 E	137,2 C	151,8	3,39 C	1,582 B	1,808
Bâtiment 2D	226	291,6 E	139,0 C	152,6	3,39 C	1,582 B	1,808
Bâtiment 3	199	309,4 E	135,0 C	174,4	3,383 C	1,393 B	1,990
Bâtiment 4	687	245,5 E	124,7 C	120,8	8,244 C	3,435 A	4,809
Bâtiment 5	661	248,3 E	135,7 C	112,6	7,932 C	3,966 B	3,966

Bâtiment 4/6/7	1274	252,9 E	135,5 C	117,4	15,288 C	7,644 B	7,644
Bâtiment 8	487	272,1 E	128,4 C	143,7	6,818 C	3,409 B	3,409
Bâtiment 9/10	1136	231,2 E	110,7 C	120,5	12,496 C	5,68 A	6,816
Bâtiment 11	792	255,8 E	117,3 C	138,5	10,296 C	4,752 B	5,544
Bâtiment 12/13	1079	248,5 E	133,8 C	114,7	12,948 C	6,474 B	6,474

Résidence #03	Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation
	1984	7 280	9	87	Elec

	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment A B C	2269	290,29 E	128,78 C	161,51	34,04 C	13,61 B	20,43
Bâtiment D E	1692	284,74 E	126,77 C	157,97	25,38 C	8,46 A	16,92
Bâtiment F G	1750	297,01 E	126,51 C	170,5	28,00 C	8,75 A	19,25
Bâtiment H	820	319,77 E	127,10 C	192,67	14,76 C	5,74 B	9,02
Bâtiment I	749	334,43 F	132,05 C	202,38	13,48 C	5,24 B	8,24

Résidence #04	Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation
	1984	5 402	3	61	Elec

	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment A	2028	279,27 E	110,91 C	168,36	28,39 C	8,11 A	20,28
Bâtiment B	1346	298,08 E	121,83 C	176,25	21,54 C	6,73 A	14,81
Bâtiment C	2028	279,27 E	110,91 C	168,36	28,39 C	8,11 A	20,28

Résidence #05	Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation
	1967	6 732	3	88	Gaz

	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment A	1973	241,6 E	99,5 C	142,1	106,54 E	31,57 C	74,97
Bâtiment B	2746	221,9 D	79,1 B	142,8	137,3 E	38,44 C	98,86
Bâtiment C	2013	216,6 D	90,2 C	126,4	98,64 E	30,2 C	68,44

Résidence #06	Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation
	1984 à 1989	8 132	5	100	Elec

	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment A	914	223,1 D	115,5 C	107,6	10,05 C	3,66 A	6,39
Bâtiment B&C	3312	215,3 D	113,0 C	102,3	33,12 B	13,25 A	19,87

Bâtiment D	1484	223,5 D	117,8 C	105,7	16,32 C	5,94 A	10,38
Bâtiment E	2422	232,6 E	128,6 C	104,0	29,06 C	12,11 A	16,95

Résidence #07	Année de construction	SHON (m ²)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Energie chauffage projet rénovation
	1966 à 1969	23 295	13	320	Gaz

	SHON	Cep initiale	Cep projet	Gain	GES Existant	GES Rénovation	Gain GES
	m ²	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an étiquette	kWh _{ep} /m ² /an	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an étiquette	teqCO ₂ /an
Bâtiment A	1150,8	216,47 D	71,58 B	144,89	52,94 E	10,36 B	42,58
Bâtiment B	1780,8	202,81 D	73,05 B	129,76	76,57 E	16,03 B	60,54
Bâtiment C	1732,5	210,17 D	77,05 B	133,12	77,96 E	15,59 B	62,37
Bâtiment D	1738,8	230,73 E	71,98 B	158,75	86,94 E	15,65 B	71,29
Bâtiment E	2457	232,15 E	74,14 B	158,01	122,85 E	22,11 B	100,74
Bâtiment F	1226,4	237,87 E	76,74 B	161,13	62,55 E	11,04 B	51,51
Bâtiment G	919,8	246,39 E	83,35 B	163,04	48,75 E	9,2 B	39,55
Bâtiment H	1688,4	237,77 E	75,98 B	161,79	86,11 E	15,2 B	70,91
Bâtiment I	1780,8	204,05 D	73,36 B	130,69	76,57 E	16,03 B	60,54
Bâtiment M	2830,8	199,24 D	73,00 B	126,24	118,89 E	25,48 B	93,41
Bâtiment N	1268,4	213,42 D	77,29 B	136,13	58,35 E	11,42 B	46,93
Bâtiment O	2310	205,79 D	70,61 B	135,18	101,64 E	18,48 B	83,16
Bâtiment X	2410,8	209,92 D	71,70 B	138,22	108,49 E	19,29 B	89,2

4.1.5 Synthèse des opérations

L'échantillon retenu pour notre étude est constitué de 7 opérations de logements sociaux, postulant au financement du PO FEDER, situées en région Nouvelle-Aquitaine. Cet échantillon représente environ 10% du nombre total d'opérations de réhabilitation que le Cerema a contrôlées pour l'OP FEDER jusqu'à présent.

Les typologies constructives de ces opérations sont les suivantes :

- Type constructif :
 - (3/7) Construction structure béton sur dalle béton avec combles perdus
 - (4/7) Construction structure béton sur dalle béton avec toit plat
- Date de construction :
 - (3/7) Avant 1974 (date de la première réglementation thermique en France)
 - (4/7) Après 1974
- Menuiseries :
 - (3/7) PVC avec double vitrage
 - (4/7) Bois avec simple vitrage
- Système de chauffage :
 - (3/7) Chaudière à gaz et radiateurs
 - (4/7) Convecteurs électriques et ballon d'eau chaude sanitaire électrique
- Ventilation :
 - (6/7) Ventilation mécanique simple flux
 - (1/7) Ventilation naturelle sur conduits shunts
- Gains énergétiques attendus après rénovations écoénergétiques :
 - En moyenne, un gain de 2 lettres sur l'étiquette énergétique
 - Un gain moyen de consommation d'énergie primaire de 136 kWh/m² soit 56%

L'ensemble des travaux de réhabilitation comprend des travaux lourds sur l'isolation thermique de l'enveloppe, le remplacement des menuiseries, des systèmes de chauffage et de ventilation.

Pour les 7 opérations, le coût total des travaux de rénovation énergétique éligibles est situé entre 0,7 M€ et 6,5 M€ (valeur moyenne de 2,2 M€). Le coût total des travaux par logement pour chacune des 7 opérations est compris entre 8,2 k€/logement et 32,4 k€/logement (valeur moyenne de 19,5 k€/logement).

num d'op.	lieu	type constructif	année de construction	menuiseries	chauffage	ventilation	(num d'op.) et consommation d'énergie initiale	gain énergétique moyen	gain sur étiquette énergétique
#01	Pessac, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus	1958	PVC DV	Chaudière gaz ind + radiateurs	VMC SF auto-réglable	(3) 168 kWh/m ²	56%	D → B
#02	SMJ, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus	1989	PVC DV	Convecteur elec + Ballon ECS elec	VMC SF auto-réglable	(11) entre 231 et 309 kWh/m ²	51%	E → C
#03	Talence, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus	1984	bois SV	Convecteur elec + Ballon ECS elec	VMC SF auto-réglable	(5) entre 284 et 334 kWh/m ²	entre 55% et 60%	E, F → C
#04	Mérignac, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse	1984	bois SV	Convecteur elec + Ballon ECS elec	VMC SF auto-réglable	(3) entre 280 et 298 kWh/m ²	60%	E → C
#05	Villeneuve d'Ormon, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse	1967	PVC DV	Chaudière gaz ind + radiateurs ;	Ventilation Naturelle sur conduits shunt	(3) entre 217 et 242 kWh/m ²	de 59% à 64%	E → C D → B
#06	Le Bouscat, 33	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec toiture terrasse	1984	bois DV	Convecteur elec + Ballon ECS elec	VMC SF auto-réglable	(4) entre 215 et 232 kWh/m ²	de 44% à 48%	D, E → C
#07	Marmande, 47	Bâtiment structure béton sur dalle béton avec combles perdus et toitures terrasses	1969	PVC DV	Chaudière gaz collective ou ind + radiateurs	VMC SF auto-réglable	(13) entre 199 et 246 kWh/m ²	de 63% à 68%	D, E → B

Figure 1 : Typologies constructives de l'échantillon

4.2 Mesures d'étanchéité à l'air

4.2.1 Norme de mesures et guide d'application

L'essai de perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un logement est réalisé, selon la norme NF EN ISO 9972 et son guide d'application FD P50-784, en utilisant un dispositif de mesures nommé « porte soufflante ».

Un assemblage de type porte soufflante est un dispositif utilisé pour mesurer la perméabilité de l'enveloppe. L'assemblage comprend un cadre de porte ou de fenêtre réglable de manière à s'adapter aux ouvertures de portes ou de fenêtres courantes, raccordé à un ventilateur. Il convient que le ventilateur possède un moteur à vitesse variable pour s'adapter à la plage des débits d'air requis.

Ce dispositif de mesure est mis en place en remplacement d'une porte d'accès communiquant vers l'extérieur du volume chauffé, en l'occurrence la porte soufflante est installée au niveau de la porte d'entrée du logement.

Le banc de mesure est disposé de façon à assurer l'étanchéité au niveau de cet ouvrant. Notons que, la porte qui sert de raccordement au dispositif de mesure n'est pas testée lors de l'essai.

L'essai se déroule en trois temps sur 3 logements par opération rénovée :

- 1) Dans un premier temps, le logement est conditionné selon la méthode choisie.

La partie de bâtiment mesurée inclut toutes les pièces volontairement conditionnées, c'est-à-dire l'ensemble des pièces destinées à être directement ou indirectement chauffées, rafraîchies et/ou ventilées.

- Systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air et autres équipements des bâtiments
Tous les dispositifs qui prélèvent de l'air de l'extérieur ou rejettent de l'air à l'extérieur doivent être désactivés : système de chauffage avec prise d'air intérieur, systèmes de ventilation mécanique et de conditionnement d'air, hottes de cuisine, sèche-linge, etc. Les siphons des installations sanitaires doivent être remplis d'eau ou colmatés.
Prendre les mesures nécessaires pour éviter les dangers liés aux émanations provenant des systèmes de chauffage. Prendre en compte les installations de chauffage des appartements adjacents.
- Ouvertures intentionnelles dans l'enveloppe
Les ouvertures intentionnelles dans l'enveloppe doivent être fermées ou colmatées.
Les ouvertures de l'enveloppe non destinées à la ventilation doivent être laissées en l'état.
- Ouvertures à l'intérieur de la zone mesurée
Tout le logement doit être configuré de manière à réagir à la dépressurisation comme une zone unique.
Toutes les ouvertures d'interconnexion (porte, trappe, etc.) doivent être ouvertes.
- Equipements de mise en dépressurisation (ventilateur)
Relier l'équipement de mesure à l'enveloppe du logement par une fenêtre ou une porte. S'assurer que les jointures entre l'équipement et le bâtiment sont colmatées afin d'éliminer toute fuite possible.
- Dispositif de mesure de pression
La différence de pression intérieure/extérieure est habituellement mesurée au niveau du plancher le plus bas de l'enveloppe du logement considéré.
S'assurer que les prises de pressions intérieure et extérieure ne sont pas influencées par l'équipement de ventilation. Il convient de protéger la prise de pression extérieure des effets de la pression dynamique. En particulier, quand il y a du vent, il est de bonne pratique de placer la prise de pression extérieure à une certaine distance du bâtiment, mais pas à proximité d'autres obstacles.

- 2) Dans un deuxième temps, le logement est soumis à une différence de pression constante (cible : 70 Pa) entre l'intérieur et l'extérieur. Ce deuxième temps permet de recenser les points d'infiltration d'air parasites par détection de « courants d'air », manuellement (poire à fumée). Il permet l'évaluation qualitative du logement.

En contrôle préliminaire, il est nécessaire de toujours vérifier l'intégralité de l'enveloppe du logement à une différence de pression voisine de la différence de pression maximale utilisée lors de l'essai, pour les fuites importantes et les défaillances des colmatages temporaires des ouvertures. Si de telles fuites sont détectées, prendre des notes détaillées.

Tout colmatage provisoire manquant ou défectueux, par exemple sur des composants de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air, doit être réparé à ce stade.

De la fumée est produite afin de visualiser le flux d'air à travers l'enveloppe, les dispositifs etc., et pour détecter l'emplacement de la fuite. Cette méthode pourrait requérir de l'habileté, par exemple pour contrôler le débit de production de la fumée.

Également, il peut être possible de sentir avec les doigts le flux d'air autour des dispositifs etc. sur l'enveloppe, mais cette méthode n'est pas uniforme en raison des variations individuelles.

3) Le troisième temps permet de quantifier la perméabilité à l'aide d'indicateurs en mesurant les débits de fuite d'air par paliers de pression

- Température et vent

Pour corriger la mesure de débit d'air en fonction de la masse volumique de l'air, relever la température à l'intérieur et à l'extérieur du logement avant, pendant ou après l'essai.

Enregistrer la vitesse ou la force du vent. Il est suffisant de déterminer la force du vent en utilisant l'échelle de Beaufort. Dans ce cas, la mesure de perméabilité est conforme pour des valeurs comprises entre 0 et 3 inclus.

- Différence de pression à débit nul

Court-circuiter le dispositif de mesure de la pression et contrôler ou ajuster la valeur relevée de zéro, au début de l'essai.

Couvrir provisoirement l'ouverture de l'équipement de ventilation et raccorder le dispositif de mesure de la pression pour mesurer la différence de pression intérieur/extérieure. Enregistrer les valeurs de la différence de pression à débit nul sur une période d'au moins 30s (10 valeurs au minimum) et calculer :

- La moyenne des valeurs positives de différence de pression à débit nul,
- La moyenne des valeurs négatives de différence de pression à débit nul,
- La moyenne de toutes les valeurs de différence de pression à débit nul,

Répéter ce processus à la fin de l'essai. Il est recommandé d'attendre une purge complète du bâtiment au regard des pressions induites par l'essai pour obtenir les valeurs à débit nul représentatives après essai.

Si la valeur absolue des résultats obtenus est supérieure à 5 Pa, l'essai doit être déclaré non valide. Si un rapport d'essai est produit pour un tel essai, cet échec à satisfaire aux conditions de l'essai doit être indiqué dans le rapport d'essai.

- Séquence de différence de pression

Mettre en marche l'équipement de dépressurisation (ventilateur).

L'essai est réalisé en mesurant le débit d'air et la différence de pression intérieure/extérieure sur une plage de différence de pression appliquées par paliers ne dépassant pas 10 Pa environ. Les paliers de pression mesurée doivent être strictement croissants ou strictement décroissants. Pour chaque essai, au moins 5 points de relevés à peu près équidistants entre la différence de pression minimale et maximale doivent être définis.

La différence de pression la plus faible doit être approximativement de 10 Pa ou 5 fois la valeur de la différence de pression à débit nul, en retenant la plus grande de ces 2 valeurs.

La différence de pression la plus élevée doit être au moins de 50 Pa, mais il est recommandé de relever les valeurs mesurées à des différences de pression pouvant aller jusqu'à 100 Pa pour une meilleure exactitude des résultats calculés.

L'acquisition de chaque palier de pression différentielle s'effectue avec un nombre de 10 points minimum.

Chaque mesure sur chaque logement fera l'objet d'un rapport d'infiltrométrie présentant le résultat de perméabilité obtenu ainsi que les fuites identifiées. Ce rapport sera établi à partir des données mesurées et calculées par le logiciel d'infiltrométrie INFILTREA.

4.2.2 Présentation du matériel de mesure

Blower Door Minneapolis®



Le système de mesure Minneapolis BlowerDoor possède une plage de mesure de 19 à 7.200 m³/h.

Le système de mesure BlowerDoor peut être utilisé de manière universelle pour mesurer l'étanchéité à l'air dans les nouveaux bâtiments et lors de la rénovation de bâtiments existants. Il peut être utilisé dans tous les types et toutes les tailles de bâtiments.

La mesure BlowerDoor s'effectue à l'aide de l'appareil de mesure de pression DG-700 et d'un logiciel de pilotage de l'appareil.

Manomètre DG 700 – Energy Conservatory®

Instrument de mesure du différentiel de pression et du débit d'air



Plage de mesure : - 1.250 Pa à + 1.250 Pa

Définition : 0,1 Pa

Précision : ± 1% de la valeur affichée ou 0,15 Pa (valeur supérieure prise en compte)

Initialisation automatique : toutes les 10 secondes

Affichage différentiel de pression : affichage distinct des 2 canaux de différentiel de pression

Affichage débit volumique : compatible avec les modèles 4 et 3 des ventilateurs Minneapolis

Unités : m³/h, l/s

Prise de moyenne : 1 seconde, 5 secondes, 10 secondes ou moyenne à long terme

Fonctions particulières : Contrôle automatique de la vitesse de ventilateur BlowerDoor.

Logiciel Infiltréa®



Le logiciel Infiltréa permet d'évaluer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments selon la norme NF EN ISO 9972 et son guide d'application FD P50-784.

Infiltréa est compatible avec des équipements de marque Minneapolis BlowerDoor, Infiltec et Retrotec avec lesquels il permet de piloter les essais directement depuis le logiciel.

Le logiciel peut être installé sur plusieurs postes de travail et les fonctionnalités du DooApp cloud permettent de synchroniser les données entre ces postes. Pour bénéficier des fonctionnalités du logiciel, il faut disposer d'un abonnement valide.

4.2.3 Classification des fuites

Les typologies utilisées pour classer les fuites sont :

A : Infiltrations en partie courante

- A1 : Autre infiltration en partie courante
- A2 : Membrane pare-vapeur (ou tout complexe similaire) : jonction adhésive entre lés, percement ou déchirement
- A3 : Liaisons mortier/colle entre blocs élémentaires de maçonnerie, entre panneaux de doublages
- A4 : Percement (cheville, autre) ou liaison entre panneaux de doublages non rebouchés en partie courante
- A5 : Dalles faux plafond : dalles sur ossatures non étanches

B : Liaisons périphériques

- B1 : Autre liaison
- B2 : Liaison entre deux parois verticales
- B3 : Liaison pied de mur / plancher (plinthes, pied de cloison ou de mur...)
- B4 : Liaison mur / plancher haut ou toiture inclinée (cueillie de plafond)
- B5 : Membrane pare-vapeur (ou tout complexe similaire) : fixation défectueuse avec lisse basse, plancher intermédiaire et plancher haut

C : Menuiseries

- C1 : Autre défaut de menuiserie
- C2 : Fenêtre et porte-fenêtre : jonction cadres ouvrant/dormant (absence ou défaut de compression des joints)
- C3 : Fenêtre et porte fenêtré : jonction vitrage / montant de menuiserie (joint défectueux)
- C4 : Porte palière ou porte coupe-feu : mauvaise compression des joints de portes (hors barre de seuil)
- C5 : Porte palière ou porte coupe-feu : barre de seuil absente ou inefficace (sur extérieur ou LNC, y compris porte-fenêtré)
- C6 : Baie coulissante : jeu excessif entre parties vitrées d'un châssis coulissant, et/ou en partie haute et basse de châssis
- C7 : Baie coulissante : évacuation des condensats
- C8 : Coffre de volet roulant : joues latérales, fixation sur cadre, ...

D : Éléments traversant les parois / les sols

- D1 : Autre élément traversant une paroi
- D2 : Membrane pare-vapeur (ou tout complexe similaire) : traversée par gaine, tuyauterie, poutre, trappes
- D3 : Traversée de plancher et de murs et/ou cloisons (tout type de plomberie, conduits et gaines électriques...)
- D4 : Bouches VMC : fuite au pourtour de bouches d'extraction/soufflage
- D5 : Poutres : liaison poutres ou solive avec murs
- D6 : Poutres : liaison poutres ou solive avec plafond ou plancher
- D7 : Escalier : jonction plancher/escalier ou paroi verticale/escalier

E : Trappes d'accès et de visite

- E1 : Autre trappe d'accès
- E2 : Trappe d'accès aux combles (joint absent ou inefficace)
- E3 : Trappe de gaine technique verticale (joint absent ou inefficace)

F : Appareillage électrique

- F1 : Autres équipements
- F2 : Tableau électrique
- F3 : Réseaux encastrés sur paroi extérieure ou LNC : BT courant faible, téléphone, fibre optique, interrupteurs
- F4 : Réseaux encastrés sur cloison intérieure : BT courant faible, téléphone, fibre optique, interrupteurs
- F5 : Luminaires : encastrés en plafond, en applique plafond et murale

G : Liaisons parois/ouvrants

- G1 : Autre liaisons parois/ouvrants
- G2 : Fenêtre et porte-fenêtre y-c coffre VR : liaison menuiserie avec maçonnerie (appui / tableau / linteau)
- G3 : Porte palière ou coupe-feu : liaison encadrement avec maçonnerie (appui / tableau / linteau)
- G4 : Fenêtre et porte-fenêtre y-c coffre VR: liaison menuiserie dormant / doublage
- G5 : Porte palière ou coupe-feu : liaison encadrement de porte / doublage
- G6 : Membrane pare-vapeur (ou tout complexe similaire) : Fixation défectueuse sur la menuiserie

H : Autre

- H1 : Autres
- H2 : Poêle, insert ou chaudière étanche ou non étanche, ou arrivée d'air comburant
- H3 : Hotte aspirante avec évacuation extérieure
- H4 : Trappe/châssis de désenfumage

H5 : Lanterneau d'éclairage zénithal

H6 : Porte d'ascenseur (encadrement - jonction porte, ...)

H7 : Arrivée d'air ou extraction non prévue dans l'étude thermique

4.3 Mesures et inspection des systèmes de ventilation

4.3.1 Présentation du protocole PROMEVENT

Les mesures se déroulent en trois temps sur 3 logements par opération rénovée :

- 1- Réalisation d'un diagnostic visuel du système de ventilation en place, avant et après rénovation.
Les vérifications fonctionnelles listées ci-après, issues du protocole PROMEVENT, seront effectuées et les anomalies constatées seront recensées dans un rapport relatif au diagnostic des systèmes de ventilation. Ce rapport présentera les équipements constitutifs du système de ventilation en place.
- 2- Enquête auprès des usagers sur l'utilisation du système de ventilation.
- 3- Mesures du système de ventilation, selon le protocole de contrôle PROMEVENT, sur les règles de construction, rubrique Ventilation, avant et après rénovation.
Les mesures fonctionnelles répondront aux objectifs cités ci-dessous et les résultats seront présentés dans le rapport relatif au diagnostic des systèmes de ventilation.

Vérifications du système de ventilation avant et après travaux	Fiche
S'assurer de la présence de l'alarme de détection de l'arrêt du caisson et de son fonctionnement. Identifier sa nature et sa localisation.	2.1
S'assurer d'un accès aisé et sécurisé au caisson de ventilation.	2.3
S'assurer de la mise en œuvre de matériaux de désolidarisation anti-vibratiles entre les caissons de ventilation et leurs éléments support.	2.5
S'assurer que le ventilateur installé est cohérent avec le dossier technique du lot ventilation (descriptif et/ou étude VMC).	2.6
S'assurer, d'une part, du fonctionnement des ventilateurs dans le respect du fonctionnement permanent des systèmes de ventilation, et d'autre part, qu'un circuit électrique unique protégé est dédié à l'alimentation de chaque caisson de ventilation.	2.7
S'assurer du fonctionnement correct du ventilateur.	2.8
S'assurer d'un fonctionnement correct des dispositifs de régulation ou de sécurité.	2.10
S'assurer que les ventilateurs sont raccordés aux réseaux de ventilation par une manchette souple et de façon étanche.	2.16
S'assurer que le réseau ne présente pas de perte de charge sensible due en partie à des singularités à proximité du caisson de ventilation susceptibles de créer un effet système.	2.17
S'assurer que l'air extrait est bien rejeté à l'extérieur, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un conduit de rejet, sans refoulement d'air vicié vers les locaux.	2.18
S'assurer que les rejets d'air extrait ne constituent pas une gêne pour les occupants et le voisinage.	2.19
S'assurer de l'accès possible au réseau et à ses composants, notamment à partir de trappes d'accès ou de visite et de panneaux d'accès correctement sélectionnés et positionnés.	2.23
S'assurer des domaines et limites d'emploi des conduits souples.	2.25
S'assurer d'une part de la tenue mécanique des réseaux supportés ou suspendus, et d'autre part de leur montage (assemblage) correct.	2.29
S'assurer que l'air peut circuler librement des pièces principales vers les pièces de service.	2.30

S'assurer qu'il n'y a pas d'éléments motorisés (hottes, sèche-linge) raccordés au réseau de ventilation.	2.31
S'assurer que les pièces du logement disposent chacune des bons composants de ventilation.	2.32
S'assurer que les bouches mises en place respectent les exigences de conception.	2.33
S'assurer d'une part de l'accessibilité possible des bouches et de leur bon état, ainsi que de leur position.	2.34
S'assurer d'un raccordement étanche et démontable des bouches sur le conduit.	2.35
S'assurer que le système de ventilation est fonctionnel.	2.36
S'assurer de la possibilité de manœuvre et de la fonctionnalité des commandes de passage en débit de pointe des bouches d'extraction qui en sont équipées.	2.37
S'assurer que les entrées d'air mises en place sont conformes aux exigences de conception.	2.38
S'assurer de l'accessibilité possible des entrées d'air et de leur bon état.	2.39
S'assurer du fonctionnement correct du système de ventilation.	2.40

Mesures du système de ventilation avant et après travaux	Fiche
S'assurer que les débits extraits aux bouches correspondent à ceux prévus au dossier technique.	3.1
S'assurer que toutes les bouches ont été vérifiées dans les conditions requises, pour les systèmes de ventilation non modulants.	3.2
Faire une mesure de débit à la bouche correcte avec une incertitude minimale.	3.3
S'assurer que la pression derrière chaque bouche correspond à la plage de pression de fonctionnement normal de la bouche à modulation de débit indiqué par le constructeur.	3.4

4.3.2 Présentation du matériel de mesure

Thermo - Anémomètre à fil chaud KIMO® VT100 + cône KIMO® K35



Mesure de vitesse et débit d'air au fil chaud.

Permet de mesurer le débit aux bouches d'extraction autoréglables.

Micro-manomètre KIMO MP110



Micromanomètre portable avec capteur de pression intégré.

Gamme de mesure : 0 à ± 1000 Pa.

Précision : 0.5% de la lecture ± 2 Pa.

Résolution : 1 Pa.

Permet de mesurer la pression aux bouches d'extraction hygro-variables.

4.4 Mesures de Qualité de l'Air Intérieur

4.4.1 Présentation des valeurs de référence et de la représentation statistique des données

La qualité de l'air intérieur n'étant pas règlementée dans les logements, les résultats QAI seront comparés aux valeurs règlementaires pour les établissements recevant du public (ERP) : les valeurs limites (niveau à ne pas dépasser) et les valeurs guides (niveau à atteindre, dans la mesure du possible). Également, ils seront mis en perspective par rapport aux valeurs guides pour l'air intérieur (VGAI) de l'ANSES, aux recommandations du HCSP (pour le dioxyde de carbone) et aux résultats de la campagne nationale logement n°1 (CNL1) menée par l'OQAI entre 2003 et 2005, seule référence disponible dans la qualité de l'air intérieur des logements français.

Les résultats QAI sont présentés de manière statistique sous forme de boîte à moustache (ou « boxplot ») (cf. figure 2). Cette représentation permet de visualiser la distribution des valeurs des échantillons. La médiane est la valeur qui partage l'échantillon en deux : 50 % des concentrations sont inférieures à cette valeur et 50 % sont supérieures. Le 1er quartile indique qu'un quart, soit 25%, des concentrations mesurées sont inférieures à cette valeur. Trois quarts, soit 75%, des concentrations mesurées sont donc supérieures à cette même valeur. Le 3ème quartile indique que trois quarts, soit 75%, des concentrations mesurées sont inférieures à cette valeur et donc qu'un quart, soit 25%, sont supérieures à celle-ci.

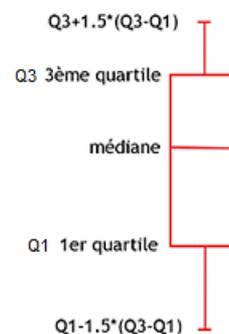


Figure 2 :
Représentation statistique en boîte à moustache/boxplot

4.4.2 Présentation des normes de mesures pour chaque polluant

L'évaluation de la Qualité d'Air Intérieur est réalisée par Atmo Nouvelle-Aquitaine selon plusieurs méthodes.

Les Composés Organiques Volatils (COV) mesurés sont le formaldéhyde, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Ils ont été prélevés à l'aide d'échantillonneurs passifs qui ont ensuite été analysés en laboratoire selon la norme NF ISO 16 000-4 (AFNOR, 2012) pour le formaldéhyde et la norme NF ISO 16 017-2 (AFNOR, 2003) pour les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes).

Afin d'assurer le contrôle qualité des mesures, un blanc terrain par opération et un réplicat par logement ont été mis en place, pour le formaldéhyde et les BTEX.

Le dioxyde de carbone a été mesuré en continu à l'aide d'une sonde à rayonnement infrarouge (NDIR) selon le Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs (CSTB).

Dans chaque logement, 3 pièces ont été instrumentées : le séjour et 2 chambres, ou le séjour, la chambre et la cuisine pour les T2. Chacune des 3 pièces a été équipée d'échantillonneurs passifs mesurant les COV. Les capteurs CO2 ont été installés dans 2 pièces uniquement (le séjour et une chambre). L'instrumentation QAI a duré 7 jours.

4.4.3 Présentation du matériel de mesure

Echantillonneurs passifs Radiello code 165 (pour le formaldéhyde) et code 145 (pour les BTEX)



L'échantillonnage du gaz polluant s'effectue par diffusion à travers une membrane poreuse (cylindre diffusif) jusqu'à une surface de piégeage (cartouche d'adsorbant). Cet échantillonnage n'implique aucun mouvement actif de l'air. Quand l'échantillonneur passif (tube à diffusion) est exposé, un gradient de concentration s'établit entre l'air à l'extérieur du tube et l'air en contact avec la surface de l'adsorbant. Ce différentiel de concentration va entraîner une diffusion des composés polluants à travers la membrane poreuse, de la zone la plus concentrée en polluants (air intérieur) vers la surface de l'adsorbant (cartouche) où ils sont captés et accumulés.

Après exposition, la cartouche est envoyée en laboratoire pour analyse.

Capteur de dioxyde de carbone Delta OHM HD21ABE



Gamme de mesure : 0 à 5000 ppm.
Précision : ± 50 ppm $\pm 3\%$ de la mesure
Résolution : 1 ppm
Pas de temps pour la mesure : 5 minutes

Le capteur permet de mesurer en continu la concentration de dioxyde de carbone dans la pièce

4.5 Mesures du confort

La caractérisation du confort est établie d'une part, sur un questionnaire remis aux occupants des logements visant à recueillir leur ressenti concernant l'usage et le confort perçu de leur logement, et d'autre part, sur des mesures via le capteur GreenMe® IoT multicapteurs.

Le capteur GreenMe® est initialement développé pour les environnements de bureau, et est destiné à être placé à proximité immédiate de l'utilisateur. Il mesure en continu les huit paramètres :

- Température (°C)
- Humidité Relative (% HR)
- Qualité de l'air (COV et CO2)
- Eclairage (Lux)
- Scintillement (%)
- Couleur de l'éclairage (K)
- Niveau sonore moyen (dBA)
- Niveau de bruit maximum (dBA)

4.5.1 Présentation des stations GREENME et des capteurs associés

L'utilisation de l'objet connecté GreenMe® permet de caractériser l'environnement intérieur par la mesure physique des paramètres ambiants et par le vote des occupants, exprimant leurs propres ressentis de conditions confortables ou inconfortables. Les capteurs GreenMe® intègrent par défaut un capteur sensible aux COV et CO₂. Ils ne donnent pas une mesure absolue d'un polluant atmosphérique mais ils peuvent être un bon indicateur du besoin de renouvellement d'air. Pour nos travaux, trois capteurs GreenMe® sont installés par logement (séjour, cuisine, salle de bain) pour une durée de 15 jours dans chaque logement (avant travaux, à réception des travaux puis un an après achèvement des travaux).

L'installation des cubes dans les logements a été faite en concertation avec les occupants afin de choisir un lieu opportun à la caractérisation de la QAI, mais aussi suffisamment pratique pour avoir accès à une prise secteur permettant d'alimenter le CUBE, et enfin pratique pour les occupants afin que ceux-ci n'aient pas à le déplacer pendant la période de mesure.

Une fonctionnalité de vote de confort est disponible sur les capteurs GreenMe®, afin de permettre à chaque occupant d'indiquer le niveau de confort qu'il ressent. Il a été expliqué aux occupants des logements le fonctionnement du CUBE, notamment les manipulations à effectuer sur celui-ci pour voter sur leurs sensations de confort ou d'inconfort dans leur logement. Une présentation de l'application GreenMe® leur a été également proposée afin de les sensibiliser à la QAI en leur permettant de visualiser les données relevées en direct.

Bien que la « fonctionnalité vote confort » ait été expliquée à chaque occupant, très peu de votes ont été exprimés durant les périodes de mesure. Cela nous conduit à ne pas exploiter ces résultats.

4.5.2 Méthodologie d'enquête auprès des occupants

Un questionnaire a été remis aux occupants des logements afin de recueillir les informations relatives à l'utilisation de leur logement. Ce questionnaire porte sur :

- La composition du foyer
- Les activités exercées dans les différentes pièces du logement
- Les méthodes d'entretien du logement
- Les habitudes d'aération
- L'utilisation éventuelle de chauffage d'appoint
- L'occupation quotidienne des pièces instrumentées
- Les événements particuliers avant et pendant la campagne de mesure
- Le ressenti des occupants concernant le confort thermique de leur logement

4.5.3 Modélisation du confort

Notre analyse de confort porte uniquement sur le confort thermique en analysant les valeurs de température et d'humidité relative de l'air mesurées à l'aide de diagrammes psychrométriques pour chaque logement, par pièce (voir Figure 3).

Le polygone vert sur le diagramme psychrométrique indique la zone de confort.

Il est établi sur la base des plages de confort telles que définies dans la norme EN 16798-1 (NF EN 16798-1 (AFNOR, 2019)) pour la catégorie III (bâtiments existants) en saison de chauffage : une température d'air comprise entre 20 et 25°C et humidité relative entre 20 et 70%.

Ainsi, nous avons évalué le rapport (%) du temps dans la zone de confort sur toute la durée de notre instrumentation.

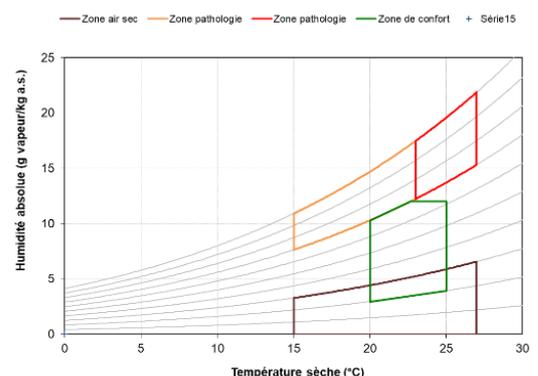


Figure 3 : Représentation graphique du confort issue de la norme NF EN 16798-1. La zone de confort est représentée en vert

4.6 Protocole expérimental : dates des mesures, logements instrumentés

		AVANT Travaux	APRES Travaux	1 An Après Réception
Résidence #01 Pessac (33) <i>Bailleur B</i> Log 195 Log 200 Log 190	Mesures étanchéité	13/01/2021 26/01/2021 (Log190)	12/07/2022	10/01/2023
	Mesures Confort	Du 13/01/2021 Au 26/01/2021	Du 12/07/2022 Au 26/07/2022	Du 10/01/2023 Au 24/01/2023
	Mesures QAI (Atmo)	Du 11/01/2021 Au 18/01/2021	Du 12/07/2022 Au 19/07/2022	Du 10/01/2023 Au 18/01/2023
Résidence #02 St-Médard-en-Jalles (33) <i>Bailleur A</i> Log 6-21 Log 4-21 Log 11-11	Mesures étanchéité	01/03/2021	25/04/2022	16/01/2023 (abandon du log 4-21)
	Mesures Confort	Du 01/03/2021 Au 12/03/2021	Du 25/04/2022 Au 09/05/2022	Du 16/01/2023 Au 30/01/2023 (abandon du log 4-21)
	Mesures QAI (Atmo)	Du 03/03/2021 Au 10/03/2021 (Log 6-21 du 05/03/21 au 12/03/21)	Du 29/04/2022 Au 06/05/2022	Du 18/01/2023 Au 25/01/2023 (abandon du log 4-21)
Résidence #03 Talence (33) <i>Bailleur A</i> Log 602 Log 913 Log 113	Mesures étanchéité	08/03/2021	02/05/2016	25/01/2023
	Mesures Confort	Du 08/03/2021 Au 22/03/2021	Du 02/05/2022 Au 16/05/2022	Du 25/01/2023 Au 08/02/2023 (Log 113 du 01/02/23 au 15/02/23)
	Mesures QAI (Atmo)	Du 10/03/2021 Au 17/03/2021	Du 06/05/2022 Au 13/05/2022	Log 602 du 25/01/23 au 01/02/23 Log 113 du 01/02/23 au 15/02/23 (locataire absent le 08/02/23) (abandon du log 913)
Résidence #04 Mérignac (33) <i>Bailleur A</i> Log 153A Log 301C Log 232B	Mesures étanchéité	15/03/2021	10/05/2022 (abandon du log 232)	01/02/2023
	Mesures Confort	Du 15/03/2021 Au 29/03/2021	Du 10/05/2022 Au 24/05/2022 (abandon du log 232)	Du 01/02/2023 Au 15/02/2023
	Mesures QAI (Atmo)	Du 17/03/2021 Au 24/03/2021	Log 153A du 13/05/22 au 20/05/22 Log 301C du 03/06/22 au 10/06/22 (abandon du log 232)	Du 01/02/2023 Au 08/02/2023
Résidence #05 Villenave d'Ornon (33) <i>Bailleur A</i> Log 232C Log 421A4 Log 301B3	Mesures étanchéité	26/03/2021	07/06/2022	21/02/2023
	Mesures Confort	Du 26/03/2021 Au 09/04/2021	Du 07/06/2022 Au 21/06/2022	Du 21/02/2023 Au 07/03/2023
	Mesures QAI (Atmo)	Du 24/03/2021 Au 31/03/2021	Du 10/06/2022 Au 17/06/2022	Du 21/02/2023 au 28/02/2023

Résidence #06 Le Bouscat (33) <i>Bailleur A</i> Log 151B Log501 E Log 401D	Mesures étanchéité	31/03/2021	14/06/2022	28/02/2023
	Mesures Confort	Du 31/03/2021 Au 14/04/2021	Du 14/06/2022 Au 28/06/2022	Du 28/02/2023 Au 14/03/2023
	Mesures QAI (Atmo)	Du 31/03/2021 Au 07/04/2021	Du 17/06/2022 Au 24/06/2022 Log 151 du 24/06/22 au 01/07/22	Du 28/02/2023 Au 07/03/2023
Résidence #07 Marmande (47) <i>Bailleur C</i> Log 097 Log 104 Log 089	Mesures étanchéité	14/06/2021	/	/
	Mesures Confort	Du 14/06/2021 Au 28/06/2021	/	/
	Mesures QAI (Atmo)	Du 14/06/2021 Au 21/06/2021	/	/

L'opération #07 ayant pris d'importants retards dans la réalisation des travaux, il n'a pas été possible de réaliser les mesures après travaux et un an après travaux pour cette opération.

Sur l'opération #04, le locataire de l'appartement log232B n'a plus souhaité faire partie du projet dès la phase après travaux.

Enfin, sur l'opération #02, le locataire de l'appartement log4-21 s'est retiré du projet à la phase un an après travaux.

Notons que la saisonnalité n'a pu être respectée pour les mesures de confort. En raison du retard des travaux, les mesures après réception ont été réalisées en fin de printemps – début d'été alors que les mesures initiales avaient été faites sur le 1^{er} trimestre de l'année.

Les dates de mesures un an après travaux ont donc été recalées afin d'être réalisées sur le 1^{er} trimestre de la 3^e année de suivi.

5 Résultats Détaillés

En raison de l'important retard pris dans les travaux, l'opération #07 n'a pas pu être suivie par le projet. Seules les mesures avant travaux ont été réalisées.

5.1 Mesures d'étanchéité à l'air

5.1.1 Histogramme des mesures de débits surfaciques de fuite sous 4 Pa

La comparaison des résultats de la campagne de mesures AvT aux exigences réglementaires pour les bâtiments résidentiels neufs en France (MTE, 2021), permet de constater des niveaux performants d'étanchéité à l'air pour 6 opérations sur 7 (voir figure 4).

Pour ces 6 résidences équipées de systèmes de ventilation mécanique simple flux autoréglables, les mesures de $Q_{4Pa-Surf}$ sont inférieures à $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (exigence d'étanchéité pour les bâtiments collectifs neufs). Une seule opération (#05) a montré des résultats avec une performance médiocre : cette opération de ventilation naturelle sur conduits shunt montre des valeurs de $Q_{4Pa-Surf}$ supérieures à $1,60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

A noter qu'en raison des conditions extérieures le jour des mesures, certains logements n'ont pu faire l'objet de mesures conformes à la norme NF EN ISO 9972. Dans le cas d'un contrôle réglementaire, la valeur obtenue pour le $Q_{4Pa-Surf}$ ne serait donc pas conforme aux conditions de réalisation des mesures selon la norme, et ne pourrait donc être considérée comme telle (Opération #01 : les 3 logs AvT ; Opération #02 : log 6-21 AvT, ApT et 1anApT, log 4-21 AvT et ApT ; Opération #03 : log 913 ApT ; Opération #05 : log 232C2 ApT et 1anApT ; Opération #06 : log 151B et 401D 1anApT ; Opération #07 : les 3 logs AvT). Ces mesures non conformes sont identifiées par une flèche rouge sur les figures 3 et 4.

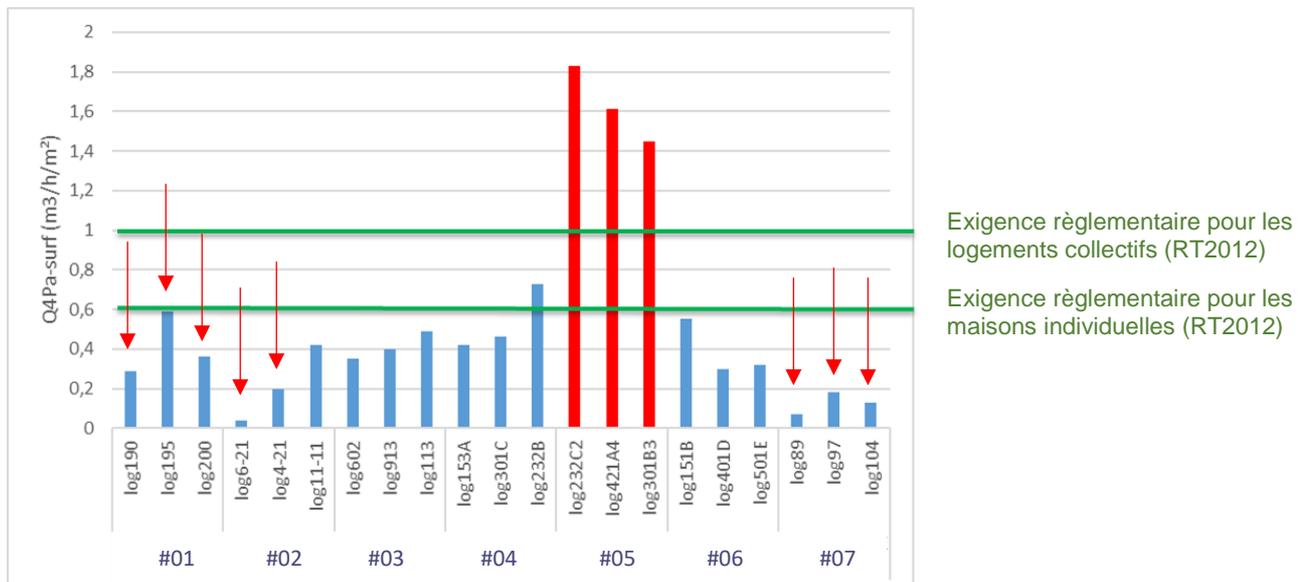


Figure 4 : Mesures de perméabilité à l'air avant travaux

Nous avons pu comparer les mesures d'étanchéité des phases AvT, ApT et 1anApT sur 6 opérations (voir Figure 5). Les résultats en phase ApT montrent une nette amélioration de l'étanchéité à l'air sur 3 opérations (#03, #05 et #06), notamment pour la résidence en ventilation naturelle qui a bénéficié de l'installation d'une ventilation mécanique simple flux. A l'inverse, une opération (#01) connaît une nette dégradation de son niveau d'étanchéité. Même si les valeurs de l'indice d'étanchéité à l'air avant travaux ne sont pas comparables en raison de la non-conformité des mesures, le diagnostic qualitatif réalisé sur chaque appartement permet de confirmer cette augmentation de perméabilité à l'air de l'enveloppe en raison de l'installation de portes vitrées dont les cadres étaient voilés à leur installation permettant de passer le doigt entre l'ouvrant et le dormant en position fermée. Pour les 2 dernières opérations (#02 et #04), nous avons trouvé des niveaux d'étanchéité comparables entre les phases AvT et ApT.

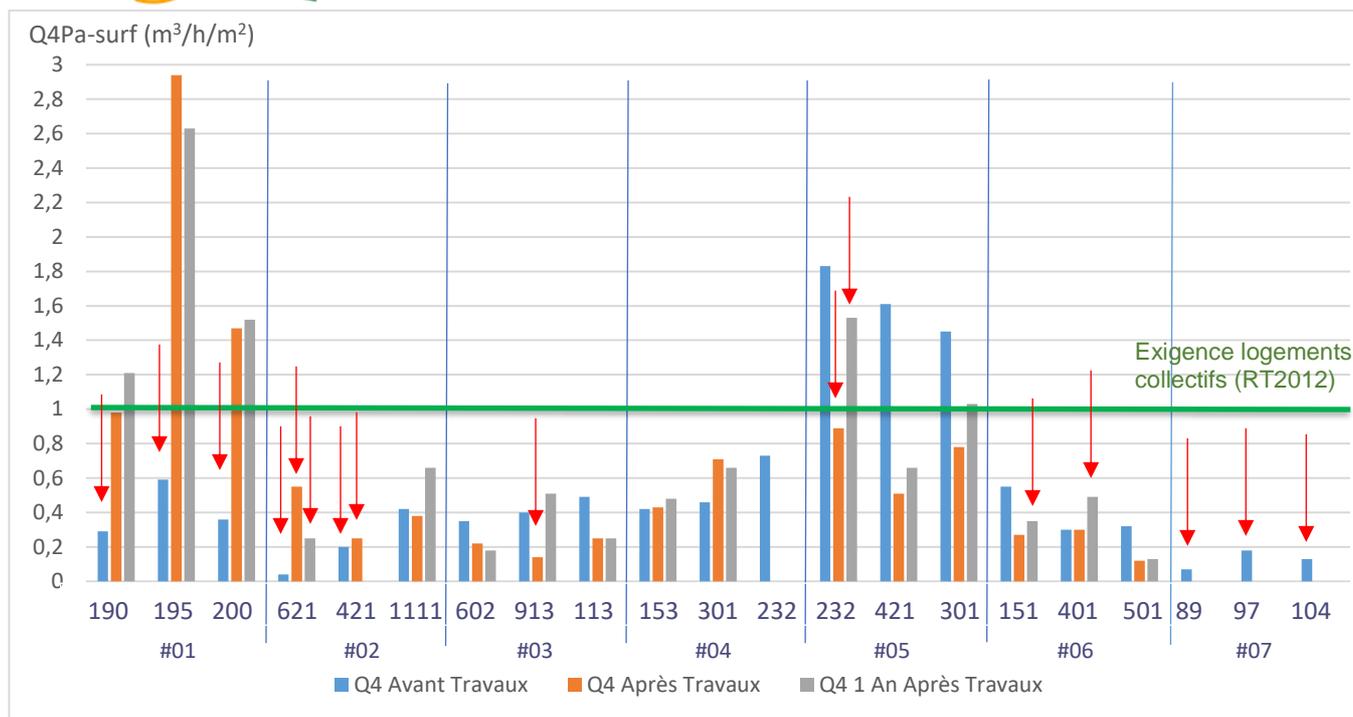


Figure 5 : Comparaison des taux de fuite (m³/h/m²) AvT (bleu), ApT (orange) et 1anApT (gris)

Les mesures 1 an après travaux montrent des évolutions tantôt d'amélioration, tantôt de dégradation par rapport à la mesure à réception. Etant donné la taille réduite de l'échantillon et les mesures non-conformes ne permettant pas de comparaison quantitative, il n'y a pas de tendance significative à relever sur la comparaison des mesures ApT et 1anApT.

5.1.2 Identification des fuites

Une analyse qualitative de chaque logement a été réalisée permettant de recenser les points d'infiltration d'air parasites avant travaux, après travaux et 1 an après travaux. Ainsi, il a pu être constaté les fuites qui ont pu être corrigées grâce aux travaux, celles qui sont apparues à cause des travaux et leurs évolutions après un an d'occupation des logements.

Il en ressort globalement que les travaux permettent de corriger les fuites sur les portes de service et les fuites sur les menuiseries extérieures grâce à leur remplacement.

Par contre, il apparaît régulièrement que les nouvelles menuiseries présentent elles aussi des fuites, soit entre ouvrant et dormant en raison de problème de réglages, soit entre nouveau et ancien dormant en raison de leur pose en rénovation. Ces nouvelles fuites apparaissent soit dès réception, soit un an après leur pose.

Les autres nouvelles fuites souvent rencontrées concernent les caissons de volet roulant (coffre ou barre de manœuvre) venant remplacer les anciennes persiennes, les nouvelles entrées d'air sur menuiseries, les conduits d'évacuation des chaudières gaz remplacés et des traversées de parois dues à des travaux de plomberie dans les WC – salle de bain.

L'ensemble des rapports de mesures d'étanchéité à l'air des logements et leurs synthèses sont présentés en annexe.

5.2 Mesures et inspection des systèmes de ventilation

5.2.1 Histogramme des mesures de débits

Les débits de ventilation ont été mesurés lors de la campagne AvT. La majorité des logements présentent des systèmes avec des déséquilibres importants qui ne permettent pas d'atteindre les débits d'air extrait conformes à la réglementation pour les nouvelles constructions (Gouvernement français, 1982), voir Figure 6. Nous avons trouvé un taux de conformité de 14% sur les débits totaux par logement pour les 21 logements étudiés. Ce ratio est inférieur aux statistiques publiées sur le respect de la réglementation de ventilation dans les bâtiments résidentiels neufs en France (ADEME, 2016).

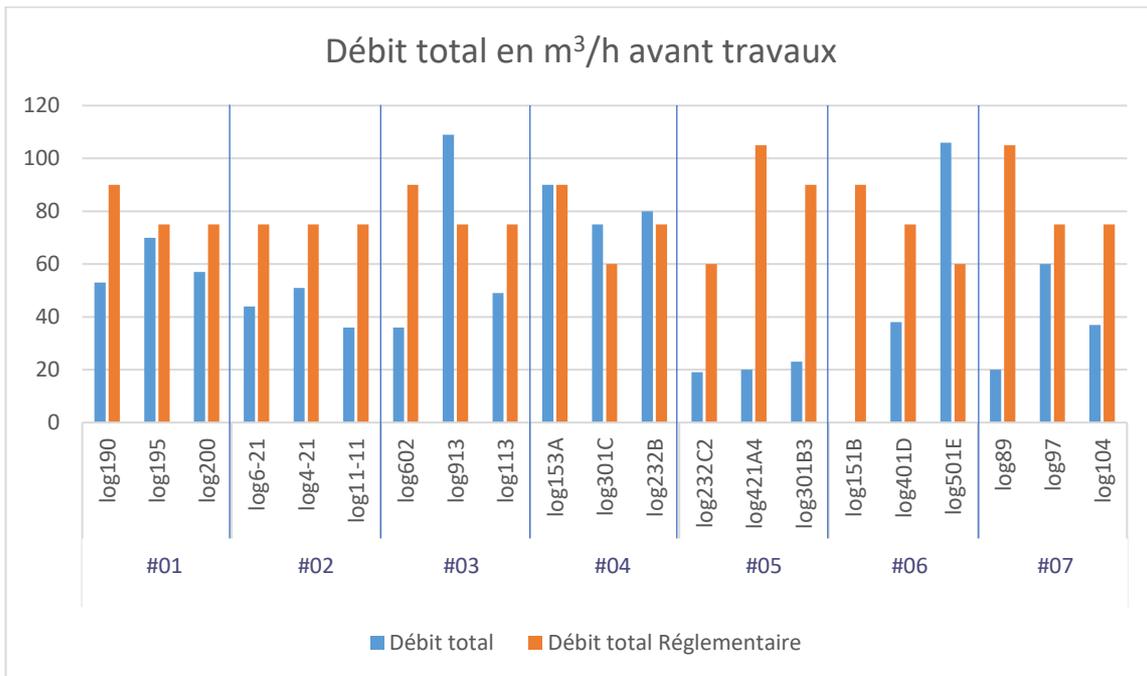


Figure 6 : Mesures des débits d'air de ventilation (m³/h) AvT. Comparaison entre les mesures et les exigences réglementaires obligatoires pour les bâtiments neufs

Les mesures de dépression sur les bouches extractions après travaux (Figure 7), sont conformes à l'exigence réglementaire pour le neuf pour 4 opérations. Les 2 opérations non conformes présentent des résultats inférieurs à 50 Pa sur chacune des extractions de chacun des logements (les exigences réglementaires sont comprises entre 80 et 160Pa ±10%).

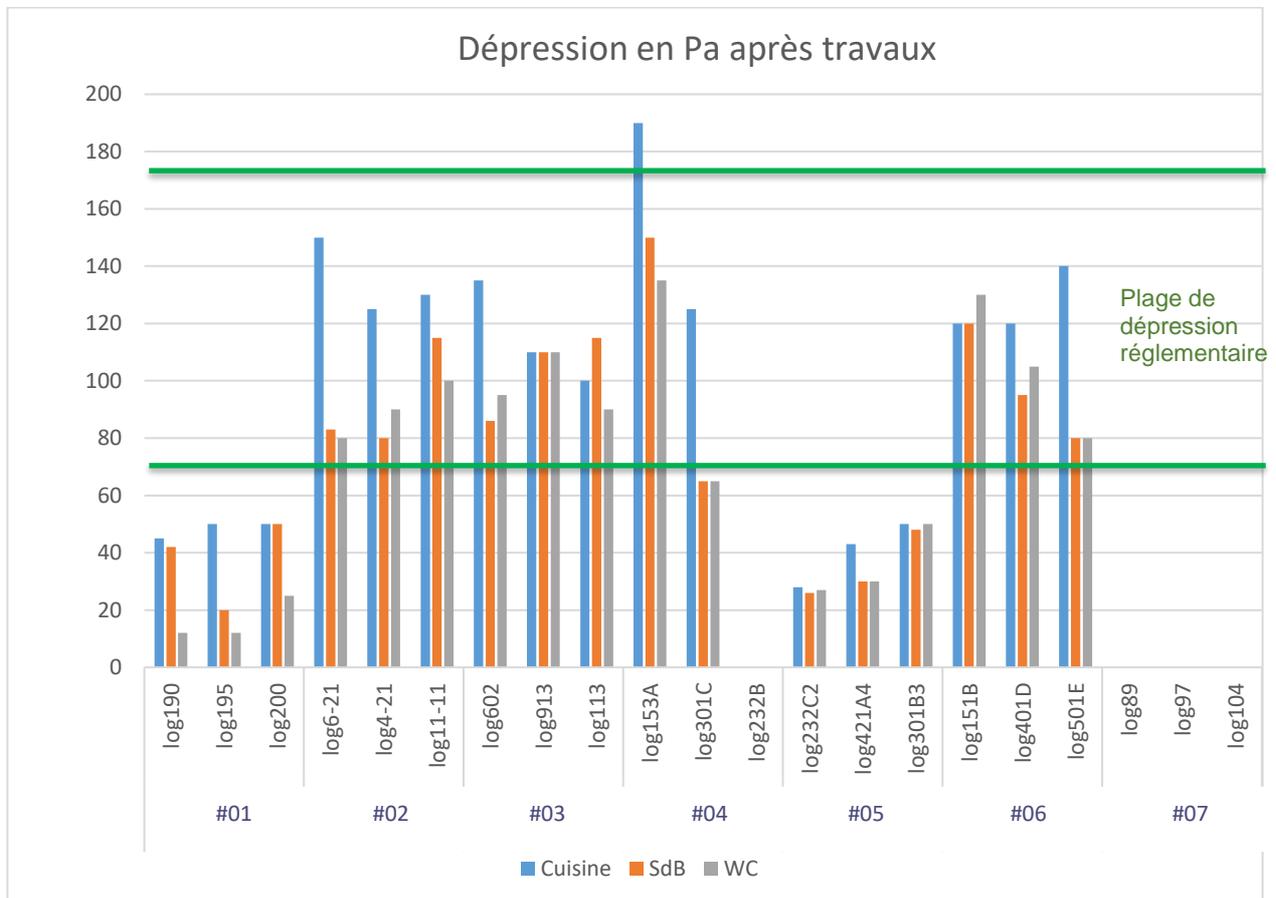


Figure 7 : Mesures en dépression (Pa) ApT

Les mesures de dépression sur les bouches d'extractions un an après travaux (Figure 8), restent conformes à l'exigence réglementaire pour 4 opérations. A noter que l'on rencontre des résultats sensiblement meilleurs sur l'opération #01 mais qui restent en majorité sous le seuil réglementaire pour le neuf. Après avoir discuté des résultats mesurés avec le gestionnaire du bâtiment, il aurait contacté l'entreprise en charge du lot afin de demander des réglages sur l'installation.

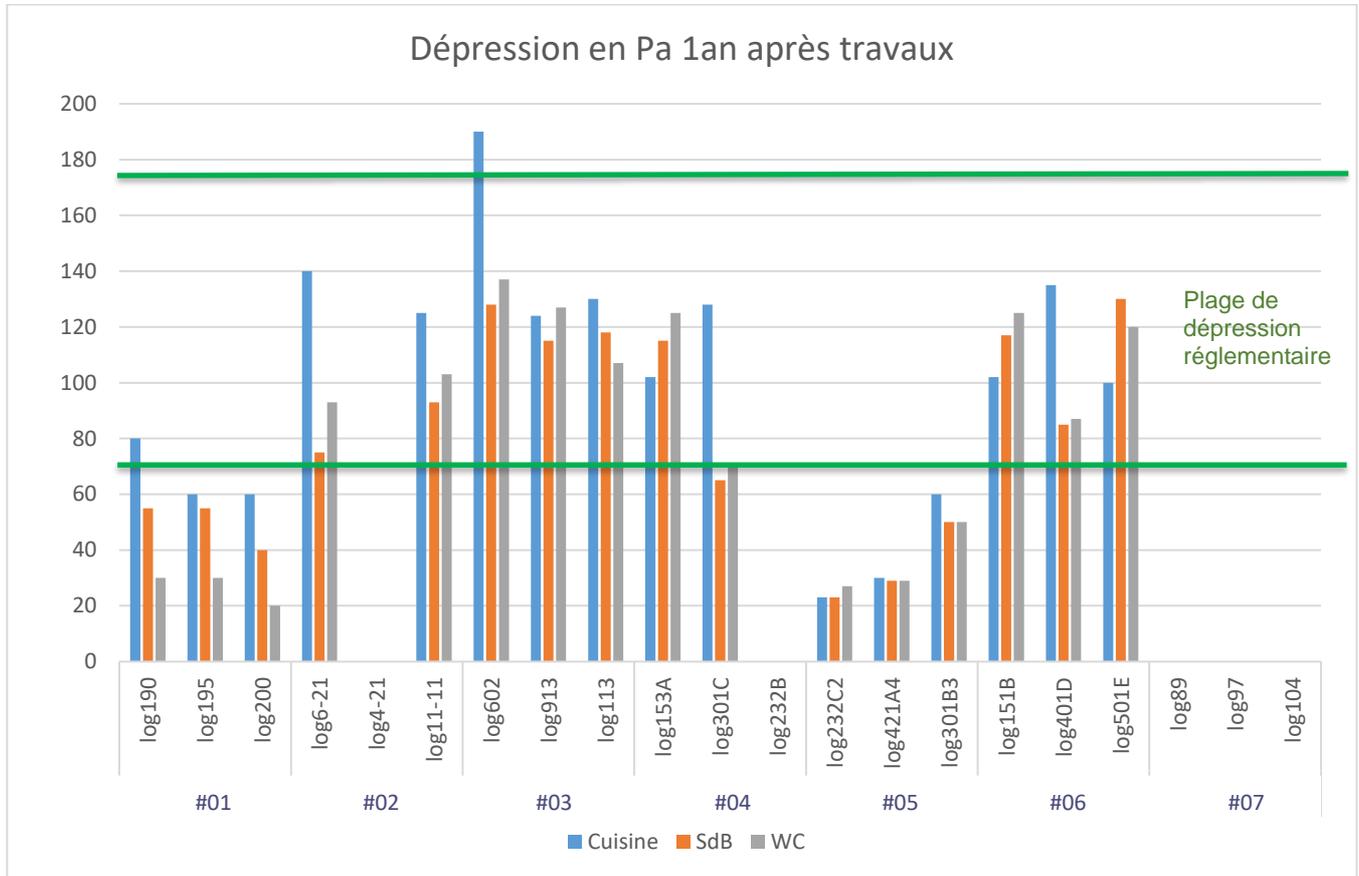


Figure 8 : Mesures en dépression (Pa) 1anApT

5.2.2 Vérifications fonctionnelles

En plus des mesures réalisées aux bouches d'extractions des logements, une vérification fonctionnelle des systèmes a été réalisée conformément au protocole PROMEVENT. Celle-ci a permis de caractériser l'état, le fonctionnement et la bonne mise en œuvre des équipements des systèmes de ventilation.

Ces vérifications ont été recensées dans une grille de vérification après chacun de nos passages dans les logements et sont présentés en annexe.

Les non-conformités constatées, en dehors de l'impossibilité d'accéder aux caissons de ventilation, sont des entrées d'air en mauvais état ou obturées volontairement par les occupants des logements, des extractions encrassées, et l'absence ou le non fonctionnement de système de manœuvre permettant de passer l'extraction de la cuisine en débit nominal temporisé.

5.3 Mesures de Qualité de l'Air Intérieur

Lors de la campagne avant travaux (AvT), l'instrumentation réalisée par Atmo Nouvelle-Aquitaine a mis en évidence que le bâtiment de l'opération #05, seul bâtiment en ventilation naturelle, présentait des concentrations plus élevées en formaldéhyde et dioxyde de carbone (CO₂) (cf. figures 9 et 15), par rapport aux autres bâtiments et à la médiane de la campagne de mesures CNL1 de l'OQAI. Les concentrations en ces deux polluants ont diminué après les travaux et la mise en place d'une VMC.

Sur l'opération #01, les concentrations en dioxyde de carbone ont augmenté 1 an après les travaux (1anApT) (cf. figure 15). La valeur de 1 500 ppm définie par le HCSP comme confinement de l'air non acceptable a pu être dépassée dans plusieurs logements, lors des trois phases de mesure. Également, l'opération #03 montre une légère augmentation des concentrations en CO₂ (cf. figures 15), mais la valeur médiane reste correcte au regard du seuil évoqué précédemment.

En comparant les concentrations obtenues avant travaux (AvT) et 1 an après les travaux (1anApT), il apparaît que les concentrations en formaldéhyde de l'opération #01 ont fortement augmenté, jusqu'à dépasser les valeurs relevées lors de la CNL1 et la valeur limite pour les ERP de 30 µg/m³ dans plusieurs logements, à titre indicatif (cf. figure 9). Les concentrations restent cependant en dessous de la valeur limite pour les ERP pour laquelle l'information du préfet est exigée (100 µg/m³). Les concentrations en toluène et éthylbenzène (cf. figures 11 et 12) ont également légèrement augmenté 1anApT pour l'opération #01 mais restent très inférieures aux VGAI (22 000 µg/m³ pour le toluène ; 22 000 µg/m³ court terme et 1 500 µg/m³ long terme pour l'éthylbenzène).

Dans les opérations #02, #03, #05 et #06, les concentrations en benzène ont augmenté 1anApT (cf. figures 10), dépassant les valeurs relevées lors de la CNL1 et la valeur guide pour les ERP (exposition long terme) de 2 µg/m³, pour la plupart. A titre indicatif, les concentrations en benzène sont toutes inférieures à la valeur limite pour les ERP de 10 µg/m³. Ces augmentations sont visibles également sur les concentrations en toluène (opérations #03, #05 et #06) et éthylbenzène (opération #03) (cf. figures 11 et 12). Les concentrations en toluène et éthylbenzène restent cependant largement inférieures aux VGAI.

L'opération #04 présente une augmentation des concentrations en xylènes 1anApT (cf. figures 13 et 14), dépassant les valeurs relevées lors de la CNL1.

Les graphiques présentant en détail toutes les phases, y compris la phase de mesures n°2 ApT ayant eu lieu juste après les travaux et les concentrations mesurées sur l'opération #07 AvT, sont présentés en annexe. La saisonnalité n'ayant pas été respectée (températures et humidité plus élevées) lors de la phase ApT, par rapport aux phases AvT et 1anApT, ils sont donnés à titre informatif.

Pour plusieurs polluants et bâtiments, des concentrations plus importantes sont visibles pendant la phase ApT que celles AvT et 1anApT. Cela peut s'expliquer par le fait que les matériaux de construction mis en place juste avant la phase ApT ont pu émettre une plus grande quantité de COV lorsqu'ils étaient neufs, puis les émissions ont diminué avec le temps. Il est à noter que les températures étaient plus élevées pendant les mesures ApT, ce qui a pu engendrer un relargage plus important des COV. Cependant, ces températures plus chaudes ont aussi pu entraîner une meilleure aération des logements par l'ouverture plus fréquente des fenêtres et donc une diminution de la concentration réelle en COV. Les concentrations plus faibles en dioxyde de carbone ApT témoignent d'une meilleure aération des logements à cette période.

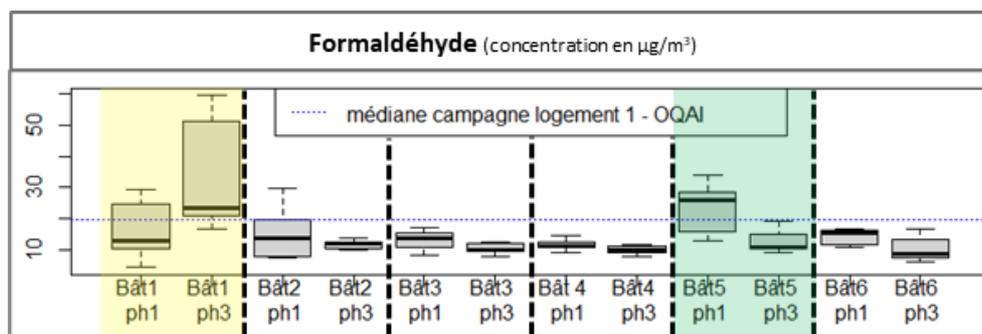


Figure 9 : Distribution des concentrations de formaldéhyde AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNL1 (n=54)

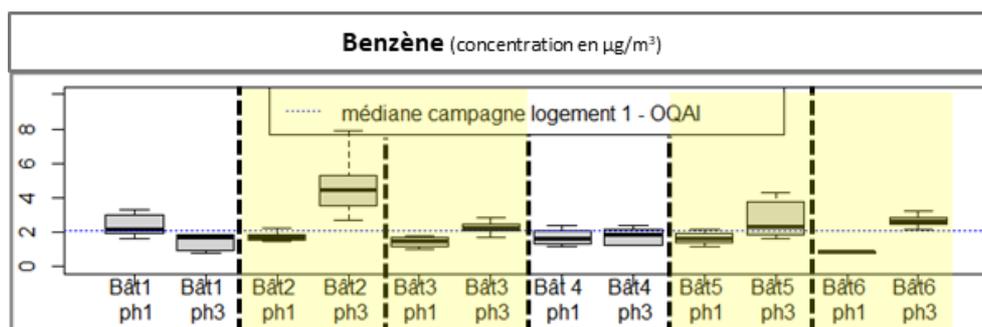


Figure 10 : Distribution des concentrations de benzène AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNL1 (n=54)

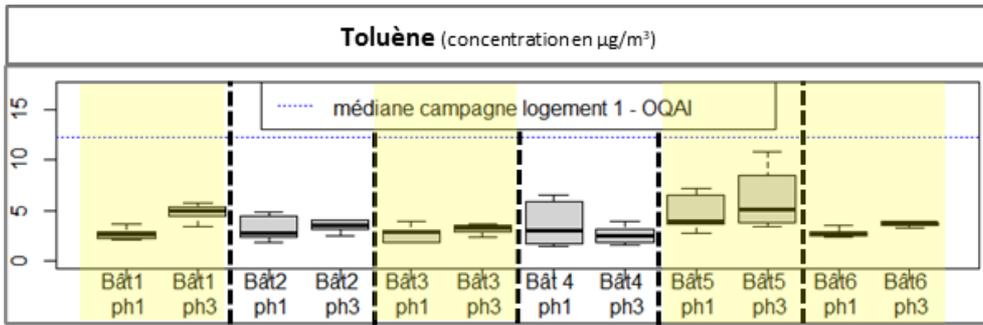


Figure 11 : Distribution des concentrations de toluène AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNLI (n=54)

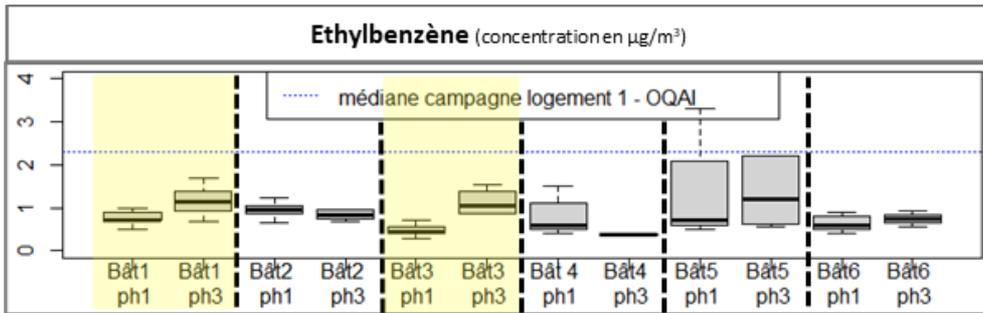


Figure 12 : Distribution des concentrations d'éthylbenzène AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNLI (n=54)

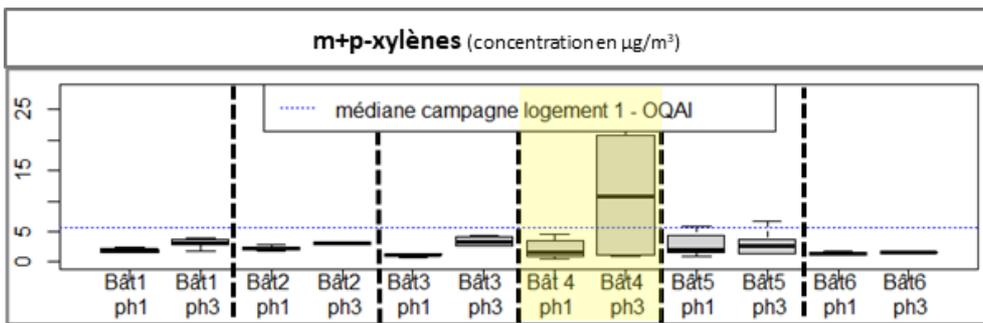


Figure 13 : Distribution des concentrations des m+p-xylènes AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNLI (n=54)

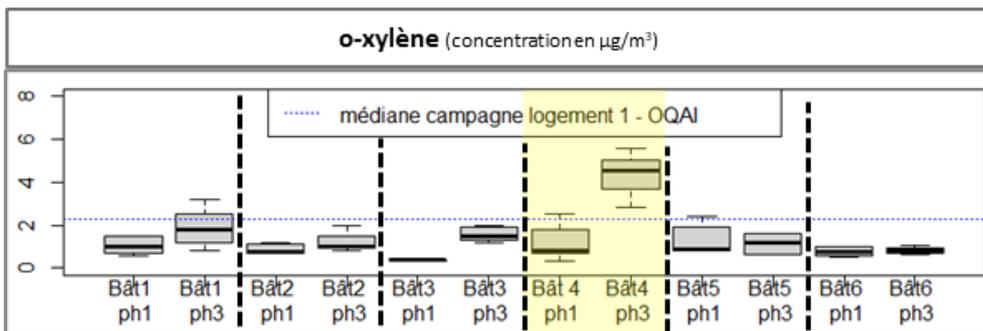


Figure 14 : Distribution des concentrations d'o-xylène xylènes AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNLI (n=54)

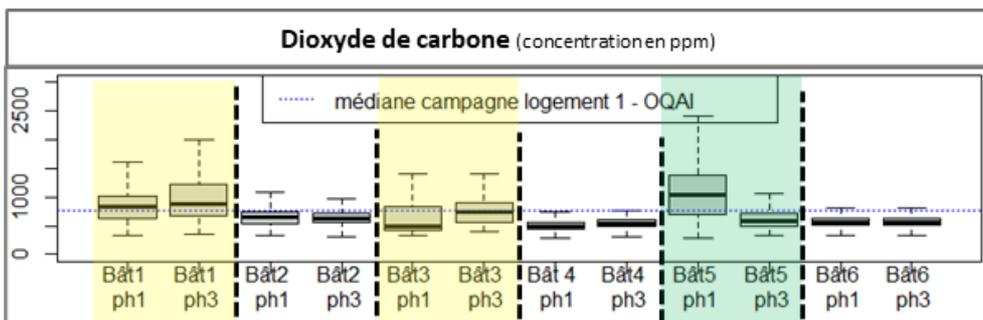


Figure 15 : Distribution des concentrations de dioxyde de carbone AvT (ph1) et 1anApT (ph3), comparées à la médiane de la CNLI (n=36)

5.4 Mesures du confort

Nous avons évalué le confort de deux manières différentes :

- Des résultats qualitatifs : à partir d'un questionnaire soumis aux occupants,
- Des résultats quantitatifs : à partir d'une appréciation du pourcentage de temps de confort, déduite des mesures de température et d'humidité relative.

Concernant la qualification du confort en phase AvT, il ressort des questionnaires remis aux occupants un manque de confort thermique en hiver.

Les ratios de confort dérivés des mesures de température et d'humidité relative ont été évalués pour chaque opération, dans trois emplacements différents de chacun des trois logements : le salon, la cuisine et la salle de bain. En raison du non-respect de la saisonnalité pour les mesures après travaux (au printemps), il a été jugé plus pertinent de ne comparer que les mesures AvT et 1anApT afin de juger de l'impact des travaux sur l'évolution du confort thermique dans les logements. L'intégralité des ratios de confort évalués sont présents en annexe de ce rapport.

Nous avons caractérisé chacune des 7 opérations suivies avec l'indicateur ICO_{80} , défini pour cette étude : Indicateur de Confort des Opérations (ICO), qui a été évalué pour un seuil de confort de 80%. L'indicateur ICO_{80} évalue pour chaque opération, le pourcentage d'emplacements dont le ratio de confort est supérieur à une valeur seuil de 80 % (voir figure 16). A savoir, pour chaque opération, l' ICO_{80} a été dérivé des résultats du ratio de confort de 9 emplacements (3 pièces par logement, 3 logements par opération).

La comparaison des mesures AvT et 1anApT a pu être réalisée sur 6 opérations (Figure 18). Nous avons constaté globalement une dégradation du niveau de confort avec des taux moyens par opération allant de 14% à 85%, avec une moyenne de toutes les opérations à 47%.

En effet, nous constatons une diminution du taux de confort pour 4 opérations sur 6. Les 2 autres opérations connaissent une légère amélioration de leur niveau de confort, notamment l'opération #05 qui a connu une nette amélioration de son niveau d'étanchéité à l'air ApT.

Avant de lier cette baisse de confort aux travaux de rénovation réalisés, il est à rappeler le contexte économique au moment de la réalisation des mesures 1anApT. En pleine crise énergétique mondiale depuis l'invasion de l'Ukraine par la Russie en mars 2022, les occupants des logements rencontrés se sont souvent montrés très inquiets pour leur facture énergétique. Ils nous ont expliqué avoir changé leur comportement vis-à-vis de leur système de chauffage. Leur choix étant de baisser la température de consigne habituelle au profit d'une tenue vestimentaire plus chaude.

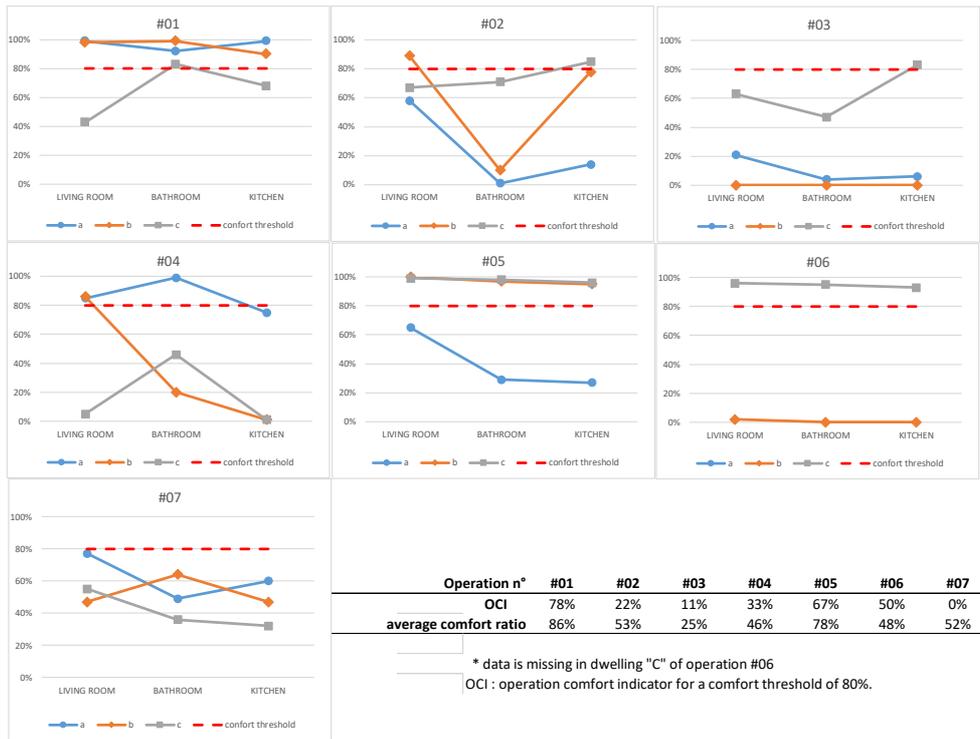


Figure 16 : Résultats globaux du taux de confort dans chaque logement pendant la phase AvT (en pointillés rouges, le rapport seuil)

Avant travaux, le ratio de confort moyen par opération a été calculé entre 25% et 86% avec une moyenne de toutes les opérations à 56%.

Pour les opérations aux taux de confort les plus bas, nos mesures révèlent essentiellement une gêne due à des températures inférieures à 20°C (voir Figure 17), ce qui corrobore les résultats des questionnaires de confort (résultats qualitatifs).

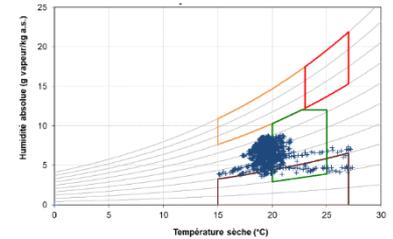


Figure 17 : site #03 – séjour dans logement AvT

AVANT (2021)	#01			#02			#03			#04			#05			#06		
	log195	log200	log190	log6-21	log4-21	log11-11	log602	log913	log113	log153A	log301C	log232B	log232C2	log421A4	log301B3	log151B	log501E	log401D
SEJOUR	99%	98%	43%	58%	89%	67%	21%	0%	63%	85%	86%	5%	65%	100%	99%		2%	96%
SDB	92%	99%	83%	1%	10%	71%	4%	0%	47%	99%	20%	46%	29%	97%	98%		0%	95%
CUISINE	99%	90%	68%	14%	78%	85%	6%	0%	83%	75%	1%	1%	27%	95%	96%		0%	93%
Moyenne logement	97%	96%	65%	24%	59%	74%	10%	0%	64%	86%	36%	17%	40%	97%	98%		1%	95%
Moyenne opération		86%		24%	53%			25%		86%	46%		40%	78%			48%	
	Du 13 au 27 Janvier			Du 1er au 12 Mars			Du 8 au 22 Mars			Du 15 au 29 Mars			Du 26 Mars au 9 Avril			Du 31 Mars au 14 Avril		
1 an APRES (2023)	#01			#02			#03			#04			#05			#06		
	log195	log200	log190	log6-21	log4-21	log11-11	log602	log913	log113	log153A	log301C	log232B	log232C2	log421A4	log301B3	log211B	log501E	log401D
SEJOUR	83%	99%	78%	60%	9%	47%	0%	20%	99%	19%			9%	100%	96%	55%	0%	0%
SDB	100%	99%	90%	45%	76%	1%	0%	0%	99%	1%			85%	99%	97%	36%	0%	0%
CUISINE	62%	27%	0%	15%	20%	9%	0%	52%	95%	0%			96%	100%	84%	78%	0%	9%
Moyenne logement	82%	75%	56%	40%	35%	19%	0%	24%	98%	7%			63%	100%	92%	56%	0%	3%
Moyenne opération		71%		38%			14%		98%	52%			85%			20%		
	Du 10 au 24 Janvier			Du 16 au 30 Janvier			Du 25 janvier au 8 février			Du 1er au 15 février			Du 21 février au 7 mars			Du 28 février au 14 mars		

Figure 18 : Taux de temps en zone de confort pour les pièces instrumentées de chaque logement de chaque résidence

6 Analyse des Résultats

6.1 Sur le volet de l'étanchéité à l'air

Les mesures de perméabilité à l'air en situation avant travaux nous montrent des niveaux d'étanchéité plutôt performants pour la majorité des logements. Les principales fuites constatées lors de la phase AvT sont des fuites sur les menuiseries qui ont été corrigées grâce à leur remplacement prévu dans le bouquet de rénovation énergétique. Cet effort en phase travaux, a pu conduire à des améliorations significatives des mesures d'étanchéité en phase ApT.

Notons que l'amélioration la plus remarquable concerne les logements de la résidence initialement en ventilation naturelle (#05) ayant bénéficié de l'installation d'une VMC hygro-réglable. A contrario, une opération (#01) connaît une nette dégradation de son niveau d'étanchéité à l'air à cause des travaux de rénovation.

6.2 Sur le volet ventilation

Les mesures réalisées avant travaux nous ont montré des systèmes totalement inefficaces pour l'ensemble des opérations suivies. Nous constatons en revanche une nette amélioration de l'efficacité des systèmes de ventilation une fois les logements rénovés grâce à l'installation systématique d'une ventilation mécanique contrôlée hygro-réglable.

Cependant, deux opérations présentent des résultats non conformes si on compare leurs résultats à l'obligation réglementaire pour le résidentiel neuf. Il a donc été demandé aux bailleurs les mesures prises par les entreprises lors de la mise en service des systèmes afin de les comparer avec nos mesures.

Bien que nous n'ayons pas eu de retour, il semble qu'une intervention par l'entreprise en charge du lot ventilation ait été effectuée pour l'opération #01 au vu des résultats obtenus lors des mesures réalisées 1 an après travaux (même si elles présentent des niveaux d'efficacité encore insuffisants).

6.3 Sur le volet QAI

Les mesures réalisées avant les travaux mettent en évidence le manque d'efficacité de la ventilation naturelle par rapport aux systèmes de ventilation mécanique contrôlée qui équipent les autres opérations de l'échantillon. En effet, une ventilation mécanique permet un renouvellement de l'air plus maîtrisé et constant, et donc une meilleure extraction des polluants du logement.

La performance limitée de la ventilation dans l'opération #01 conduit à des concentrations en CO₂ mesurées qui se trouvent plus élevées par rapport aux niveaux attendus. Le seuil de confinement de l'air non acceptable a pu être dépassé dans plusieurs logements de ce bâtiment.

Les travaux de rénovation semblent avoir apporté des sources de COV qui ont légèrement dégradé la qualité de l'air intérieur dans certains logements juste après leur réalisation (phase ApT) : matériaux de construction neufs, vernis, peintures, etc. Le relargage des COV par les produits de construction est à son maximum lorsqu'ils sont neufs puis décroît au fur et à mesure du temps, ce qui a été observé puisque les concentrations mesurées 1anApT sont en majorité inférieures à celles mesurées ApT.

A l'exception de quelques logements, la qualité de l'air intérieur 1 an après les travaux est restée dans le même ordre de grandeur qu'avant les travaux, conforme aux seuils de référence et dans des concentrations similaires à ce qu'on peut retrouver dans les logements en France.

Dans certains logements, les mesures réalisées 1anApT montrent une augmentation des concentrations de plusieurs COV : le formaldéhyde, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Cette dégradation de la QAI semble provenir majoritairement du comportement des occupants ou de l'installation de mobilier neuf (installé indépendamment des travaux). Les occupants peuvent être à l'origine de pollutions en COV du fait de leur habitudes : sources de combustion (tabagisme, utilisation de bougies, d'encens, ...), utilisation de vernis à ongles, produits ménagers, etc. Les questionnaires remis aux occupants ont permis de mettre en évidence certains de ces comportements.

La reproductibilité des comportements des occupants n'étant pas maîtrisable d'une période de mesures à l'autre, cela rend difficile l'évaluation de l'impact des travaux sur la qualité de l'air intérieur. Une étude sans la présence des occupants permettrait de s'affranchir de ce biais et d'isoler les émissions liées au bâti.

6.4 Sur le volet confort thermique

Les résultats de confort ont montré des résultats très hétérogènes dans les logements, lors de la première phase AvT. De plus, nous avons prévu d'effectuer nos mesures comparatives AvT et ApT aux mêmes périodes de l'année, afin de refléter le même niveau de confort saisonnier. Malheureusement, il a été difficile de comparer nos résultats avant et après les travaux car la saisonnalité n'a pas pu être entièrement respectée pour l'ensemble de nos mesures en raison du retard des travaux sur plusieurs opérations. Nos mesures avant travaux ont été réalisées en période de chauffage (en hiver), alors que notre instrumentation après travaux a eu lieu avec les systèmes de chauffage à l'arrêt (au printemps).

Il a donc été décidé d'adapter les dates de nos mesures « 1 an après réception » (1anApT) afin de les réaliser sur la même période de l'année que les mesures avant travaux et ainsi baser notre analyse comparative entre les mesures AvT et 1anApT.

L'analyse du confort thermique dans la cuisine et la salle de bain peut ne pas être pertinente car l'occupation de ces deux pièces est spécifique. D'abord les heures d'occupation sont faibles, ensuite les activités et l'habillement des occupants sont très hétérogènes. Dans des travaux futurs, nous pourrions appliquer l'analyse du confort thermique uniquement aux mesures réalisées dans les pièces de vie. Pour la cuisine et la salle de bain, en revanche, nous pourrions vérifier si l'humidité relative dépasse 70 % et pendant combien de temps.

Le choix du seuil de 80 % pour l'évaluation de l'indicateur ICO est complexe, car les normes ISO 7730 et EN 16798-1 ne précisent pas le seuil acceptable pour le pourcentage de temps dans la zone de confort. On retrouve dans la littérature relative aux bâtiments à haute qualité environnementale (HQE) et pour la nouvelle réglementation environnementale (RE2020), un nombre maximum d'heures hors zone de confort. Mais dans les anciennes versions de la norme EN 16798-1 (EN 15251), une annexe proposait un seuil de 95% du temps d'occupation en zone de confort (c'est-à-dire limiter le débordement de la zone de confort à moins de 5% du temps d'occupation). Plus précisément, il est proposé que les pièces représentant 95% de l'espace occupé dans le bâtiment ne dépassent pas la zone de confort de plus de 5% des heures d'occupation. En effet, un dépassement de 20% semble alors être une valeur élevée, cela représente environ 34 heures sur une semaine.

Concernant la comparaison des ratios de temps en zone de confort AvT et 1anApT, il est difficile de mettre en cause la réalisation des travaux de rénovation face à la diminution des ratios de confort constatée. Comme évoqué précédemment, la crise énergétique que nous connaissons a modifié le comportement des ménages envers leur mode de chauffage. L'étude portant uniquement sur des logements sociaux, l'augmentation de la facture énergétique est lourde d'impact pour ces foyers qui ont majoritairement fait le choix de diminuer leurs consommations au détriment de leur confort.

7 Conclusion

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats de l'étude RENOVAIR (2021-2023). L'objectif de RENOVAIR est de quantifier la prise en compte de quatre paramètres influençant directement la performance énergétique et sanitaire des bâtiments ainsi que le confort des occupants de logements sociaux rénovés (c'est-à-dire l'étanchéité à l'air, la ventilation, la QAI et le confort ambiant), lorsqu'aucune exigence relative à ces quatre paramètres n'a été donnée dans les cahiers des charges des programmes d'aides financières éco-conditionnées.

Nous avons élaboré un protocole métrologique pour instrumenter 21 logements d'opérations de rénovation énergétique de logements sociaux aidés, pour réaliser des mesures avant et après travaux. Ce protocole a été élaboré dans une optique de maîtrise des coûts de métrologie, afin de consolider ce type d'inspection, pour accompagner les maîtres d'ouvrage sociaux souhaitant mieux suivre la réalisation effective de leurs rénovations.

Les résultats obtenus sont présentés dans ce rapport. **Ils montrent des résultats plutôt performants pour l'étanchéité à l'air des constructions avant travaux. A l'inverse, nous n'avons pas observé d'amélioration systématique significative sur l'ensemble des opérations après travaux. En effet, certaines opérations ont même conduit à une dégradation importante de l'étanchéité à l'air après les travaux.**

Concernant le renouvellement d'air, le constat **sur l'efficacité des systèmes de ventilation en place avant les travaux montre un taux de conformité de 14 % sur les débits totaux minimum, ce qui est inférieur à celui des logements neufs en France.** Là encore, l'amélioration est plutôt courante mais pas systématique puisque 2 opérations présentent des niveaux de dépressions aux extractions qui sont insuffisants. Néanmoins, les concentrations en CO₂ sont en majorité conformes au seuil recommandé.

Quant à la qualité de l'air intérieur, il apparaît que **les travaux ont été sources de COV qui n'ont dégradé que temporairement la QAI des logements puisque leurs niveaux sont plus ou moins revenus à leur état initial un an après l'achèvement des travaux** (en considérant que les concentrations plus élevées ayant pu être mesurées lors de cette dernière phase ont été causées par les occupants).

Il est plus difficile de conclure de l'impact des travaux sur le confort thermique des logements étant donné la crise énergétique actuelle et les campagnes de communication du plan sobriété énergétique incitant les ménages à diminuer la température de chauffage à 19°C (en dehors de la zone de confort considérée dans notre étude).

L'objectif du projet RENOVAIR étant d'aider les décideurs publics à définir des exigences pour améliorer efficacement les performances énergétiques et sanitaires des bâtiments rénovés, nous pouvons mettre en avant, d'après les résultats présentés ci-dessus, **la nécessité d'imposer des objectifs éco-conditionnés et les contrôles correspondants sur les niveaux de performances de l'étanchéité à l'air des bâtiments rénovés, ainsi que sur les systèmes de ventilation.**

Les non-conformités identifiées sur ces paramètres sont certes non majoritaires, mais elles sont loin d'être négligeables étant donné la taille très réduite de notre échantillon pour la réalisation de cette étude.

8 Références

- ADEME (2017) TREMI " Travaux de Rénovation Energétique des Maisons Individuelles ", ADEME 2017
- ADEME (2019) DURABILIT'AIR "Durabilité de l'étanchéité à l'air des bâtiments" Cerema 2019
- ADEME (2016) PROMEVENT "Protocole de diagnostic des systèmes de ventilation." Cerema, CETIAT, ALLIE'AIR, CETII, PBC, EFFINERGIE, ICEE, PLEIAQ, 2016
- AFNOR (2015) NF EN ISO 9972 " Performance thermique des bâtiments — Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments — Méthode de pressurisation par ventilateur " AFNOR, 2015
- AFNOR (2016) FD P50-784 " Performance thermique des bâtiments — Guide d'application de la norme NF EN ISO 9972 " AFNOR, 2016
- AFNOR (2019) NF EN 16798-1 " Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 : données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité d'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique - Module M1-6" AFNOR, 2019
- AFNOR (2003) NF EN ISO 16017-2 " Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail — Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption / désorption thermique / chromatographie en phase gazeuse sur capillaire " AFNOR, 2003
- AFNOR (2012) NF ISO 16000-4 "Air intérieur. Dosage du formaldéhyde — Méthode par échantillonnage diffusif " AFNOR, 2012
- Copenhagen Economics, (CE 2012) Les multiples avantages d'investir dans la rénovation énergétique des bâtiments - Impact sur les finances publiques, Copenhagen Economics, 2012
- CSTB (2012) Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs
- DGALN (2019) EXIST'AIR " Campagne de mesures de perméabilité à l'air des logements construits avant 2005", Cerema 2019
- Gouvernement français (1982) Arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000862344/>
- MEEDDM (2010) RT2012 " Caractéristiques thermiques et exigences de performance énergétique des bâtiments " "
- MTE (2021) RE2020 " Exigences de performances énergétiques et environnementales des constructions de bâtiments en France métropolitaine " "
- OQAI (2007) Enquête nationale de l'observatoire de la qualité d'air intérieur : Qualité d'air intérieur dans les logements français, CSTB, AFSSET – 2007
- ANSES (2018) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, le toluène, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2016SA0043Ra.pdf>
- ANSES (2016) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, l'éthylbenzène, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2013SA0136Ra.pdf>
- Décret n°2022-1689 du 27 décembre 2022 modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur
- Décret n°2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n°2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public
- Haut Conseil de la Santé Publique (2022) Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP)

9 Annexes

9.1 Opération #01

- 9.1.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.1.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.1.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.1.4 Mesures COV / CO2

9.2 Opération #02

- 9.2.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.2.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.2.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.2.4 Mesures COV / CO2

9.3 Opération #03

- 9.3.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.3.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.3.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.3.4 Mesures COV / CO2

9.4 Opération #04

- 9.4.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.4.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.4.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.4.4 Mesures COV / CO2

9.5 Opération #05

- 9.5.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.5.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.5.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.5.4 Mesures COV / CO2

9.6 Opération #06

- 9.6.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.6.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.6.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.6.4 Mesures COV / CO2

9.7 Opération #07

- 9.7.1 Synthèse de perméabilité à l'air des logements + Rapports de mesure
- 9.7.2 Diagnostics des systèmes de ventilation
- 9.7.3 Diagrammes de confort de chaque pièce instrumentée
- 9.7.4 Mesures COV / CO2

9.8 Boxplot des concentrations QAI sur les 3 phases de mesures



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Siège social : Cité des mobilités - 25 avenue François Mitterrand - CS 92 803 - 69674 Bron Cedex -
Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30 – www.cerema.fr

Atmo Nouvelle-Aquitaine, Observatoire régional de l'air
Siège social : ZA Chemin Long
13 allée James Watt - 33 692 Mérignac Cedex
Tél. : 09 84 200 100 - www.atmo-nouvelleaquitaine.org