ADEME
500 route des Lucioles
Sophia-Antipolis
06560 VALBONNE

A l'attention de M. Pierre DEROUBAIX

Convention ADEME N°0504C0114

Performance de la ventilation et du bâti

Rapport final
Juin 2009

Partenaires du projet

Leader :

Partenaires :

Nous remercions le CIRMAD Grand Sud, l'OPAC du Rhône et Paris Habitat pour leur participation ainsi que l'ADEME pour son soutien financier.

Synthèse

Allier performance énergétique des bâtiments et bonne qualité d'air intérieur nécessite la réalisation de bâtiments, de réseaux étanches à l'air et l'emploi d'équipements de ventilation performants. Ces différents points s'intègrent dans une démarche qualité touchant les différents acteurs concernés par l'acte de construire.A cet effet, sur plus de trois ans, l'étude a accompagné la construction de deux bâtiments d'habitation collectifs, mis en place et appliqué une démarche Qualité (incluant une sensibilisation des différents acteurs et la création des outils nécessaire), réalisé l'instrumentation complète des deux sites et leur suivi sur presque deux saisons afin d'évaluer les performances obtenues.

L'étude a fourni des résultats très intéressants sur la Performance de la Ventilation et du Bâti parmi lesquels on notera particulièrement :

- La démonstration de la faisabilité du développement et de la mise en œuvre d'une démarche Qualité permettant d'améliorer les pratiques dans les domaines sensibles de l'étanchéité à l'air des bâtiments et des réseaux aérauliques et d'obtenir des résultats très satisfaisants, directement ou après corrections.
- L'appropriation par les acteurs de cette démarche pour d'autres chantiers et le fait que son surcoût diminuera d'autant plus que sa pratique sera courante.
- La création d'outils pour la sensibilisation des acteurs, la définition des tâches de chacun, guides pratiques et carnets de détails… Le guide est diffusé largement auprès des professionnels par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) et l'ensemble des outils développés lors de cette étude est disponible en téléchargement sur le site www.airh.asso.fr.
- La possibilité de suivre en continu dans une trentaine d'appartements de deux sites l'ensemble des paramètres de la ventilation (débits, pressions, températures, humidités, concentration en CO_2…) en télémétrie sur pratiquement deux saisons.
- La validation d'une très bonne performance des systèmes hygroréglables en terme de la qualité d'air intérieur (QAI), sur les problématiques liées à l'occupation humaine telles que le confinement, la suroccupation de certains appartements, l'absence de risque de condensation.
- Des gains énergétiques avérés et confirmant les calculs effectués lors des Avis Techniques par le logiciel SIREN à occupation et configuration égale.

- Le constat que les bouches bi-débit sont rarement utilisées en cuisine et jamais en WC malgré le fort intérêt qu'elles apportent dans la gestion des odeurs et de l'humidité.
- La démonstration incidente (arrêt inopiné d'un des ventilateurs) de l'impact très négatif d'une absence ou d'un arrêt temporaire de la ventilation sur les principaux critères de qualité d'air intérieur.

La conclusion principale de cette étude reste donc la faisabilité de l'obtention de ces performances à des coûts raisonnables.

Sommaire

1. Introduction 5
2. Phase 1 et 2 : formalisation et adoption d'une démarche qualité et mise en pratique sur site de cette démarche qualité 5
2.1. Démarche Qualité 5
2.2. Opération de Villeurbanne 5
2.3. Opération de Paris 5
2.4. Conclusion et Bilan financier 5
2.5. Mise en œuvre des réseaux 5
2.6. Conclusion 5
3. Phase 3 : performance énergétique et qualité d'air intérieur des systèmes hygroréglables 5
3.1. Contexte 5
3.2. Principales conclusions concernant la performance des systèmes 5
3.2.1. QAI dans les appartements 5
3.2.2. Energie 5
3.2.3. Autres conclusions 5
4. Conclusion générale 5
5. Références 5
6. Annexes électroniques 5

1. Introduction

La bonne performance (énergétique et QAI) passe par la réalisation de bâtiments et de réseaux étanches et par l'emploi d'équipements de ventilation performants. Ces différents points s'intègrent dans une démarche qualité à travers les différents acteurs concernés par l'acte de construire.

Les objectifs de l'étude « Performance de la Ventilation et du Bâti » au démarrage étaient de démontrer :

- qu'une démarche qualité peut être employée sur des sites pour valoriser les bonnes pratiques des différentes professions et améliorer les résultats obtenus sur site,
- qu'une bonne voire très bonne étanchéité (bâti et réseau) peut ainsi être obtenue, pourvu qu'un peu d'attention soit portée à la conception, à la sélection des produits, et à leur mise en œuvre,
- que des mesures correctives, simples de mise en œuvre et pérennes, devront être testées pour rattraper les défauts majeurs constatés,
- les performances atteintes en conditions réelles par les systèmes de ventilation hygroréglables.

Pour ceci, sur plus de trois ans, l'étude a accompagné la construction de deux bâtiments d'habitation collectifs, la mise en place et l'application sur ces chantiers une démarche Qualité incluant une sensibilisation des différents acteurs et la création des outils nécessaires, l'instrumentation complète des deux sites et leur suivi sur presque deux saisons afin d'évaluer les performances obtenues.

Cet ensemble s'est réparti en trois phases :

- Phase 1 : Formalisation et adoption d'une démarche qualité, création des outils…
- Phase 2 : Mise en pratique sur site de la démarche qualité incluant le suivi des opérations et la mesure sur site des performances obtenues notamment du point de vue étanchéité du bâti et des réseaux de ventilation, conformité des installations de ventilation...
- Phase 3 : Détermination de la Performance énergétique et QAI des systèmes hygroréglables

2. Phase 1 et 2 : formalisation et adoption d'une démarche qualité et mise en pratique sur site de cette démarche qualité

2.1. Démarche Qualité

La réalisation de bâtiments et de réseaux aérauliques étanches et l'emploi d'équipements de ventilation performants constituent un pré-requis pour atteindre de bonnes performances aussi bien en terme de consommations énergétiques qu'en terme de QAI (Qualité de l'Air Intérieur). Toutefois, l'observation des pratiques de terrain met en évidence des problèmes récurrents en matière d'étanchéité à l'air, qui trouvent parfois leur origine dans le processus de planification et de suivi de l'opération. De ce point de vue, l'adoption d'une démarche qualité par les différents acteurs de l'acte de construire mérite d'être explorée, par exemple dans l'esprit de l'application de l'annexe VII de la RT 2005.

Ainsi, les objectifs principaux des phases 1 et 2 du projet PREBAT-PERFORMANCE étaient de démontrer :

- qu'une démarche qualité peut être employée sur des sites pour valoriser les bonnes pratiques des différentes professions et améliorer les résultats obtenus sur site ;
- qu'une bonne voire très bonne étanchéité à l'air (bâti et réseau) peut ainsi être obtenue, pourvu qu'un peu d'attention soit portée à la conception, à la sélection des produits, et à leur mise en œuvre.

La démarche qualité élaborée dans le cadre du projet PERFORMANCE est détaillée dans le guide intitulé « Réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux : Elaboration et application d'une démarche qualité » [1] disponible sur Internet et déjà largement diffusé auprès des professionnels (le guide a été intégré dans un DVD réalisé à plus de 40 000 copies par l'ordre des architectes et diffusé aux 30 000 architectes français). Il décrit les éléments essentiels d'une démarche qualité pour assurer une bonne étanchéité de l'enveloppe et des réseaux aérauliques et fournit des exemples concrets (formulation des exigences, document de sensibilisation des entreprises, contrôles sur site, etc.) dont pourront s'inspirer des maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre. Ce guide tire également les enseignements de l'application de cette démarche sur les deux opérations de logements collectifs retenues dans le cadre du projet PERFORMANCE.

La démarche s'articule autour de points principaux qui comprennent en particulier la sensibilisation des acteurs, la conception de l'étanchéité à l'air, la vérification de

l'exécution. De façon plus détaillée, pour préciser les tâches attendues de chaque acteur (qui fait quoi ?), le Tableau 1 résume l'organigramme et la cartographie des processus que nous avons développés. Les phases retenues correspondent aux phases classiques du déroulement d'une opération, à savoir : programme, conception, DCE (dossier de consultation des entrerpises), travaux, réception, mise en service. Les acteurs identifiés sont : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre (architecte), le bureau d'étude fluides, les entreprises de construction, la société de maintenance. Chaque cellule du tableau contient une description sommaire de l'action pour laquelle l'utilisateur de la démarche trouvera plus de détails dans une feuille annexée dans le guide si le symbole 🗐 est utilisé. Le guide comprend également un livret de sensibilisation facilement utilisable par d'autres professionnels dans la mesure où ceux-ci ont quelques connaissances préalables sur le sujet.

Le projet PERFORMANCE a également mis l'accent sur le travail nécessaire au stade de la conception. Chaque liaison sensible a été analysée en détail pour les opérations retenues sur le « principe de la peau étanche et continue » (Figure 1) ***et les propositions de traitement*** (par exemple, décrites en Figure 2-Figure 3) résultent des échanges fructueux avec les entreprises générales et leurs sous-traitants. Idéalement, ces échanges auraient dû avoir lieu avec les concepteurs, mais ces opérations étant en phase chantier au début du projet, la démarche a dû être adaptée aux contraintes du terrain. Ce travail a donné naissance à un carnet de 20 détails constructifs. Dans la version présentée dans le guide [1], il a été enrichi des enseignements tirés sur les opérations de Paris et Villeurbanne. Il peut être utilisé tel quel sur des opérations dont les caractéristiques constructives sont similaires. De façon plus générale, les concepteurs pourront s'en inspirer pour des constructions de toute nature en veillant à adapter les traitements de liaisons à leurs cas particuliers.

2.2. Opération de Villeurbanne

L'opération de Villeurbanne concernait 14 logements. En phase de démarrage chantier au début du projet, les exigences ont été intégrées après la consultation des entreprises. Le reste de la démarche a été adoptée au fil de l'eau grâce à la bonne volonté de l'ensemble des acteurs. A l'issue du chantier, des tests d'étanchéité ont été réalisés sur 12 logements et 8 portions de réseaux. La médiane des perméabilités d'enveloppe mesurées est de 0.58 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ou 0.85 vol/h à 50 Pa. La somme des débits de fuite à 4 Pa divisée par la surface froide des logements testés (qui correspond à la moyenne pondérée des I4 ou Q4Pa-surf) est égale à 0.57 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa. Deux logements présentent une étanchéité décevante en raison de pénétrations de l'enveloppe sous rampant. Cependant, les remèdes sont connus et ont donc été intégrés dans les carnets de détails. Globalement, le réseau aéraulique est de classe B et le

débit de fuite est estimé à 3.2% du débit véhiculé par le réseau. Il ressort que les résultats sont excellents. Rappelons, à titre de comparaison, que :
- dans la réglementation thermique RT 2005, pour ce type de bâtiment et de système, la perméabilité à l'air de référence est égale à 1.2 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa pour l'enveloppe (prise dans sa globalité) et de 5% pour les réseaux aérauliques. Pour le label BBC-Effinergie, l'étanchéité minimale de l'enveloppe est égale à 1.0 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ;
- l'étanchéité exigée pour le label PassivHaus est de 0.6 Vol/h à 50 Pa pour l'enveloppe (prise dans sa globalité) et de 3% pour les réseaux.

2.3. Opération de Paris

L'opération de Paris concernait 80 logements dont 19 ont été sélectionnés sur une cage d'escalier pour l'expérimentation. Les logements ont été instrumentés sur cette cage à partir du 4ème étage (sur 7), celui-ci étant en cours de construction au démarrage du projet. L'adoption de la démarche s'est révélée difficile dans ce cas. A l'issue du chantier, des tests d'étanchéité ont été réalisés sur les 19 logements et 11 portions de réseau. La médiane des perméabilités d'enveloppe mesurées est de 0.90 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ou 1.20 vol/h à 50 Pa. La moyenne pondérée des I4 est de 0.83 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa. Globalement, le réseau est hors classe et le débit de fuite estimé à 12.3% du débit véhiculé par le réseau. Les résultats sur cette opération sont donc décevants, plutôt mauvais pour les réseaux, et moyens pour l'enveloppe.

2.4. Conclusion et Bilan financier

En somme, le contraste entre les deux opérations fait ressortir l'intérêt de l'adoption de la démarche qualité dans sa globalité et en amont pour faciliter son appropriation par les acteurs dans le processus de programmation, conception, réalisation et réception.

Concernant le coût de cette démarche, sa mise en place hors essais d'étanchéité est estimée à 832 € HT et à 528 € HT par logement respectivement pour les opérations de Villeurbanne et de Paris. Ce surcoût a été réévalué par l'entreprise GFC à 370 € par logement grâce à une meilleure adaptation des pratiques de chantier vis-à-vis des objectifs visés en termes d'étanchéité à l'air. Il est même estimé à 270 € HT par logement pour des bâtiments isolés par l'extérieur. Ce faible surcoût a conduit les constructeurs concernés à envisager à terme la généralisation de cette démarche à l'ensemble de leur production. Notez que, de sa propre initiative, l'équipe travaux de l'opération Villeurbanne a d'ores et déjà systématisé cette démarche sur ses chantiers. Elle l'a récemment appliquée sur une opération de logements avec isolation par l'extérieur.

2.5. Mise en œuvre des réseaux

Enfin, le guide comprend une analyse des fuites aérauliques ainsi qu'une description de procédures à adopter pour améliorer la mise en œuvre des réseaux aérauliques. Ces éléments ont été rédigés à partir d'analyses bibliographiques et d'enquêtes menées auprès d'une dizaine de professionnels tels que des installateurs et des bureaux d'études.

2.6. Conclusion

En conclusion, les phases 1 et 2 du projet PERFORMANCE ont confirmé la pertinence de l'adoption d'une démarche qualité pour améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux. Les résultats sont extrêmement encourageants à l'échelle des opérations du projet et bien au-delà puisque les entreprises générales engagées dans le projet envisagent de généraliser la démarche dans leur production. La perspective de généralisation est confirmée par le fait que de sa propre initiative, une des équipes travaux engagée dans PERFORMANCE adopte systématiquement cette démarche. L'élaboration et la dissémination du guide sur lequel nous avons des retours extrêmement positifs devraient permettre de démultiplier l'impact du projet, d'autres professionnels pouvant aisément se l'approprier pour développer des démarches similaires adaptées aux types de bâtiments qu'ils produisent et à leur contexte organisationnel.

Acteur → Phase ↓	Maître d'ouvrage	Architecte	Bureau d'études fluides	Entreprises	Société de maintenance
Programme	Formaliser les objectifs de performance de l'opération				
Conception	Validation du document PROJET intégrant les exigences d'étanchéité à l'air à l'issue de cette phase	Limiter le nombre de pénétrations de l'enveloppe Limiter les longueurs de conduits S'assurer de la continuité de la prise en compte de l'étanchéité à chaque phase (APS, APD, PRO) Détailler le traitement de toutes les liaisons sensibles	Évaluer l'impact énergétique de la perméabilité à l'air		
DCE		Détailler le traitement des liaisons sensibles pour chaque lot Préciser dans le cahier des prescriptions communes et dans chaque lot l'exigence d'étanchéité Préciser les modalités de contrôle en cours de chantier et à la réception pour chaque lot Sélectionner des entreprises qualifiées			
Réalisation		Faire un planning d'exécution et de contrôle		Réaliser les travaux conformément aux	

		Sensibiliser les entreprises Faire les contrôles en cours de chantier Proposer des corrections si nécessaire		préconisations du CCTP, aux carnets de détails et aux plans d'exécution Réaliser les actions correctives si nécessaire	
Réception	S'assurer de l'atteinte des objectifs prévus au programme S'assurer de la fourniture des documents DOE et DIUO	Faire un contrôle à la réception et proposer des corrections si nécessaire		Réaliser les ultimes actions correctives si nécessaire	
Mise en service / Maintenance					S'assurer de la conformité de l'installation vis-à-vis des DOE et DIUO Réaliser les opérations de maintenance

Tableau 1 : Organigramme et cartographie des processus de la démarche qualité développée dans le projet PERFORMANCE

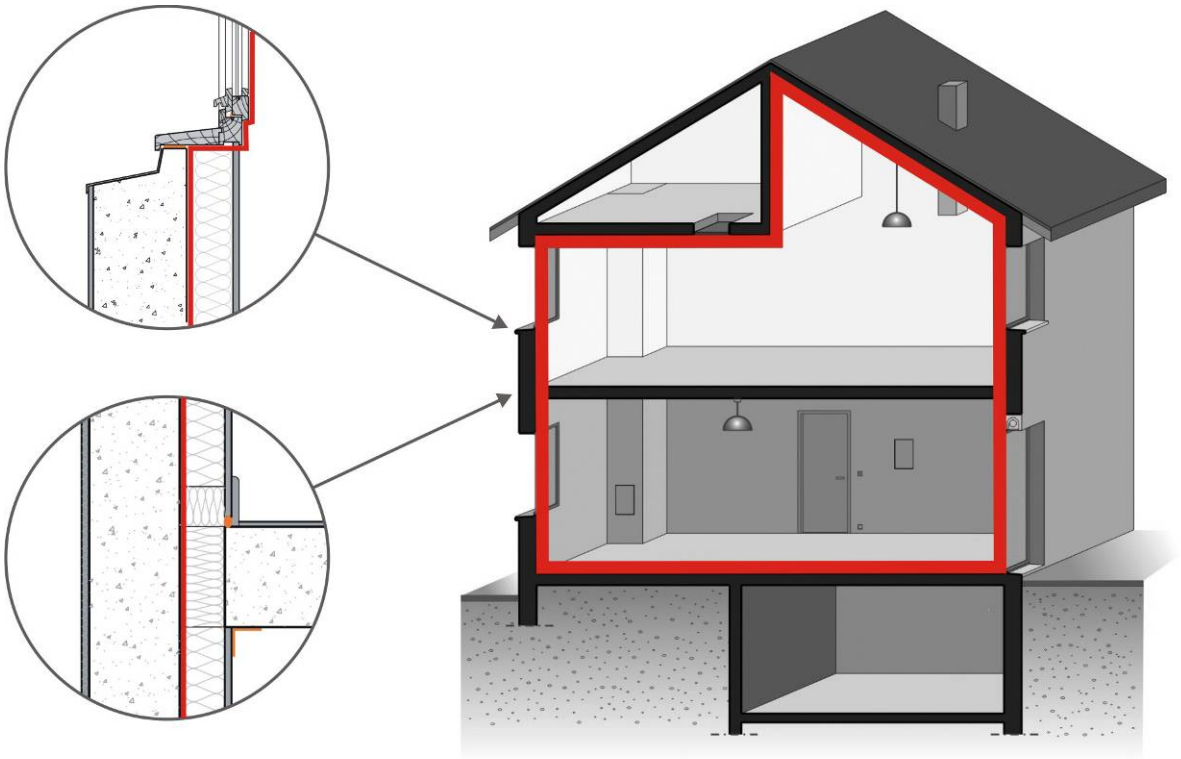


Figure 1 : Illustration du principe de la peau étanche et continue

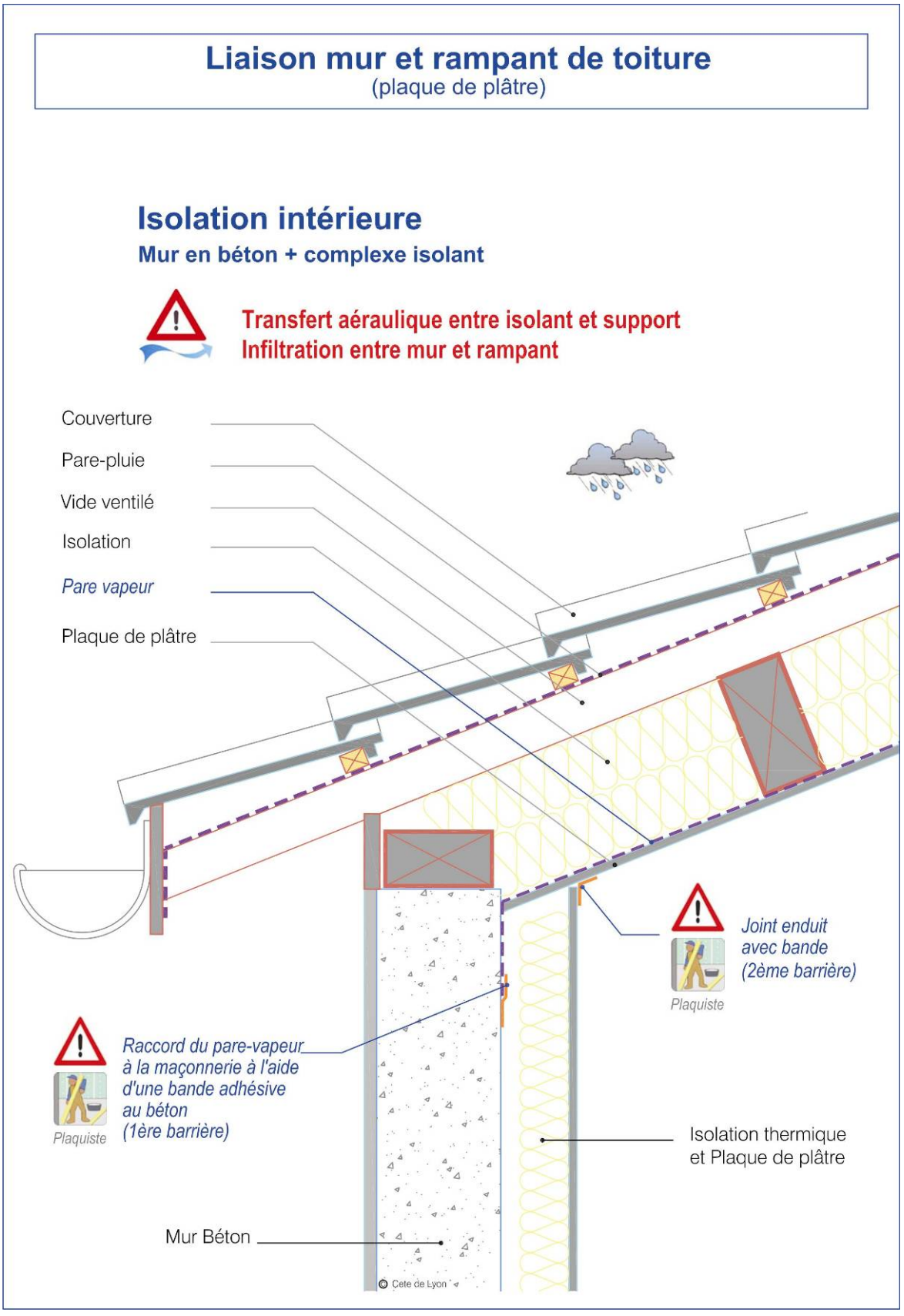


Figure 2 : Liaison mur et rampant de toiture

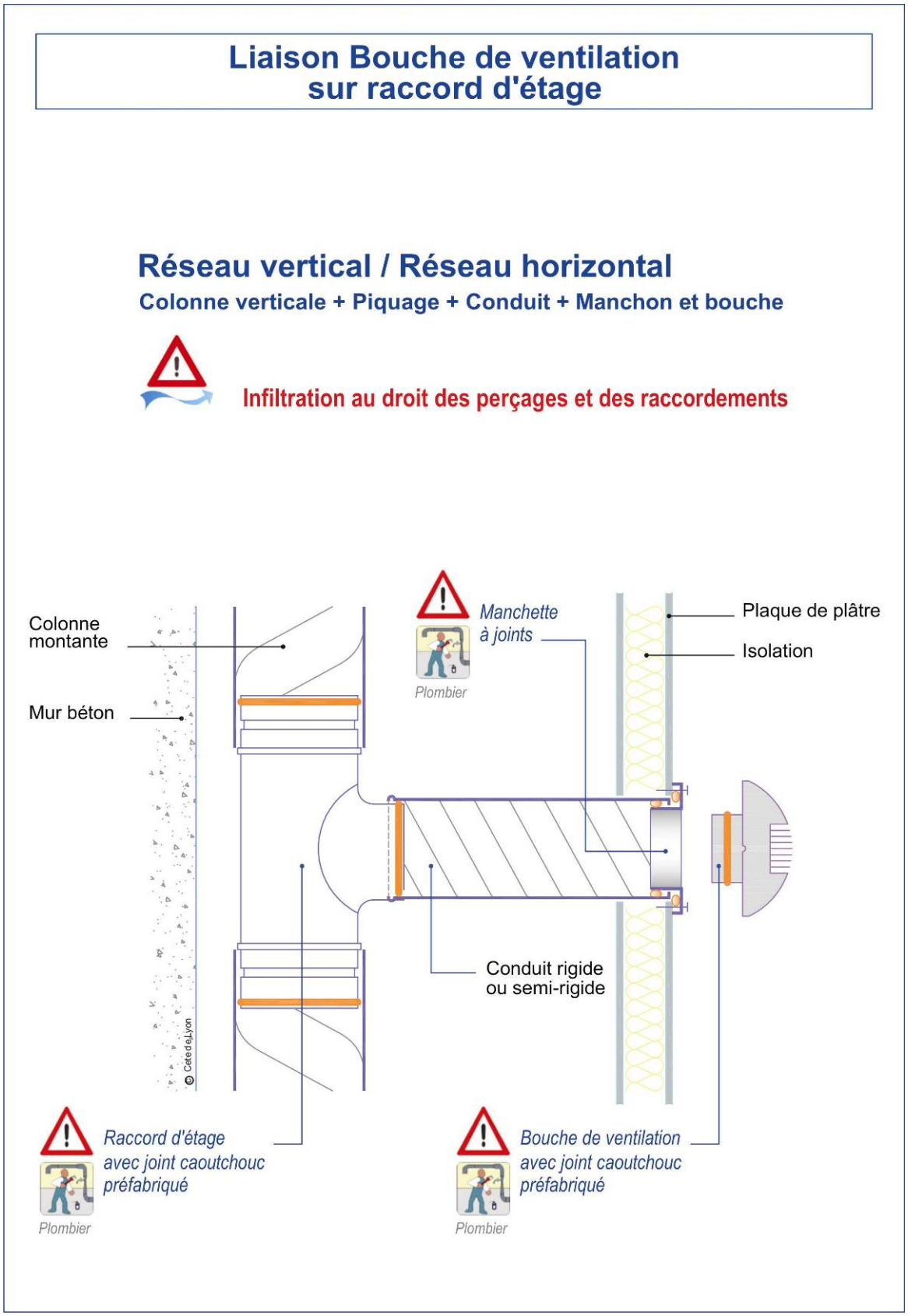


Figure 3 : Liaison bouche de ventilation sur réseau aéraulique

3. Phase 3 : performance énergétique et qualité d'air intérieur des systèmes hygroréglables

3.1. Contexte

Dans cette Phase 3 du projet PREBAT-Performance (2008-2010), le but est d'évaluer sur site les performances (QAI et énergie) des systèmes de ventilation hygroréglables. La préparation des mesures (câblage des appartements, étalonnage et installation des capteurs) ainsi que les essais validant la perméabilité à l'air du bâti et le bon fonctionnement de la ventilation ont été réalisés en phase 2 et ont permis en phase 3 de lancer l'évaluation des performances de ces systèmes.

Les deux sites sont des constructions neuves, locatives type HLM, de perméabilité bâti assez bonne (en moyenne i4=1,07 $m^3/h/m^2$ @ 4Pa à Paris et 0,6 à Lyon, la limite BBC-Effinergie étant actuellement de 1).



1 & 2 - précablage des capteurs dans l'immeuble | 3 - centrale acquisition | 4 - capteur de pression intégré | 5 - étalonnage capteurs | 6 - météo

Les acquisitions ont démarré en septembre 2007 sur le site parisien et en janvier 2008 sur le site lyonnais, dès que les appartements ont été occupés et se sont poursuivies pratiquement jusqu'en fin de saison de chauffe 2009 (analyse des données acquises jusqu'au 30 avril 2009).

3.2. Principales conclusions concernant la performance des systèmes

Les résultats détaillés des mesures sont donnés dans l'annexe « Phase 3, rapport final », nous rappellerons simplement ici les principales conclusions

3.2.1. QAI dans les appartements

Les mesures réalisées sur les sites permettent de noter la bonne QAI dans les appartements vis-à-vis des bioeffluents humains (mesures de concentration en CO_2). ***Dans l'ensemble des appartements, on constate de faibles niveaux de CO_2, et ce malgré de fortes suroccupations, indiquant une bonne réaction des systèmes hygroréglables installés à l'occupation humaine.*** Les systèmes permettent même d'obtenir des résultats encore très bons dans des chambres suroccupées (jusqu'à 4 adultes par chambre). Les entrées d'air réagissent à l'occupation (CO_2 et humidité) en s'ouvrant et permettant ainsi d'augmenter le débit dans les pièces effectivement occupées.

La problématique du confinement dans les chambres lorsque les occupants ferment leur porte a été récemment mise en évidence par les travaux de l'observatoire de la QAI dans de nombreux logements du parc français (tout âge et tout type de ventilation). ***Les résultats des mesures montrent que les systèmes hygroréglables, en ouvrant l'entrée d'air en réaction à l'humidité relative et au CO_2 produits par les occupants, permettent de ventiler ces chambres au-delà même du débit fixé par l'arrêté du 24 mars 1982, réduisant de fait le confinement, dans des chambres suroccupées comme dans des chambres de 2 personnes.***
Les comparaisons des résultats des simulations à ceux des mesures ont également montré que les taux de CO2 émis la nuit dans les chambres d'enfants pouvaient atteindre 13 l/h/enfant et non simplement 11 l/h/enfant comme le prévoient les calculs du RSDT dans les établissements d'enseignement en journée (enfants actifs) et ayant conduit aux valeurs de 15 m^3/h/enfant. Cette remarque n'est pas statistiquement représentative (trop peu de cas) mais pourrait confirmer certaines remarques de spécialistes de la santé indiquant que les enfants respirent plus vite et de ce fait émettent presque autant de CO2 que les adultes malgré une capacité respiratoire plus faible.

Les résultats sur l'humidité sont également très bons et montrent des risques de condensation très faibles, presque négligeables, sauf dans un cas d'installation d'un sèche linge en WC, pièce non suffisamment ventilée pour une telle production d'humidité. Les comparatifs avec les calculs du logiciel SIREN, utilisé pour évaluer la QAI dans les logements lors de l'instruction des Avis Techniques montrent que ce dernier surévalue les risques de condensation, ce qui peut être dû aux scénarii de production d'humidité qu'il utilise, aux calculs ou encore à la prise en compte de l'effet tampon, de l'ouverture des portes intérieures, de l'ouverture des fenêtres, et serait à regarder plus en détail.

L'arrêt inopiné de la ventilation sur le site de Lyon pendant un mois d'hiver a permis de montrer la forte dégradation de la QAI pendant cette période (***confinement*** pendant la majeure partie du temps à 1900 ppm et plus de CO2, ***très forte augmentation des risques de condensation*** en nombre dans les pièces humides) ***sans que les occupants n'aient ressenti ce confinement ni tenté d'y pallier en ouvrant plus les fenêtres pour s'aérer***.

Analyse complémentaire des débits mini/maxi atteints dans les logements en période de chauffage :

Les systèmes hygroréglables modulent le débit en fonction de l'occupation et des activités des occupants. Les variations peuvent être importantes. Une analyse des débits mini et maxi atteints en saison de chauffe a été conduite pour observer les amplitudes des variations.

Le Tableau 2 et le Tableau 3 ci-dessous synthétisent les niveaux obtenus sur une saison de chauffage, sur chacun de deux sites du projet, en fonction des types de logements (on présente ici uniquement les F3 et les F4, qui sont les plus nombreux – le rapport de la phase 3 présente en détail les résultats pour chaque logement de chaque site).

Site de Paris (2007-2008)	**Débit MIN (m^3/h)**	**Débit MAX (m^3/h)**
*Logements type **F3** (en moyenne)*	***31***	***146***
*Logements type **F4** (en moyenne)*	***37***	***196***

Tableau 2 : Débits minimum et maximum atteints sur le site de Paris sur une saison de chauffe : F3 et F4

Site de Lyon (2008-2009)	**Débit MIN (m^3/h)**	**Débit MAX (m^3/h)**
*Logements type **F3** (en moyenne)*	***35***	***128***
*Logements type **F4** (en moyenne)*	***37***	***147***

Tableau 3 : Débits minimum et maximum atteints sur le site de Lyon sur une saison de chauffe : F3 et F4

En première analyse, il ressort :

- une forte amplitude entre débit min et débit max, pour un même type de logement (et pour un même logement – cf. résultats détaillés en Annexes) : elle traduit la bonne adaptation des systèmes hygroréglables aux fortes variations d'occupation et d'usage des logements ;
- des débits mini qui restent bien suffisants pour maintenir une ventilation minimale utile pour la conservation du bâti même lorsque le logement n'est pas occupé, tout en limitant les consommations d'énergie en période de chauffe ;
- des débits maxi parfois élevés, qui correspondent à des besoins forts en terme d'occupation ou d'activité dans les logements.

Dans les Annexes A et B, les tableaux précédents sont détaillés par logement.

3.2.2. Energie

La Figure 4 et la Figure 5 récapitulent les débits moyens par appartement comparés au débit de l'arrêté du 24 mars 1982 modifié, sur les deux saisons de chauffage.

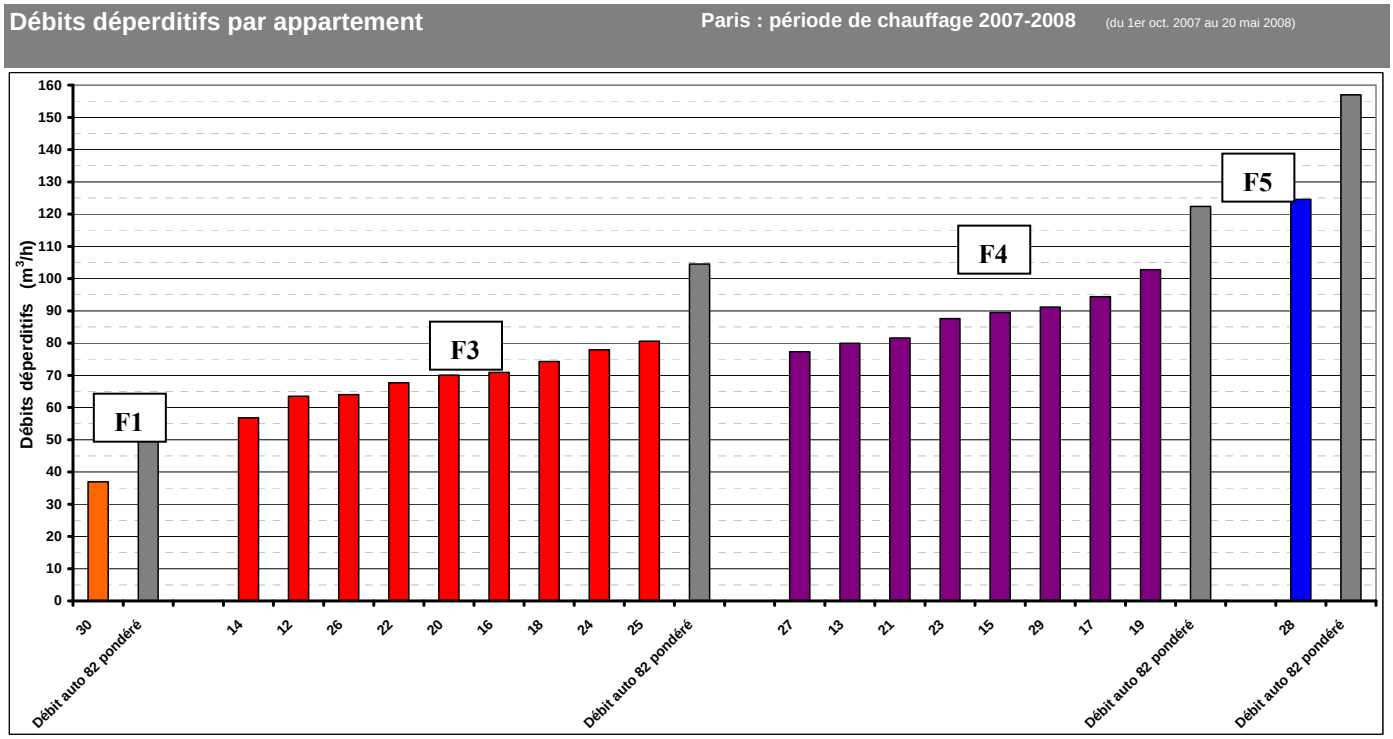


Figure 4 : débits moyens déperditifs (saison 2007-2008) par appartements comparés aux débits pondérés de mars 1982 sur le site de Paris.

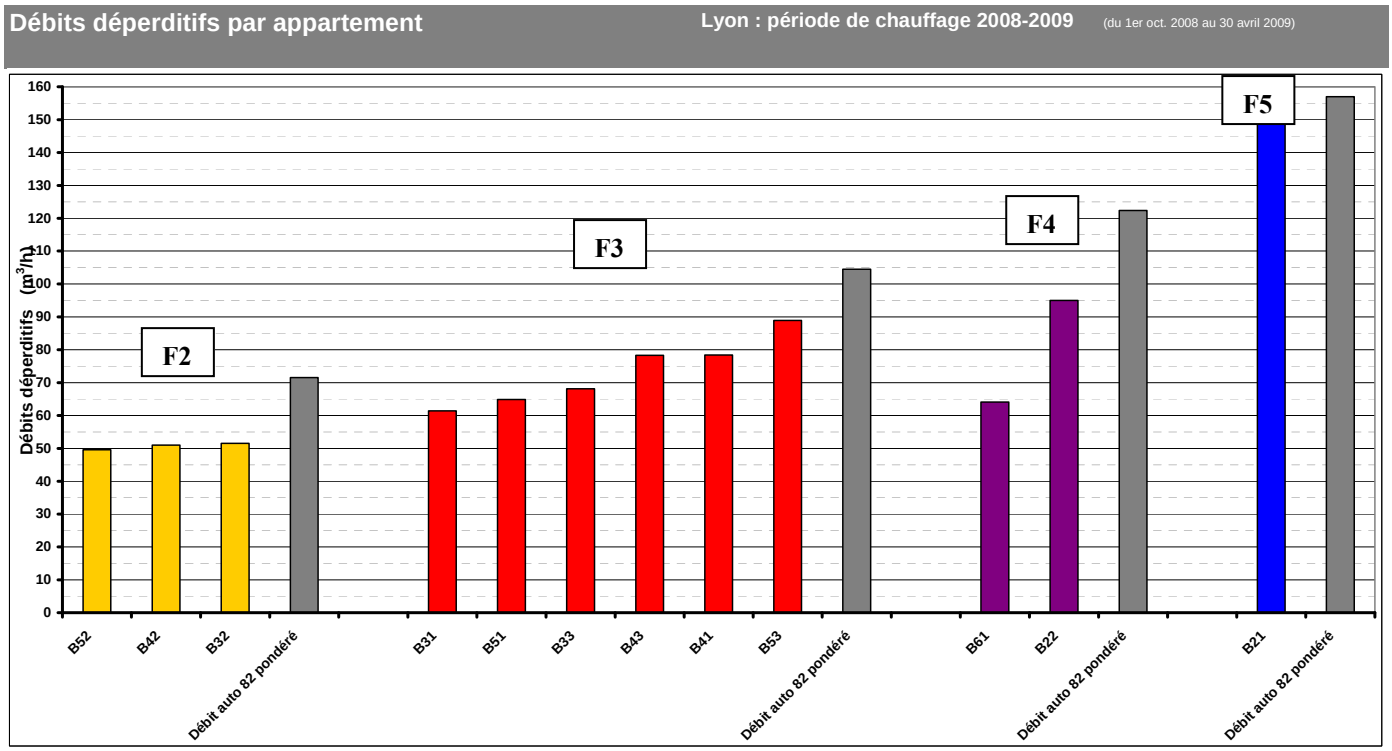


Figure 5 : débits moyens déperditifs (saison 2008-2009) par appartement comparés aux débits pondérés de mars 1982 sur le site de Lyon

On note que les débits moyens sont très variables selon l'occupation, l'usage des appartements (comportement des occupants vis-à-vis de l'ouverture des fenêtres, productions d'humidité…). C'est tout à fait normal puisque les systèmes modulants, par essence, modulent et s'adaptent selon ces usages.

Quelques points sont à noter :

- La forte suroccupation des logements. Si les systèmes hygroréglables amènent des améliorations de QAI en cas de confinement ou de forte occupation, ils ont par contre des gains énergétiques moins forts dans ces cas là. Les débits déperditifs peuvent être réduits de 50 % dans certains cas (ex : F4 B61 sur le site de Lyon) mais peuvent aussi parfois aller jusqu'à 84 % aux débits auto réglables pondérés (ex : F4 19 du site de Paris).
- Les bouches WC du site de Paris qui étaient équipées de détecteurs de présence étaient largement ouvertes sur la 1ère saison, du fait probable que les occupants laissaient ouvertes les portes (déclenchement sur passage dans le couloir), le débit moyen restant cependant en dessous de 15 m^3/h généralement. A contrario, les bouches bi-débit à déclenchement manuel du site de Lyon ne sont, elles, jamais déclenchées et sont donc restées en débit minimum.
- L'instrumentation pour l'étude des bouches à détection de présence a créé des fuites de courant et déchargé les piles prématurément. Ceci a induit sur la seconde saison des bouches restées bloquées en position ouverte ou fermée. De ce fait, nous excluons cette saison de l'interprétation des résultats du site de Paris.
- La première saison de chauffe étant incomplète sur le site de Lyon (débuté en janvier 2008), celle-ci a été exclue de l'interprétation des résultats du site de Lyon.

Du fait que les gains énergétiques varient entre les saisons, les occupations et les usages, il est important pour l'analyse de savoir si le logiciel SIREN qui calcule les débits déperditifs utilisés dans les Avis Techniques prévoit correctement ces gains. Il faut rappeler que ces derniers sont basés sur les occupations moyennes du parc et sur les fichiers météo officiels, moyennés sur 30 ans, permettant de s'affranchir des saisons plus ou moins clémentes. ***SIREN donne donc un calcul en conditions moyennes, ce qui est statistiquement représentatif sur le parc françai***s. Pour évaluer si ces gains sont réalistes, nous avons recalculé avec SIREN mais avec notre météo et nos conditions réelles (géométrie des appartements, occupations) les valeurs de débits déperditifs et nous les avons comparés aux moyennes mesurées (sur la 1ère saison à Paris et sur la 2nde à Lyon) sur les deux saisons, ceci sur les appartements F3 et F4 dont on a un nombre plus important à défaut d'être représentatif pour juger des écarts d'usage.

On note une très bonne concordance entre les estimations de SIREN et les cas mesurés malgré cette forte variabilité d'usage (

	Paris						Lyon				Total Pondéré
	F3 2 pers.	F3 3 pers.	F3 4 pers.	F3 6 pers.	F4 4 pers.	F4 5 pers.	F3 2 pers.	F3 3 pers.	F3 4 pers.	F4 4 pers.	
Nombre d'appartements recensés	1	1	4	1	4	2	1	3	1	1	19
débits de 1982 pondérés	105	105	105	105	122	122	105	105	105	122	
Siren avec occupation réelle	55	61	67	78	82	89	48	54	59	59	
Gain calculé avec SIREN	47%	41%	36%	26%	33%	28%	54%	49%	44%	52%	39%
Mesurés (moyenne)	57	74	73	81	84	97	65	78	61	95	
Gain calculé avec les mesures	46%	29%	30%	23%	31%	21%	38%	25%	41%	22%	30%

Tableau 4).

	Paris						Lyon				Total Pondéré
	F3 2 pers.	F3 3 pers.	F3 4 pers.	F3 6 pers.	F4 4 pers.	F4 5 pers.	F3 2 pers.	F3 3 pers.	F3 4 pers.	F4 4 pers.	
Nombre d'appartements recensés	1	1	4	1	4	2	1	3	1	1	19
débits de 1982 pondérés	105	105	105	105	122	122	105	105	105	122	
Siren avec occupation réelle	55	61	67	78	82	89	48	54	59	59	
Gain calculé avec SIREN	47%	41%	36%	26%	33%	28%	54%	49%	44%	52%	39%
Mesurés (moyenne)	57	74	73	81	84	97	65	78	61	95	
Gain calculé avec les mesures	46%	29%	30%	23%	31%	21%	38%	25%	41%	22%	30%

Tableau 4 : comparaison des débits moyens déperditifs mesurés et calculés avec SIREN

Sur l'occupation réelle et forte relevée, on constate sur le projet un gain mesuré de 29,5 % en débits déperditifs sur l'ensemble des appartements et sur les deux saisons considérées. La très bonne concordance entre mesures et calculs permet de conclure à la bonne prévision de SIREN du débit déperditif obtenu, qui pour des occupations correspondant à la moyenne du parc des logements français permet d'obtenir des gains de 50 à 55%.

<u>Analyse complémentaire des températures des logements en période de chauffage :</u>

S'agissant des déperditions, il a paru intéressant de conduire une analyse sur les températures des logements en période de chauffage, notamment dans le but de sensibiliser les utilisateurs à l'impact énergétique de ce paramètre sur lequel ils peuvent agir.

Ainsi, le Tableau 5 synthétise les niveaux obtenus sur une saison de chauffe (2007-2008 pour Paris, 2008-2009 pour Lyon), sur chacun de deux sites du projet, en fonction des types de pièces :

Pièces de vie (séjours, chambres)	**Paris**	**Lyon**
Température moyenne	***22,2 °C***	***20,6 °C***
*Température minimale**	*17,8 °C*	*17,1 °C*
*Température maximale**	*27,7 °C*	*24,9 °C*

Pièces techniques (cuisines, SDB, WC)	Paris	Lyon
Température moyenne	***24,2 °C***	***22,0 °C***
*Température minimale**	*20,8 °C*	*19,5 °C*
*Température maximale**	*27,9 °C*	*25,1 °C*

** : Température minimale (maximale) sur une heure de la moyenne des pièces (principales ou techniques)*
Les températures sont mesurées en hauteur, à environ 20-30 cm du plafond, d'où une légère majoration des valeurs ci-dessus par rapport à une valeur à 1,5 ou 1,8 m (de l'ordre de 0,5 °C maximum)

Tableau 5 : Températures obtenues sur les sites de Paris et de Lyon pour les pièces de vie et les pièces techniques

Les températures observées ne paraissent pas excessives, il ne faut pas oublier l'impact des apports internes et solaires, notamment sur les températures maximales atteintes et par voie de conséquence sur les températures moyennes des logements. Il n'est pas toujours aisé de détecter les logements dans lesquels le chauffage est fortement ralenti voire arrêté pendant certaines périodes, compte tenu notamment du fait qu'il s'agit d'immeubles collectifs, avec des transferts de chaleur entre logements.

Enfin, la consommation des ventilateurs est un poste auxiliaire mais de plus en plus sensible vis-à-vis de la performance énergétique. Les deux systèmes hygroréglables employés sur ces sites ont permis de réduire respectivement de 50 et de 35% cette puissance par rapport à la référence de la RT2005, ceci grâce à :

- Des gains liés à la baisse du débit moyen.
- Des gains liés à la performance des caissons qui sont dits « basse consommation » et régulés par un contrôle de vitesse à pression constante.

3.2.3. Autres conclusions

Le projet permet aussi d'évaluer divers éléments de fonctionnement et de dimensionnement des systèmes hygroréglables :

- Le foisonnement calculé dans les Avis Techniques reste supérieur à celui constaté ce qui signifie qu'on ne risque pas de sous-dimensionnement actuellement.
- Les bouches bi-débit sont rarement utilisées en cuisine et jamais en WC malgré le fort intérêt qu'elles apportent dans la gestion des odeurs et de l'humidité. Les occupants ne sont généralement pas sensibles à cette option bien qu'ayant été sensibilisés en début d'étude.
- Les bouches hygroréglables répondent instantanément à l'augmentation de l'humidité dans les pièces humides (Figure 6). Elles permettent ainsi un contrôle de l'humidité et

une limitation des risques de condensation. Elles fonctionnent généralement plus fermées en hiver qu'en été, ce qui limite les déperditions. Quelle que soit la saison, elles peuvent atteindre les débits requis lorsque l'humidité dans le local le nécessite.

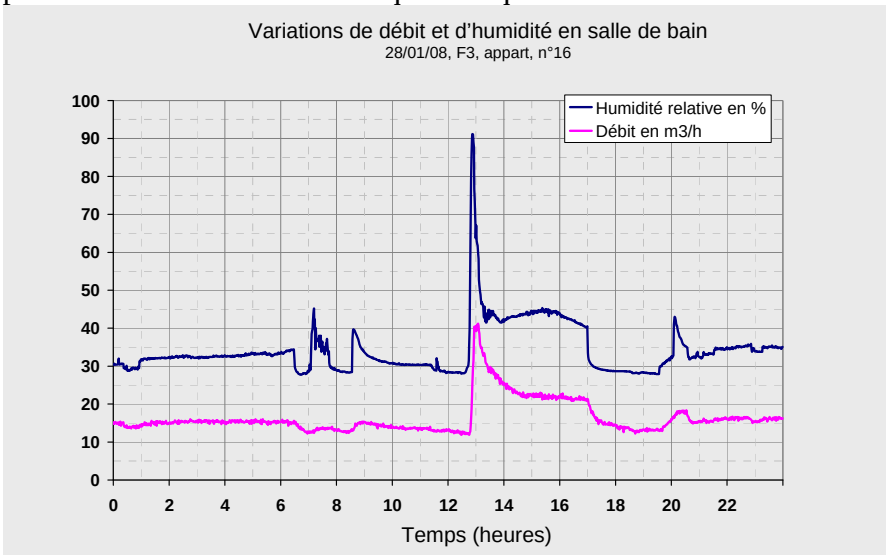
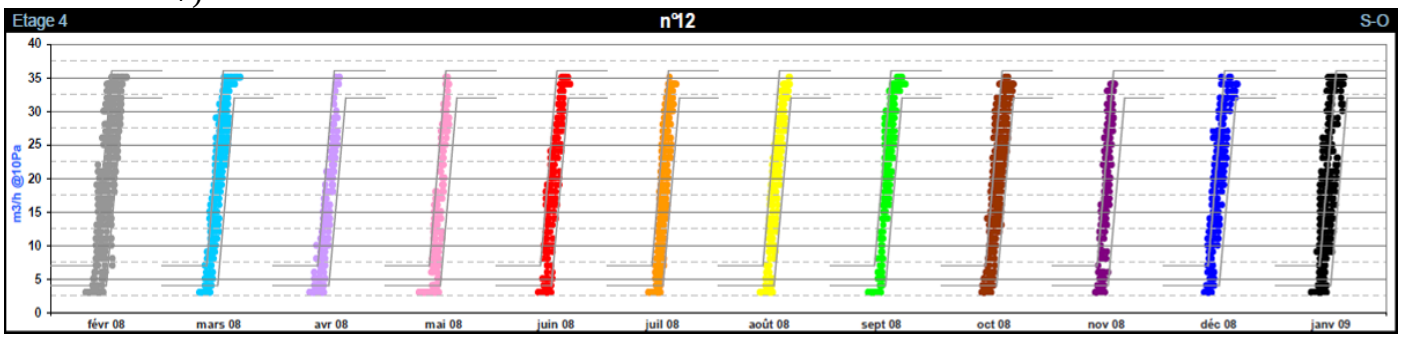


Figure 6 : exemple de réponse instantanée des bouches hygroréglables aux variations d'humidité (salle de bain de l'appartement n°16, le 28/01/2008)

- Les entrées d'air hygroréglables répondent bien à l'humidité relative dans la pièce de vie concernée et à l'occupation de cette dernière. Elles permettent d'augmenter le débit des chambres en cas de suroccupation et de limiter ainsi le confinement (Figure 7)



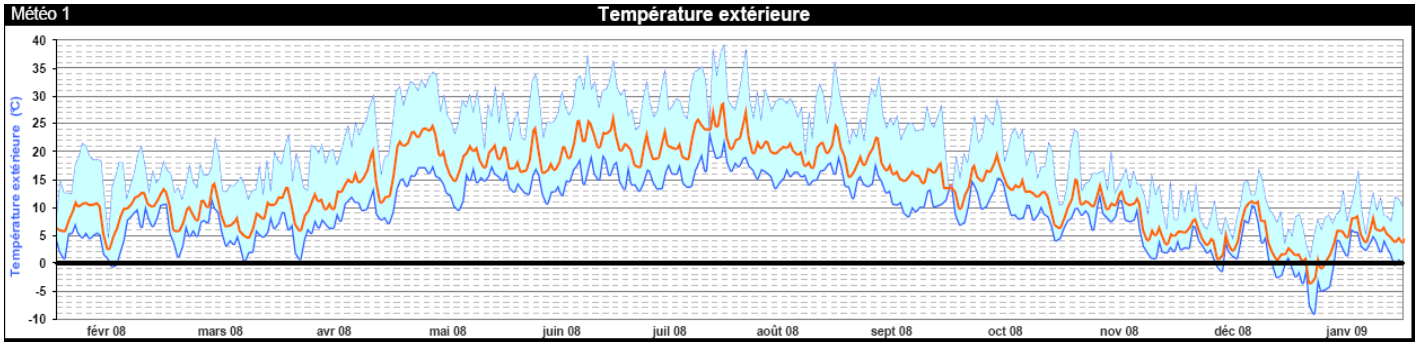


Figure 7 : exemple de comportement hygroréglable de l'entrée d'air de la chambre de l'appartement n°22 (2 premières semaines pour chaque mois) et évolution des températures extérieures (mini, maxi et moyenne en orange) du 1er février 2008 au 31 janvier 2009

3.2.4. Suites possibles de la phase 3

En perspectives pour le futur on peut envisager, découlant de ce projet :

- De pouvoir exploiter davantage les résultats des mesures notamment pour encore affiner les simulations et calculs SIREN bien que ces derniers donnent des résultats plutôt satisfaisants.
- De pouvoir continuer les mesures en cours à la demande des OPAC concernés qui sont intéressés à voir l'évolution dans le temps des paramètres suivis.
- De noter la nécessité d'agir le plus automatiquement possible sur les débits de ventilation, car les occupants utilisent peu, voire pas du tout, la possibilité de passage à grand débit en cuisine. Les bouches bi-débit sont fortement demandées par les maîtres d'ouvrages et présentent des fonctions intéressantes pour une meilleure gestion des flux d'air mais sous réserve d'être réellement utilisées en débit de pointe lorsque nécessaire. Concernant les bouches à détection de présence, une évoluation est nécessaire pour éviter de détecter des passages dans le couloir en cas de porte laissée ouverte.

4. Conclusion générale

L'étude Performance a fourni des résultats très intéressants sur la Performance de la Ventilation et du Bâti parmi lesquels on notera particulièrement :

- La démonstration de la faisabilité du développement et d'une mise en œuvre d'une démarche Qualité permettant d'améliorer les pratiques dans les domaines sensibles de l'étanchéité à l'air des bâtiments et des réseaux aérauliques et d'obtenir des résultats satisfaisants directement ou après corrections.
- L'appropriation par les acteurs de cette démarche pour d'autres chantiers et le fait que son surcoût diminuera d'autant plus que sa pratique sera généralisée.
- La création d'outils pour la sensibilisation des acteurs, la définition des tâches de chacun, guides pratiques et carnets de détails… Le guide est diffusé largement auprès

des professionnels par le CETE et l'ensemble des outils développés lors de cette étude sont disponibles en téléchargement gratuit sur le site www.airh.asso.fr.

- La possibilité de tester dans une trentaine d'appartements de deux sites l'ensemble des paramètres de la ventilation (débits, pressions, températures, humidités, concentration en CO2…) en télémétrie sur pratiquement deux saisons.
- La validation d'une très bonne performance des systèmes hygroréglables en QAI, sur les problématiques liées à l'occupation humaine telles que le confinement, la suroccupation de certains appartements…
- L'absence presque totale de risques de condensations lorsque ces systèmes sont employés.
- Des gains énergétiques avérés et confirmant les calculs effectués lors des Avis Techniques par le logiciel SIREN à occupation et configuration égale.
- Le constat que les bouches bi-débit sont rarement utilisées en cuisine et jamais en WC malgré le fort intérêt qu'elles apportent dans la gestion des odeurs et de l'humidité.
- La démonstration incidente (arrêt inopiné d'un des ventilateurs) de l'impact très négatif d'une absence ou d'un arrêt temporaire de la ventilation sur les principaux critères de qualité d'air intérieur.

Ces deux bâtiments sont devenus de véritables « laboratoires embarqués » de la ventilation et peuvent contribuer à perfectionner les connaissances dans ce domaine.
L'étude a montré qu'une bonne prise en main par la maitrise d'ouvrage et la maitrise d'œuvre de ces problématiques permet l'obtention d'une bonne étanchéité à l'air du bâti et des réseaux aérauliques. Ces conditions sont nécessaires au bon fonctionnement des systèmes de ventilation mécanique hygroréglable, lesquels sont alors caractérisés par des performances établies et réelles.

La conclusion principale de cette étude reste donc la faisabilité de l'obtention de ces performances à des coûts raisonnables.

5. Références

[1] CETE de Lyon, AIR.H. ***Réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux - Elaboration et application d'une démarche qualité.*** Rapport CETE n° CT69-DVT/RE 08 32 FR. Version Avril 2009. Disponible en ligne sur le site du CETE de Lyon.

6. Annexes électroniques

Sont fournis sur le CD joint en annexes électroniques, les documents suivants :

- Annexe 1 : Rapport final des phases 1 et 2
- Annexe 2 : Rapport final de la phase 3