

Projet HR-VENT : Mise en œuvre et mesure des performances d'un système de ventilation hygroréglable en rénovation avec assistance mécanique très basse pression.

Rapport d'expérimentation



Une opération menée en partenariat avec :



Ce document est extrait du rapport "Mise en œuvre et mesure des performances d'un système de ventilation hygroréglable en rénovation avec assistance mécanique très basse pression"¹, réalisé par Aereco en collaboration avec le CSTB dans le cadre du contrat ADEME n° 02.04.112.

Toute reproduction partielle ou intégrale de ce document est soumise à autorisation expresse d'Aereco SA. Toute reproduction, même partielle, devra faire mention des auteurs (le CSTB et Aereco), ainsi que son financeur (l'ADEME).

Auteurs :

Stéphane BERTHIN (Aereco)
Bernard COLLIGNAN (CSTB)
Patrick O'KELLY (CSTB)
Jean-Luc SAVIN (Aereco)
Jean-Georges VILLENAVE (CSTB)

¹ N° de rapport CSTB : DDD-DE-VAI 06-054R

Résumé :

Améliorer la qualité de l'air intérieur tout en réduisant les dépenses d'énergie liées au renouvellement de l'air constituent aujourd'hui deux objectifs majeurs de l'habitat, dans la construction neuve comme en rénovation. En combinant composants hygroréglables et assistance mécanique très basse pression, le nouveau système de ventilation hybride mis en œuvre dans le cadre du projet HR-VENT vise à concilier ces objectifs. Réalisé en Seine et Marne à NANGIS, HR-VENT est une expérimentation conduite en milieu occupé dont le caractère exceptionnel réside aussi bien dans la dimension que dans les moyens de mesure engagés. Avec plus de 700 millions de valeurs enregistrées durant deux années sur 55 logements, l'expérimentation a non seulement permis de mesurer l'efficacité de ce nouveau système ; elle a également contribué à enrichir la connaissance du fonctionnement de la ventilation naturelle et hybride en habitat collectif. De janvier 2004 à décembre 2005, les valeurs d'humidité relative, température, pression et débit d'air extrait ont été enregistrées chaque minute dans la cuisine et dans les pièces sanitaires à l'aide de capteurs développés spécifiquement. Directement liées aux données météorologiques, ces mesures ont permis d'évaluer les performances de la ventilation hygroréglable et l'apport de l'assistance mécanique ; elles ont également déterminé la capacité du système de ventilation à améliorer la qualité d'air intérieur et à maîtriser les déperditions thermiques. Mené en collaboration avec des partenaires institutionnels majeurs tels que le CSTB et Gaz De France, HR-VENT ouvre la voie au développement de solutions de ventilation innovantes pour les immeubles résidentiels.

Sommaire

1. Le projet.....	7
1.1 Objectifs du projet.....	8
1.2 Opportunités et intérêts du projet.....	8
1.3 Partenaires.....	9
2. Le système de ventilation	10
2.1 Le système de ventilation hygroréglable	11
2.2 L'assistance mécanique très basse pression.....	14
3. Le site.....	16
3.1 Caractéristiques des bâtiments.....	17
4. Instrumentation et système de mesure	19
4.1 Choix des bâtiments	19
4.2 Organes de mesures	21
4.3 Une conception originale pour des capteurs innovants et précis	22
4.4 Gestion des données.....	26
4.5 Actions sur le système de ventilation	27
5. Tests et Diagnostics préliminaires.....	28
6. Installation du système	30
6.1 Installation des ventilateurs d'assistance	32
6.2 Installation des stations météorologiques.....	33
7. Communication	34
7.1 Communication locataires.....	34
7.2 Communication institutionnelle	34
8. Conditions climatiques extérieures pendant le suivi	37
8.1 Température extérieure	37
8.2 Hygrométrie (absolue) extérieure	38
8.3 Hygrométrie (relative) extérieure.....	40
8.4 Vent.....	41
8.5 Conclusion partielle.....	46
9. Apports de la modulation hygroréglable.....	47
9.1 Fonctionnement théorique.....	47
9.2 Comportement instantané et réactivité de l'hygroréglable.....	48
9.3 Comportement statistique et évolution saisonnière	48
9.4 Un débit instantané adapté aux besoins ponctuels à chaque instant	50
9.5 Effet régulateur de l'hygroréglable sur les débits.....	51
9.6 L'Humidité, révélateur de l'activité dans le logement	56
9.7 Equilibrage des débits entre étages	58
9.8 Impact énergétique.....	59
9.9 Fiabilité des grilles hygroréglables.....	59

9.10	Conclusion partielle	61
10.	Apport de l'assistance mécanique basse pression.....	62
10.1	Ventilateur VBP en service - Pressions aux appareils à gaz raccordés.....	62
10.2	Performances du ventilateur VBP à l'arrêt	69
10.3	Encrassement réduit et maintenance.....	72
11.	Comparaison STATISTIQUE des différents systèmes.....	73
11.1	Ventilation naturelle fixe.....	73
11.2	Ventilation fixe assistée.....	74
11.3	Ventilation naturelle hygroréglable.....	74
11.4	Ventilation hygroréglable assistée	75
11.5	Synthèse tous logements.....	80
11.6	Conclusion partielle	80
12.	Qualité du renouvellement d'air.....	81
12.1	Satisfaction des occupants.....	81
12.2	Débits extraits par le système de ventilation hygroréglable assistée	86
12.3	Evaluation des risques de condensations	100
13.	Conclusions et perspectives.....	103

Présentation

1. Le projet

Dans le contexte actuel de renforcement des politiques énergétiques tant sur le plan national qu'international et dans le cadre de la lutte contre le réchauffement de la planète lié à la production de gaz à effet de serre, **la maîtrise de la consommation énergétique du bâtiment s'impose plus que jamais comme une préoccupation majeure**. Aujourd'hui plus encore qu'hier, les systèmes, produits et composants mis en œuvre dans la construction ou la rénovation de logements se doivent d'intégrer une nouvelle dimension énergétique.

Représentant jusqu'à 50% de la consommation totale du bâtiment, les déperditions thermiques liées au renouvellement de l'air intérieur confirment le poids prépondérant de la ventilation et l'enjeu de sa maîtrise dans la course à la réduction de la consommation énergétique.

Les recherches actuelles s'orientent ainsi vers des systèmes de ventilation innovants capables de concilier le double objectif de qualité d'air et d'économies d'énergie. Les plus grandes ambitions sont donc nourries pour la ventilation modulée, déjà portée par le succès de la ventilation hygroréglable en France, et pour la ventilation hybride, subtil compromis entre deux systèmes traditionnels.

En étudiant un système de ventilation hybride hygroréglable, ce projet explore les nouvelles pistes de recherche en matière de ventilation.

Etude en contexte in-situ d'un système permettant de limiter la consommation dans le bâtiment, le projet HR-VENT a été cofinancé par l'ADEME² dans le cadre de l'appel à projet « Préparer le Bâtiment à l'Horizon 2010 ».



Figure 1 : Appel à projet « Préparer le Bâtiment à l'Horizon 2010 ».

² ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

1.1 Objectifs du projet

L'objet du projet HR-VENT a été de réaliser en vraie grandeur une validation et une actualisation des connaissances sur le fonctionnement de la ventilation naturelle en général, et plus particulièrement sur le rôle de la ventilation hygroréglable et de l'assistance mécanique (ventilation hybride).

Le projet a permis de connaître, vérifier et valider :

- L'influence des facteurs météorologiques sur la ventilation
- L'évolution des paramètres climatiques
- Les performances de la ventilation naturelle hygroréglable
- Les performances et les apports de l'assistance mécanique
- Le fonctionnement des appareils à gaz avec ce système
- La qualité du renouvellement d'air

Il s'est agi en outre de tester le fonctionnement d'un nouveau système de ventilation, composé d'entrées d'air et de grilles de sorties d'air hygroréglables assistées par un ventilateur très basse pression, le VBP³.

Le site choisi est un ensemble d'immeubles d'habitation situés à Nangis en Seine et Marne, appartenant au Logement Français. Pilotée par la société Aereco, l'expérimentation a porté sur 5 bâtiments retenus pour leurs typologies hétérogènes et représentatives parmi 56 bâtiments. 55 logements occupés ont ainsi été équipés et instrumentés durant deux années, de janvier 2004 à décembre 2005.

Ce projet intervient dans un contexte post-réhabilitation, où une déficience de la ventilation et des anomalies de tirage ont engendré des désordres dans les logements. La présence de moisissures, ainsi que des dysfonctionnements au niveau des appareils à gaz raccordés ont conduit le maître d'ouvrage à envisager une révision totale du système de ventilation.

Ce projet a également eu pour rôle d'aider à mieux comprendre les enjeux de la ventilation dans le cadre de la rénovation d'habitations existantes. En effet, réglementaire et imposée dans la construction neuve, la ventilation est trop souvent mal appréhendée, voire négligée, dans l'habitat existant.

En considérant que les bâtiments « destinés » à la rénovation sont ceux construits avant 1975 car il n'existait alors aucune réglementation thermique en France, **ce sont environ 17 millions de logements qui constituent un gisement de gains énergétiques majeur, et pour lequel la recherche de solutions techniques adaptées et performantes apparaît essentielle.**

1.2 Opportunités et intérêts du projet

Le projet a en outre offert de réelles opportunités :

- La dimension et la diversité du site (55 logements du F2 au F5 répartis en 5 bâtiments allant du R+2 au R+4) sont deux facteurs essentiels pour pouvoir tirer des enseignements sur le comportement de la ventilation. On

³ « VBP » pour « Ventilateur Basse Pression », commercialisé en France par ACTHYS-GIE sous la marque « HELYS ».

sait en effet que la ventilation dépend du nombre d'entrées d'air (lié au nombre de pièces principales) ainsi que du tirage thermique (lié à la hauteur des bâtiments).

- Des configurations et des orientations au vent variées ont permis d'étudier l'influence particulière du vent sur les débits d'air et les pressions mesurés.
- La morphologie de ces bâtiments est tout à fait représentative de celle des constructions neuves actuelles en logement social, avec des hauteurs dépassant rarement les 5 niveaux. Cette expérimentation peut donc constituer une référence en vue de l'utilisation future de la ventilation hybride (mélange de ventilation naturelle et d'assistance mécanique) dans le logement neuf.
- La comparaison avec des extracteurs statiques « réglementaires » a été rendue possible par la présence de ces appareils avant le démarrage du projet, et par des remplacements ponctuels.
- Le site a également offert l'opportunité de vérifier la compatibilité de ce nouveau système de ventilation hybride utilisé avec les appareils à gaz raccordés, et ainsi d'apporter de nouveaux éléments de réflexion pour une évolution de la réglementation en la matière.
- La facilité d'accès, à 40 mn de la société Aereco et du CSTB a permis un suivi rapproché et soutenu ; Elle a facilité les interventions et le contrôle du système métrologique.

1.3 Partenaires

Un projet de l'ampleur d'HR-VENT ne pouvait se réaliser sans l'aide et le soutien de partenaires de renom.

Pilotée par Aereco, l'expérimentation a été menée en collaboration avec le CSTB, Gaz De France, ACTHYS et SOCOTEC. Nous soulignons également le rôle important joué par le maître d'ouvrage Logement Français qui a su collaborer de la meilleure façon avec les techniciens mobilisés sur le projet.



2. Le système de ventilation

Le nouveau système de ventilation mis en œuvre est constitué de composants de ventilation hygroréglable (entrées d'air et grilles d'extraction hygroréglables) à l'intérieur du logement et d'une assistance mécanique basse pression (ventilateur VBP) à l'extérieur du logement en débouché de conduits.

Tous les composants mis en œuvre dans ce projet sont conçus et fabriqués par la société Aereco ; Les fiches techniques des produits sont disponibles sur le site www.aereco.fr

Le système complet se présente selon le schéma Figure 2. L'air neuf est admis par les entrées d'air hygroréglables (1) situées au-dessus des fenêtres dans les pièces principales (chambres et séjour). L'air vicié est évacué dans les pièces techniques (toilettes, salle de bain, cuisine) par des grilles d'extraction hygroréglables (2) raccordées au conduit (3) connecté au ventilateur (4).

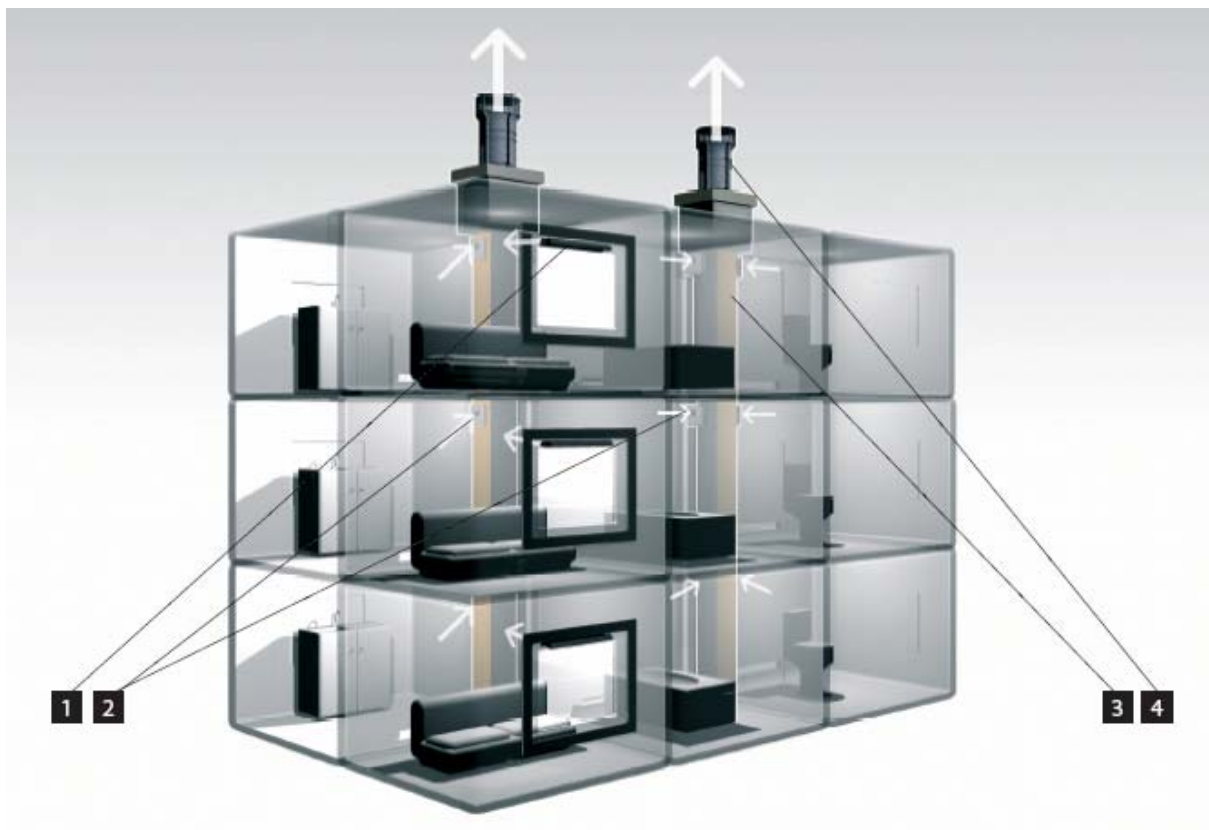


Figure 2: Localisation des composants du système de ventilation hygroréglable hybride

Le nouveau système utilise les conduits existants de la ventilation naturelle. Il entre dans la catégorie des systèmes de ventilation dits « hybrides » dans la mesure où il utilise le dimensionnement de la ventilation naturelle (sections de passage des grilles et des conduits), avec le soutien d'une assistance mécanique à fonctionnement intermittent (vitesse adaptée au tirage thermique).

Ce système de ventilation – le **premier au monde à associer ventilation hygroréglable et assistance par ventilateur très basse pression** - est également utilisé dans ce projet pour assister l'extraction des produits de combustion des appareils à gaz de type chauffe-eau raccordés de la cuisine. Ce dernier point renforce encore l'intérêt de cette nouvelle solution car la co-extraction gaz et air pose parfois des difficultés nécessitant une réelle maîtrise de la pression, pour des raisons évidentes de sécurité.

2.1 Le système de ventilation hygroréglable

Les composants de ventilation naturelle hygroréglable intègrent un capteur hygrosopique **modulant le débit des composants en fonction du taux d'humidité relative intérieur.**



Figure 3 : De haut en bas, de gauche à droite : Entrée d'air hygroréglable EMM ; Entrée d'air hygroréglable EHA ; Grille d'extraction hygroréglable GHN



Figure 4 : Entrée d'air hygroréglable EMM installée sur une menuiserie

En modulant les débits en fonction des besoins, en journée les entrées d'air sont plus ouvertes dans le séjour (occupé) que dans les chambres (vides) ; la nuit c'est l'inverse qui se produit. (voir Figure 5).

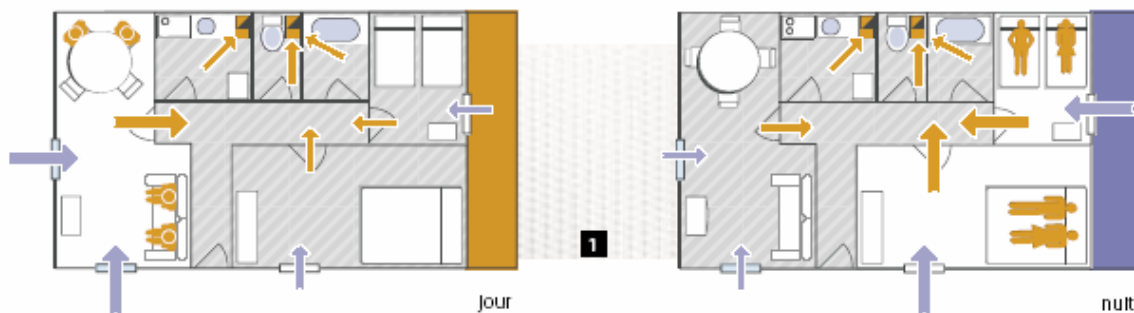


Figure 5: Répartition des débits d'air dans le logement en ventilation hygroréglable.

En habitat collectif, le système de ventilation hygroréglable Aereco adapte le débit disponible en fonction des besoins dans les différents logements raccordés (voir Figure 6); il permet également d'homogénéiser les pressions sur la colonne (voir Figure 7). **Cette expérimentation a notamment offert l'opportunité de vérifier ces phénomènes.**

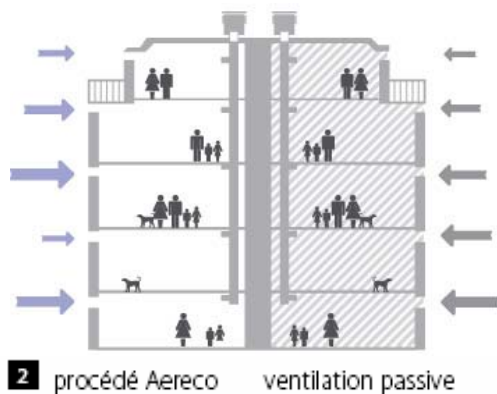


Figure 6: Adaptation des débits aux besoins entre les logements

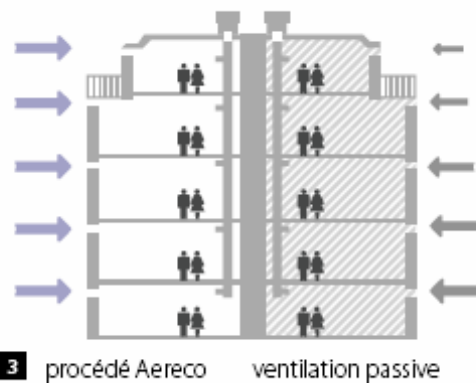


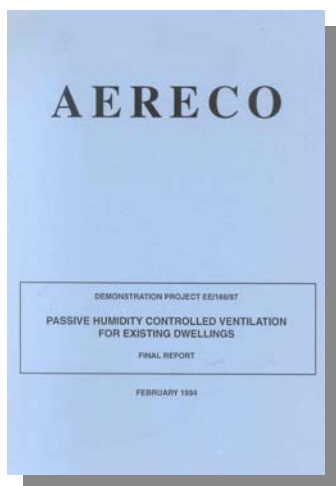
Figure 7: Homogénéisation des pressions disponibles entre les logements⁴

⁴ A occupation identique pour tous les étages dans le cas de ce schéma.

2.1.1 Des résultats mesurés sur le terrain

L'expérimentation HR-VENT a eu des précédents qui, même s'ils n'ont pas eu son ampleur, ont permis de caractériser le fonctionnement de la ventilation hygroréglable.

Parmi les plus significatifs, nous retiendrons les deux suivants :



- "Passive humidity controlled ventilation for existing dwellings" - Demonstration project EE/166/87 - Décembre 1993.

Ce projet, réalisé sur trois sites en France, Belgique et Pays-Bas en partenariat avec le CSTB, TNO, BBRI et Aereco (France), a montré l'efficacité des grilles de ventilation naturelle hygroréglables Aereco en habitat collectif sur le plan des économie d'énergie et de la qualité d'air intérieur.

La dilution d'un gaz traceur neutre a servi à mesurer les débits d'air extraits (plutôt que de mesurer la pression et le degré d'ouverture des grilles comme c'est le cas sur le projet HR-VENT). Les mesures ont été réalisées dans des piles parallèles de bâtiments afin de comparer grilles de sortie d'air fixes et hygroréglables.



- "Monitoring of two natural exhaust grilles in Hokkaido - Japan" - 2002.

Présentée lors de la conférence AIVC / EPIC à Lyon en 2002, cette expérimentation menée par Aereco en collaboration avec Pr FUKUSHIMA (Northern Regional Building Research Institute – Asahikawa) a concerné l'étude de deux grilles d'extraction hygroréglables installées dans une maison individuelle occupée du nord du Japon durant un an. Elle a montré que les performances des grilles hygroréglables Aereco « GHN » étaient conformes aux performances annoncées (variation de la section d'ouverture par rapport au taux d'humidité relative). Tout comme le montre le § 9.3, cela a permis de confirmer le choix exact de la plage d'humidité relative pour guider l'ouverture.

2.1.2 Perspectives d'optimisation de la ventilation naturelle hygroréglable

La ventilation naturelle hygroréglable Aereco permet de garantir pendant la période de chauffage des conditions d'hygiène et de confort, une protection du bâti contre les condensations et une maîtrise des déperditions thermiques au moins équivalentes à celles obtenues dans les logements neufs avec une ventilation mécanique en régime de base (voir réglementation française : « Arrêté de mars 1982, article 4 : débits minimums en régime de base »).

En ajoutant une assistance mécanique fonctionnant lorsque le tirage thermique devient moins puissant, cette garantie est étendue à l'année complète.

2.2 L'assistance mécanique très basse pression

Maintenir toute l'année une pression compatible avec le fonctionnement et le dimensionnement⁵ des composants de ventilation naturelle est l'objectif principal du ventilateur d'assistance mis en œuvre dans ce projet.

Le ventilateur d'assistance très basse pression VBP (Figure 8) se positionne en débouché de conduits collectifs ou individuels. Bien que motorisé, ce ventilateur n'a finalement que peu de similitudes avec ses cousins de la ventilation mécanique. Pour permettre le passage des débits lorsqu'il est à l'arrêt quand le tirage thermique est suffisant, ses pâles, parallèles au flux d'air, n'opposent pas de résistance⁶. Cette caractéristique est notamment exploitée pour permettre l'évacuation naturelle des produits de combustion des appareils à gaz raccordés et assurer la ventilation « naturelle » lorsque le tirage thermique est suffisant ou en cas d'arrêt du ventilateur.

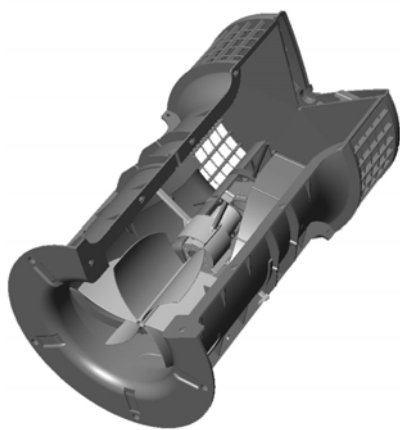


Figure 8: Ventilateur très basse pression « VBP »

2.2.1 Composition du système d'assistance

Les ventilateurs desservant une même pile de logements⁷ sont connectés à un coffret électrique intégrant un système de gestion électronique ayant pour objectif d'égaliser les puissances (et indirectement les pressions) entre les colonnes d'une même pile de logements, d'en assurer la simultanéité de fonctionnement, de piloter les ventilateurs à l'aide d'une unique sonde de température et enfin de renvoyer un signal de panne à un témoin déporté en cas de dysfonctionnement.

⁵ Concerne les terminaux ainsi que les conduits d'origine.

⁶ Le ventilateur VBP à l'arrêt présente moins de perte de charge qu'un débouché libre (coefficient de perte de charge $\zeta = 0.9$). Le calcul du coefficient de perte de charge ζ est réalisé conformément à la norme NF EN 13141-5 sur un $\varnothing 200$ mm.

⁷ Une pile de logements désigne un ensemble de logements superposés et utilisant des conduits de ventilation communs.

2.2.2 Caractéristiques statiques du ventilateur

A la recherche d'innovations performantes, **Aereco a choisi de privilégier l'écoulement aéraulique et la consommation électrique**, alors que la plupart des extracteurs du marché ont été conçus pour obéir aux exigences de l'ancienne norme de caractérisation des extracteurs statiques NF P 50-413, qui privilégie un fort coefficient de pression à débit nul. **Or la recherche d'un fort coefficient d'aspiration à débit nul dégrade naturellement les performances « en débitant » des extracteurs statiques et stato-mécaniques du marché.**

L'expérimentation HR-VENT a ainsi offert la possibilité de vérifier la pertinence du choix de privilégier de bonnes performances en débitant plutôt qu'un fort coefficient à débit nul comme pouvait le demander l'ancienne norme NF P 50-413.

2.2.3 Consommation électrique du ventilateur d'assistance

La conception singulière du ventilateur d'assistance VBP a permis d'optimiser sa consommation électrique au même titre que ses performances aérauliques par la génération « directe⁸ » de pressions plus faibles que dans le cas des dispositifs classiques. Comme on peut le constater, les consommations vont de 3 W par ventilateur (3 VBP, de 1 à 2 niveaux) à 14 W (1 VBP, de 5 à 7 niveaux).

Dans le cas de l'expérimentation HR-VENT, les consommations moyennes mesurées ont été de **5 W par logement**. (soit une consommation totale de 272 W pour 55 logements).

La consommation du VBP est ainsi de l'ordre de 80 % inférieure à celle des extracteurs stato-mécanique comparables.

⁸L'énergie générée est directement communiquée à l'air extrait.

3. Le site

L'expérimentation a porté sur un ouvrage constitué de **5 bâtiments** allant du R+2 au R+4 (voir photos Figure 9), regroupant **55 logements** (du F2 au F5).



Figure 9 : vues des 5 bâtiments expérimentaux

Le site de l'expérimentation est situé sur la commune de Nangis en Seine et Marne (France, 77) :



3.1 Caractéristiques des bâtiments

Maître d'ouvrage :	LOGEMENT FRANÇAIS
Adresse du site :	Cité « Mare aux Curées » - 77370 NANGIS
Typologie bâtiments objets de l'expérimentation :	55 logements répartis sur 5 bâtiments (2 x R+2, 1 x R+3, 2 x R+4) de types F2, F3, F4, F5.
Ancienne ventilation :	<p><u>Dans le logement :</u></p> <p>Ventilation naturelle par entrées d'air autoréglables ANJOS type VM30 à raison de 1 par chambre sur mortaise de [2 X (115 X 15 mm)] et de 2 en séjour sur mortaise de [1 X (240 X 15 mm)] installées sur coffre de volet roulant ou sur ouvrant.</p> <p>Grilles fixes sur conduits en pièces techniques.</p> <p><u>Débouché conduit Shunt ou individuel :</u></p> <p>Extracteurs statiques ASTATO type AS5 et autres.</p>
Nouvelle ventilation :	<p><u>Dans le logement :</u></p> <p>Ventilation naturelle par entrées d'air hygroréglables Aereco / ACTHYS de type EHA et EMM à raison de 2 par chambre / séjour sur mortaise de [2 X (172 x 12) mm] installées sur coffre de volet roulant ou sur ouvrant.</p> <p>Grilles hygroréglables GHN 15-75 m³/h sur conduits en pièces techniques sanitaires ; Ventilation cuisine effectuée par coupe-tirage du chauffe-eau.</p> <p><u>Débouché conduit Shunt ou individuel :</u></p> <p>Ventilateurs très basse pression VBP.</p>
Chauffage :	Collectif.
Chauffe-eau :	<p>Appareil à gaz individuel de type ELM Leblanc ONDEA LM 10 PV N</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 à 10 l/mn, 8 à 17 kW - Raccordé sur conduit de fumées type Shunt et individuel. - Sécurité individuelle anti-refoulement de type SPOTT.

3.1.1 Une première rénovation de l'enveloppe en 1997

Une action thermique a été réalisée sur l'enveloppe, avec un remplacement des menuiseries et des travaux de renforcement de l'isolation et de l'étanchéité.

Les logements étant plus étanches, le système de ventilation avait également dû être revu : des entrées d'air autoréglables (Figure 12) avaient été installées sur les menuiseries des pièces principales de manière à réaliser une

ventilation par balayage jusqu'aux grilles d'extraction fixes des pièces techniques. Des extracteurs statiques avaient également été ajoutés en débouchés de conduits de ventilation naturelle.

L'installation de ce précédent système de ventilation n'a cependant pas empêché l'apparition de désordres : des moisissures (Figure 10 et Figure 11) et des arrêts intempestifs des appareils à gaz ont conduit le maître d'ouvrage à revoir le système de ventilation.



Figure 10: grille fixe, moisissures en salle de bain



Figure 11: moisissures dans une chambre



Figure 12: entrée d'air autoréglable en salon

Comment de tels désordres ont-ils pu apparaître avec le système de ventilation précédent ?

Plusieurs causes ont conduit à une déficience de la ventilation lors de la première rénovation en 1997. Les entrées d'air n'étaient pas correctement dimensionnées pour la ventilation naturelle : leurs sections de passage ainsi que leur nombre ne permettaient pas une amenée d'air suffisante.

De plus, l'absence de détalonnages sur les portes intérieures offrait trop de résistance pour assurer le balayage de l'air dans le logement. Enfin, la configuration d'installation de certains extracteurs statiques pouvait ne pas permettre un fonctionnement optimal : une gêne mutuelle par rapport à l'orientation du vent a pu conduire à une dégradation de leurs performances. Il aurait été préférable de suivre les règles de dévoiement d'usage permettant d'éloigner les extracteurs, et ainsi de limiter les perturbations.

4. Instrumentation et système de mesure

4.1 Choix des bâtiments

Déterminant pour la suite du projet, le choix des bâtiments (5 parmi 56 disponibles sur le site de l'expérimentation) a été dirigé par un souci de représentativité et de variété nécessaires à une étude de si grande échelle.

- Différents emplacements et dispositions des bâtiments (voir Figure 13).
- Différentes hauteurs (voir Figure 14).
- Différentes tailles d'appartements (de deux à cinq pièces) pour montrer l'influence du nombre d'entrées d'air et du type d'occupation.
- Différentes configurations à l'intérieur des logements (pièces techniques regroupées au centre ou périphériques, une ou deux grilles sur le même conduit, etc.) afin d'analyser l'influence de ces facteurs.

Ces logements de type Habitation à Loyer Modéré sont tout à fait représentatifs de ce qui peut être construit dans le futur dans la mesure où il s'agit de bâtiments de taille et de hauteur moyennes (8 à 20 appartements sur 5 niveaux maximum).



Figure 13 : Vue modélisée du site expérimental de Nangis – la Mare aux Curées
Note : les bâtiments instrumentés sont représentés en rouge.

4.1.1 Variabilité des hauteurs des bâtiments

En choisissant des bâtiments dont les hauteurs varient de 3 à 5 niveaux (Figure 14), les pilotes du projet ont voulu se donner la possibilité de comparer et de mesurer l'influence du tirage thermique, mais également de la vitesse et de l'orientation du vent.

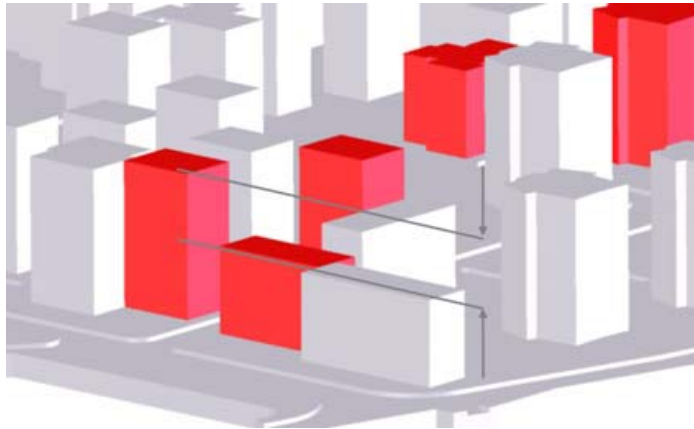


Figure 14 : diversité des hauteurs des bâtiments retenus

4.1.2 Diversité de l'exposition au vent

Les bâtiments choisis offrent également des expositions variées au vent dominant, permettant ainsi de mesurer l'impact et l'influence du paramètre vent sur la ventilation. (effets de masque, voir Figure 15).

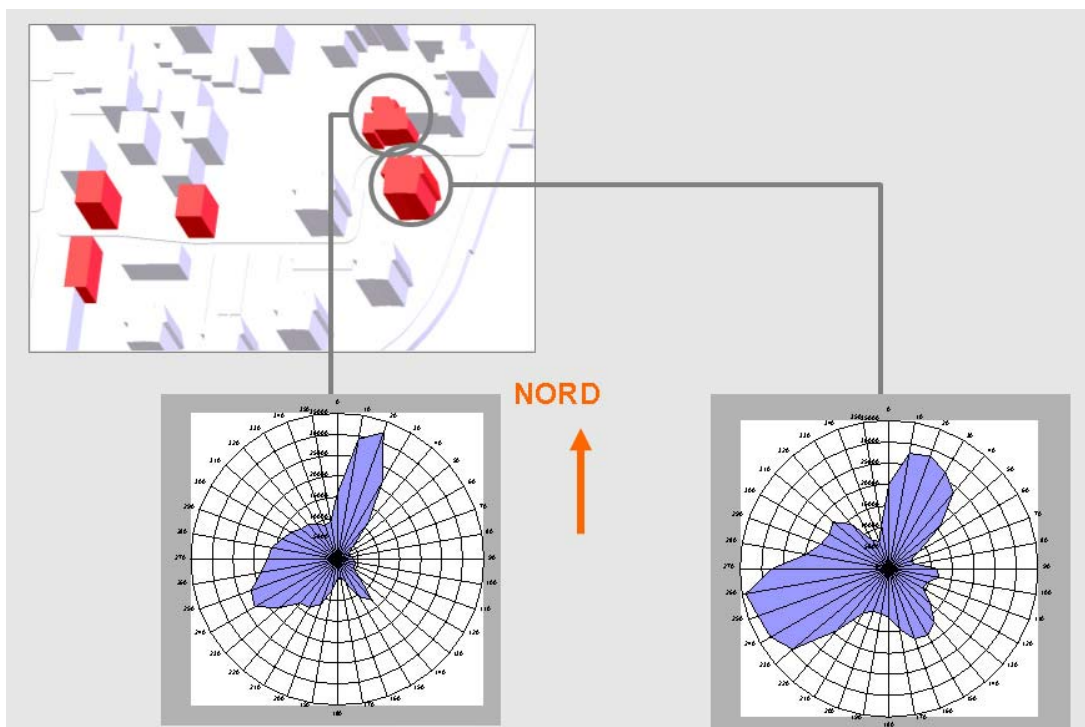


Figure 15 : diversité des expositions au vent des bâtiments retenus

4.2 Organes de mesures

Dans chaque bâtiment, chaque pile de logements a été instrumentée selon le schéma présenté Figure 16. Chaque minute, l'ensemble des appareils de mesure (en gras dans le tableau sous la Figure 16) situés dans les logements envoie ses informations à l'armoire de gestion des mesures qui les stocke, évitant ainsi les interventions dans les logements. Les informations sont acheminées via un réseau de câbles utilisant les conduits de ventilation.

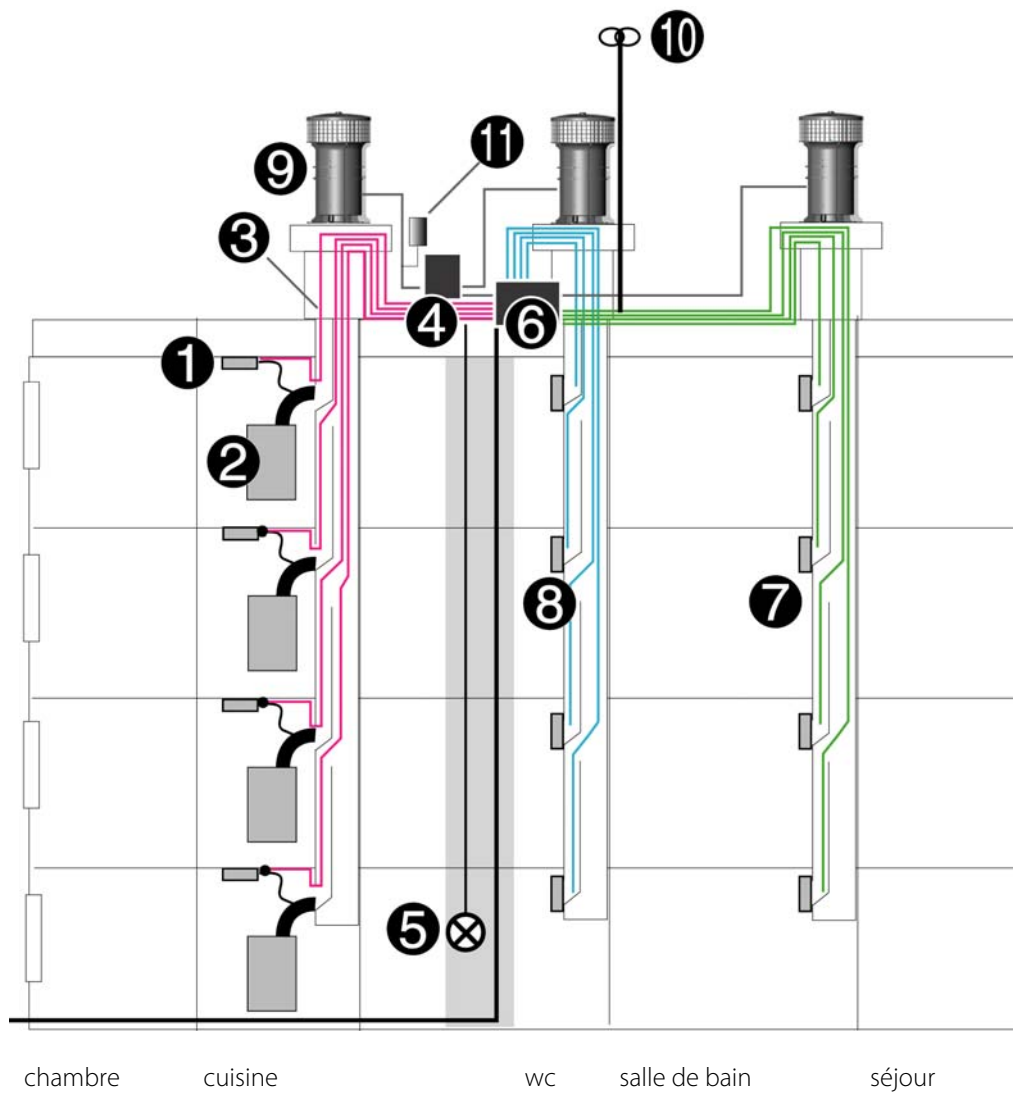


Figure 16 : vue schématique d'une pile de logements instrumentée sur un bâtiment de 4 niveaux

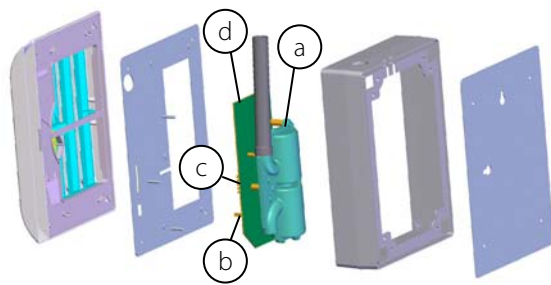
	Composant	Fonction
1	Boîtier de mesure cuisine	Acquisition de : Pression à la buse de l'appareil à gaz / Température gaz brûlés / Température pièce / Humidité relative pièce. Occurrence : chaque minute.
2	Appareil à gaz raccordé	Production d'eau chaude sanitaire.
3	Câbles de transferts de données	Transfère les données acquises par les composants 1,7 et 8.
4	Armoire de gestion de mesures	Enregistrement des données acquises par les composants 1,7 et 8.
5	Indicateur de fonctionnement	Indication du bon fonctionnement des ventilateurs de la pile de logements.
6	Coffret électrique complet	Transformation du 230 VAC en 15VDC Protection électrique Gestion de la puissance d'alimentation des ventilateurs Gestion du fonctionnement simultané des ventilateurs d'une même pile de logements.
7	Grille de mesure Salle de bain	Acquisition de : Pression à la grille / Section de passage grille / Température pièce / Humidité relative pièce. Occurrence : chaque minute
8	Grille de mesure WC	Acquisition de : Pression à la grille / Section de passage grille / Température pièce / Humidité relative pièce. Occurrence : chaque minute
9	Ventilateur Basse Pression VBP	Assistance mécanique à la ventilation naturelle et à l'EVAPDC
10	Station météorologique	Acquisition de : Vitesse vent / Orientation azimutale vent / Température extérieure / Humidité relative extérieure. Occurrence : chaque minute
11	Sonde de température ⁹	Pilotage des ventilateurs VBP selon température (vitesse normale / vitesse lente)

4.3 Une conception originale pour des capteurs innovants et précis

L'innovation de ce projet réside non seulement dans la mise en œuvre d'un nouveau système de ventilation hybride mais aussi dans l'application d'un nouveau type de manomètre plus précis et adapté à la très basse pression.

La composition complète des instruments de mesure est détaillée dans les légendes des Figure 17 et Figure 18.

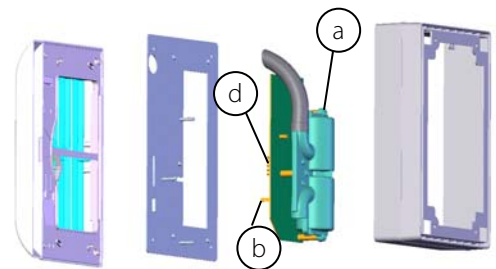
⁹ La sonde de température a été « désactivée » dans le cadre de cette expérimentation afin de ne pas « polluer » les mesures par des changements de vitesse dépendant des conditions climatiques extérieures. Les performances du ventilateur « température basse » ont par ailleurs été mesurées de manière manuelle.



1 2 3 4 5

- 1 : boîtier
- 2 : support
- 3 : appareil de mesure
 - 3a : manomètre basse pression
 - 3b : connexion pour prise de température mise en route chaudière
 - 3c : sonde d'humidité et de température
 - 3d : carte électronique
- 4 : boîtier de protection
- 5 : support de fixation

Figure 17 : Boîtier de mesure en cuisine



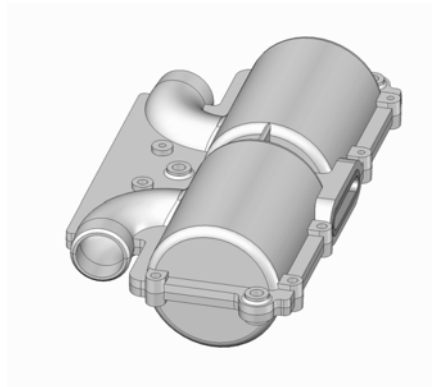
1 2 3 4

- 1 : grille hygrothermostable + capteur d'ouverture « effet hall »
- 2 : support
- 3 : appareil de mesure
 - 3a : manomètre basse pression
 - 3b : sonde d'humidité et de température
 - 3d : carte électronique
- 4 : boîtier de protection

Figure 18 : Grille de mesure hygrothermostable en salle de bain et toilettes

4.3.1 Le manomètre basse pression

Le réel challenge a consisté à développer un manomètre précis et stable, capable de lire de très basses pressions sans dérimer dans le temps et à un coût économique dans le cadre d'une expérimentation de grande échelle. Intégré dans les appareils de mesure, l'appareil est capable de mesurer des pressions entre -20 Pa et $+20$ Pa, avec une précision de $\pm 20\%$, et en particulier des pressions à 0.1 Pa près autour de 0 Pa (important pour détecter les refoulements éventuels). Une telle précision permet une mesure de débit à $\pm 10\%$.



4.3.1.1 Fonctionnement et principe

Le dispositif exploite une technologie brevetée basée sur l'utilisation de filaments chauds. Ce principe est utilisé pour transformer une variation de pression en une variation de tension sur une résistance électrique (filament d'ampoule).

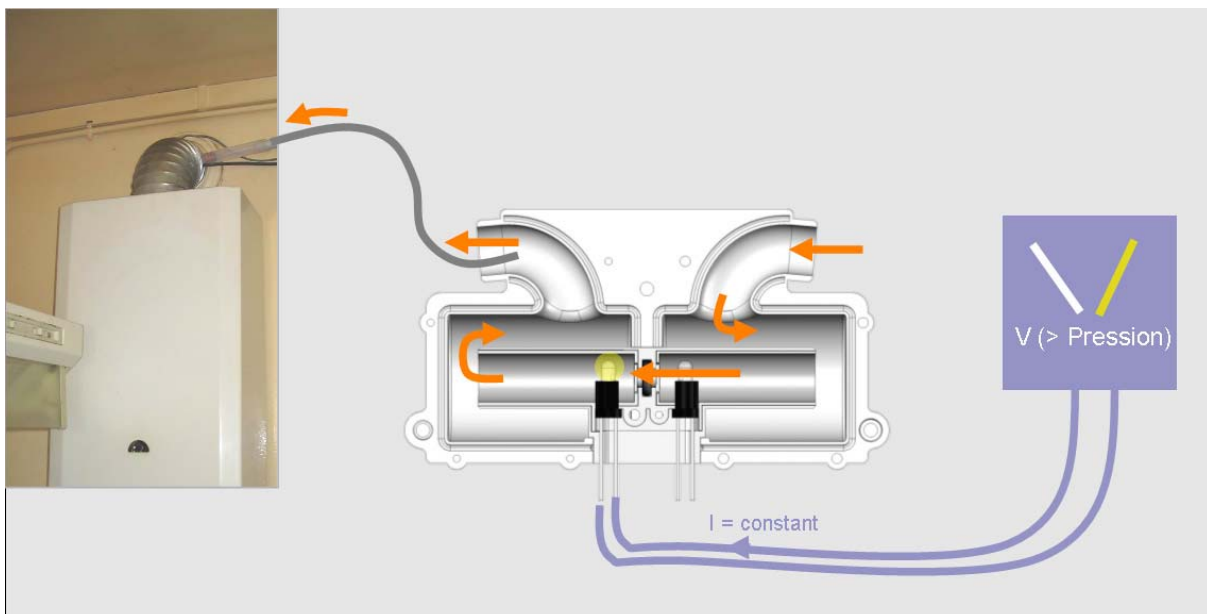


Figure 19 : schéma de fonctionnement du manomètre basse pression Aereco

Plus d'information :

Parution Conférence AIVC 2004: «High accuracy manometer for in situ measurements - AIVC 2004»:
<http://www.aereco.fr/publication.php>

La fabrication et le calibrage des manomètres ont été réalisés par Aereco. Ces phases ont été complétées par des tests de vieillissement accéléré et d'encrassement avant l'installation des appareils de mesure.

Un filtre supplémentaire a permis de s'affranchir des problèmes d'encrassement au niveau du manomètre :



Figure 20 : filtre manomètre sur grille de mesure.

A leur retour après démontage, des tests ont permis de valider la fiabilité des instruments de mesure sur les 166 grilles instrumentées du projet.

4.3.2 Les stations météorologiques



Figure 21 : anémomètre et girouette

Installées sur chacune des 5 terrasses (des 5 bâtiments), elles sont composées de :

- 1 anémomètre + 1 girouette
- 1 sonde d'humidité
- 1 sonde de température

4.4 Gestion des données

La quantité de données recueillies (plus de 700 millions au total sur les deux années) a nécessité des moyens de traitement spécifiques, avec notamment un serveur de 20 Go et un outil informatique spécifique d'analyse. **Le système d'acquisition a été développé spécifiquement pour le projet.**

Les données ont été récupérées chaque semaine sur le site, pour être injectées dans la base de données hébergée sur un serveur.

4.4.1 Matériel

La carte d'acquisition interroge chaque minute l'ensemble des instruments raccordés sur un bâtiment, puis enregistre les valeurs qui lui sont transmises pour les stocker sur un disque dur.

Son rôle est de :

- Ordonnancer l'interrogation des instruments de mesures connectés
- Récupérer et enregistrer les mesures
- Les envoyer sur un disque dur en vue de leur stockage.

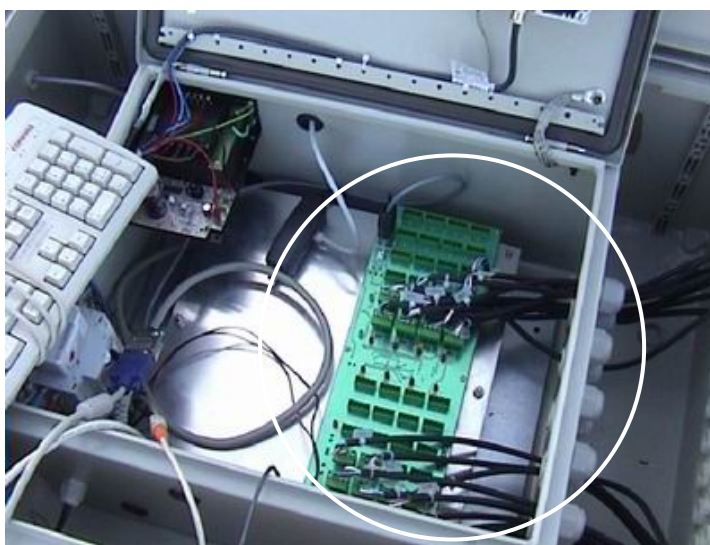


Figure 22 : armoire de gestion et sa carte d'acquisition

4.4.2 La base de données

Les données ont été enregistrées chaque minute puis stockées sur le disque dur de l'armoire d'acquisition. Situées sur chaque bâtiment objet de l'étude, les 5 armoires d'acquisition ont été vidées de leur contenu chaque semaine pour être validées puis injectées dans une base de données.

Destinée au stockage des données et à leur consultation, la base de données a été dimensionnée de façon à permettre la gestion de la masse considérable acquise durant ces deux années. La table de mesures météorologique, soit température, humidité, vitesse et direction du vent a représenté plus de 5 millions de lignes sur les 5 stations (1440 points par jour). La table de mesures des pièces, soit température, humidité, pression et ouverture ou température appareil d'ECS a contenu 170 millions de mesures pour 166 bouches (1440 points par jour). **La base de données a été composée de plus de 120 000 fichiers, pour une taille totale de 9,08 Go.**

4.5 Actions sur le système de ventilation

Des interventions volontaires ponctuelles ou régulières sur le système de ventilation ont permis de mesurer l'influence de certains facteurs :

4.5.1 Mises à l'arrêt volontaires des ventilateurs

Des mises à l'arrêt du ventilateur VBP programmées et récurrentes réalisées de manière hebdomadaire en 2005 ont permis de vérifier les performances du système sans assistance et de s'assurer du bon fonctionnement des appareils à gaz dans ces conditions de tirage naturel.

4.5.2 Comparaison avec des extracteurs statiques

Une comparaison entre extracteur statique et ventilateur VBP à l'arrêt a été rendue possible par la remise en place des extracteurs précédemment installés sur deux piles de logements mitoyens, avec inversions.

4.5.3 Réglage de la vitesse des ventilateurs

Des mesures ont été réalisées pour différents réglages de vitesse de ventilateurs, pendant des périodes de conditions climatiques variées.

Ceci a permis de mesurer l'impact de la puissance sur les performances de la ventilation, et ainsi d'évaluer une puissance optimale de fonctionnement.

5. Tests et Diagnostics préliminaires

Des tests préalables ont été réalisés afin de s'assurer des performances de l'assistance mécanique avant sa mise en œuvre sur le projet, et ont contribué à l'obtention d'une appréciation technique d'expérimentation (Atex) :

Le laboratoire CERGA (Centre d'Etudes et de Recherche en Gestion de l'Air – Bussy St Georges, 77) a mené des essais de caractérisation aéraulique du VBP en statique (à l'arrêt) sur une reproduction des conduits présents sur le site de NANGIS.

Des tests selon la norme NF P 50-413 et selon la norme européenne EN 13141-5 ont été réalisés dans la laboratoire Eiffel à Paris afin de déterminer les caractéristiques et la classification du ventilateur VBP selon ces normes (Figure 23).

Durant l'hiver 2002-2003, le département « EVAcuation des Produits De Combustion » de Gaz de France a réalisé des essais sur sa tour expérimentale à La Plaine St Denis (Figure 24 et Figure 25).



Figure 23: Tests laboratoire Eiffel

-



Figure 24: VBP sur tour expérimentale Gaz De France



Figure 25: tour expérimentale Gaz De France

L'appréciation technique d'expérimentation (ATEX)

*Délivrée par le CSTB, une appréciation technique d'expérimentation a évalué ce nouveau système (ventilation hygroréglable assistée sur conduits d'évacuation des produits de combustion d'appareils à gaz raccordés) sur la base de tests préalables réalisés au laboratoire CERGA et sur la tour expérimentale de Gaz De France. Le 15 janvier 2004, **le comité d'expert a prononcé un avis favorable préalable à la mise en œuvre de ce système sur le site de l'expérimentation.***

6. Installation du système

Un monitoring est toujours une nouvelle expérience, d'autant plus lorsqu'il s'agit d'installer et de mesurer un nouveau système, avec une nouvelle méthode de prise de mesures.

Après une année de préparation pour la conception d'un manomètre spécifique basse pression et d'un système d'acquisition, pas moins de deux mois furent nécessaires à l'installation du système dans 55 logements, dont quelques unes des étapes principales sont présentées ci-dessous :



Passage des câbles à l'aide d'une canne de ramonage depuis le logement vers la terrasse.



Descente des câbles de connexion dans le conduit.



Raccordement et fixation du dispositif de prise mesure dans le logement.



Paramétrage des appareils de mesures sur l'armoire d'acquisition.



Raccordement du tube de mesure de pression sur conduit de l'appareil à gaz.

6.1 Installation des ventilateurs d'assistance

Lorsque c'était possible, les pièces d'adaptation existantes ont été conservées (Figure 26) ; De nouvelles pièces intermédiaires ont alors permis d'assurer la fixation du ventilateur sur ces pièces existantes.

Dans certains cas, il a fallu créer de nouvelles pièces d'adaptation spécifiques pour répondre au besoin de démontage et de ramonage (Figure 27 et Figure 28). Les pièces d'adaptation utilisées pour les conduits d'évacuation des produits de combustion ont été réalisées en aluminium.



Figure 26: ventilateur VBP sur pièce d'adaptation existante



Figure 27: ventilateur VBP sur nouvelle pièce d'adaptation



Figure 28: réalisation de pièces d'adaptation spécifiques

6.2 Installation des stations météorologiques

Les stations météorologiques ont été installées sur chacune des 5 terrasses.

Les premières mesures ont permis de détecter le dysfonctionnement de tous les anémomètres des stations météorologiques, et ont donc conduit à leur remplacement.

Ce point met en évidence la difficulté de « confier » la régulation d'un dispositif de ventilation à des appareils pourtant choisis pour leur fiabilité et leur qualité « reconnues ».

Contrairement aux sondes de température à la fiabilité éprouvée et au dysfonctionnement éventuel immédiatement remarquable, les anémomètres du marché peuvent présenter des blocages très progressifs jusqu'à leur arrêt total.

7. Communication

7.1 Communication locataires

En janvier 2004, la distribution d'une lettre d'information (Figure 30) et une réunion (photo Figure 29) destinée aux locataires des logements objets de l'étude ont permis de préparer les interventions en les informant sur la nature des travaux et les objectifs de l'expérimentation.

La communication revêt en effet un rôle important dans ce type d'étude puisqu'il s'est agit de limiter les actions de l'occupant sur la ventilation et sur l'instrumentation tout en favorisant l'acceptation des travaux et d'un nouveau système dans son logement.

L'opération de mise en place du système de ventilation et d'enregistrement des mesures s'est déroulée avec succès ; l'expérimentation a été particulièrement bien acceptée par l'ensemble des occupants.



Figure 29 : Journée d'information locataires - 6 janvier 2004



Figure 30 : Lettre d'information locataires

Une enquête de satisfaction réalisée auprès des occupants a permis en outre de connaître leur appréciation du système.

7.2 Communication institutionnelle

Des réunions d'information ont eu pour objectif d'informer les partenaires de l'état d'avancement et des résultats en cours du projet (Figure 31).



Figure 31 : Présentation élargie aux partenaires – février 2006

Sur le plan international, le projet HR-VENT a notamment été présenté devant une large assemblée d'experts mondiaux de la ventilation et de la climatisation aux conférences internationales de l'AIVC (voir Figure 32).



The 25th Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre. Prague, Czech Republic - September 2004. « Ventilation and Retrofitting »

The 26th Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre. Brussels, Belgium – October 2005. « Ventilation in relation to the energy performance of buildings »

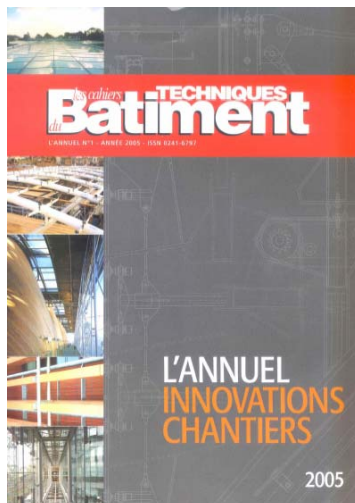
The 27th Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre. Lyon, France – November 2006. « Technologies & Sustainable Policies for a Radical Decrease of the Energy Consumption in Buildings »



Figure 32 : 25^{ème} Conférence de l'AIVC à Prague en septembre 2004

Le projet et ses résultats ont également été présentés à des représentants des institutions du domaine du bâtiment en provenance d'Allemagne, de Russie ainsi qu'à l'Université de Lünd (Suède); des séminaires spécifiques d'information sont par ailleurs dispensés en France en collaboration avec la société ACTHYS.

Plusieurs articles de presse ont par ailleurs présenté le projet, dont un dossier spécial de « L'annuel Innovations Chantiers 2005 » des « Cahiers Techniques du Bâtiment » :



La communication constitue une valeur essentielle du projet puisqu'il s'agit d'apporter à la profession un enrichissement des connaissances sur la ventilation, et de permettre à chacun de faire évoluer sa vision et ses acquis techniques.

Résultats et analyse

Après une présentation des données météorologiques extérieures, nous nous sommes intéressés aux contributions propres de chacun des éléments composant le système de ventilation, à savoir la modulation des terminaux hygroréglables situés dans le logement d'une part et l'assistance mécanique du ventilateur situé en sortie de conduit d'autre part. Nous avons ensuite étudié le fonctionnement du système complet de ventilation hygroréglable hybride.

8. Conditions climatiques extérieures pendant le suivi

Les **conditions climatiques** représentent un paramètre essentiel de la ventilation naturelle (et donc hybride), puisqu'elles en constituent à la fois le **moteur** (effet thermique induit par la plus faible température à l'extérieur des logements, et effet aéraulique du vent s'exerçant sur les façades et le toit des bâtiments), et un paramètre de **régulation** (effet de l'humidité sur les terminaux de ventilation hygroréglables).

8.1 Température extérieure

Le graphique ci-dessous représente les amplitudes de températures extérieures pour chaque jour de l'année 2005¹⁰ : la courbe centrale représente la moyenne quotidienne, et celles du bas et du haut définissent respectivement les températures minimum et maximum enregistrées pour chaque jour.

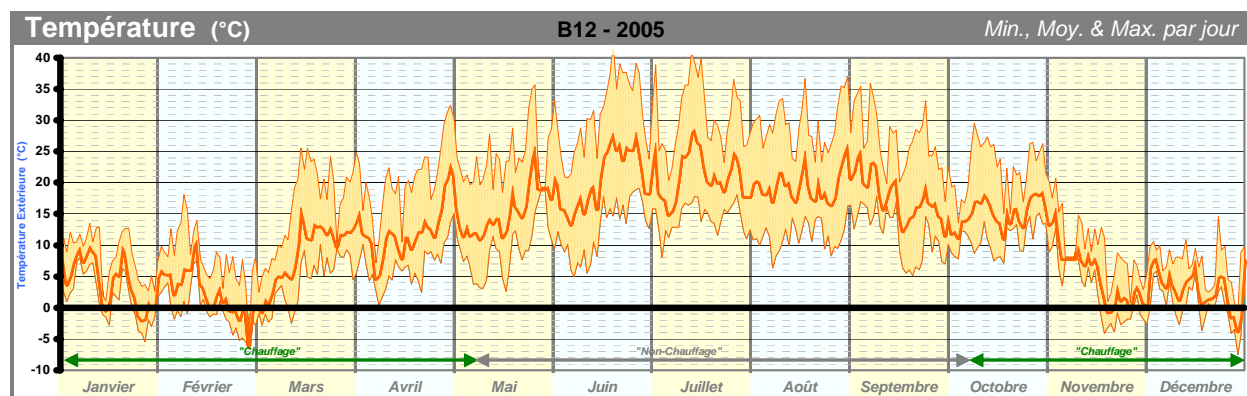


Figure 33 : Evolution journalière de la température extérieure sur l'année 2005 (bâtiment 12)

¹⁰ Exemple donné sur un bâtiment représentatif de l'ensemble.

Un **minimum de -7.5°C** (29 déc.) et un **maximum¹¹ de 42.4°C** (20 juin) ont été mesurés en terrasse de bâtiment, ainsi que des variations quotidiennes pouvant dépasser 25°C en été (42.4°C - 14.7°C = 27.7°C, le 20 juin).

Sur l'année 2005, la **moyenne est de 12.4°C**.

On peut distinguer les périodes où le chauffage collectif des immeubles a été réellement mis en marche (du 1 jan. au 9 mai, puis du 9 oct. au 31 déc. 2005). On note ainsi des températures extérieures moyennes de **7.5°C en période de chauffage** (213 jours) et de **19.1°C hors période de chauffage** (152 jours).

Les graphiques d'occurrences suivants montrent que la grande majorité (80% du temps - arrière plan grisé sur le graphique de gauche) des températures rencontrées au cours de l'année sont comprises entre **-1°C et 21°C** (entre -2°C et 14°C en période de chauffage, et entre 9°C et 26°C hors période de chauffage).

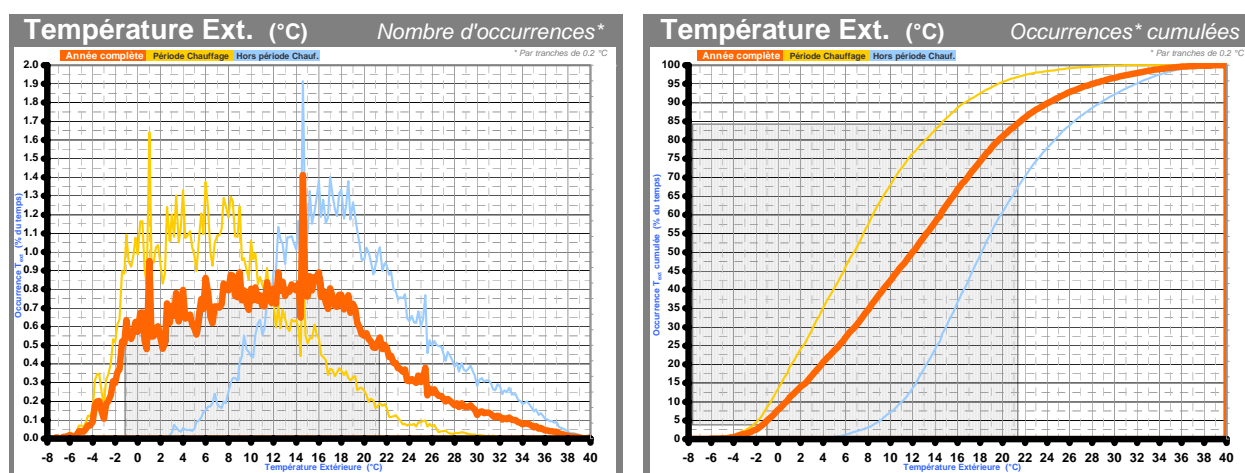


Figure 34 : Fréquence des températures extérieures sur l'année 2005 (bâtiment 12)

8.2 Hygrométrie (absolue) extérieure

Le système mis en œuvre dans le cadre de cette expérimentation est un système de ventilation dit "simple-flux". Son principe consiste en la dilution de l'air intérieur "vicié" par l'amenée d'air "sain" extérieur.

La qualité d'air extérieur influe donc directement sur la qualité d'air intérieur. De plus, la régulation de la ventilation s'effectue grâce à des terminaux modulant les débits de renouvellement d'air en fonction de l'humidité (relative) intérieure.

Ainsi, l'appréhension de l'humidité extérieure est une notion capitale pour la compréhension du système étudié.

Le graphique ci-après montre l'évolution de l'humidité absolue¹² quotidienne sur l'année 2005 (au centre la moyenne par jour ; en bas et en haut, le minimum et le maximum atteint au cours de chaque jour)¹³.

¹¹ S'agissant de température mesurée en terrasse, et donc soumise à un rayonnement important, la température effective de l'air est probablement légèrement inférieure. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par la mesure relevée à la station météorologique du CSTB à Champs sur Marne (77), avec un maximum enregistré à 35°C.

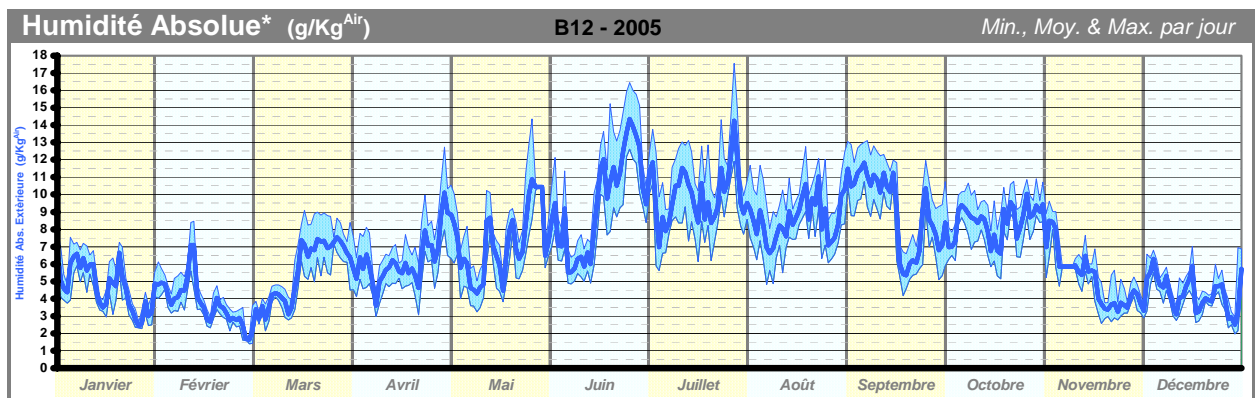


Figure 35 : Evolution journalière de l'humidité absolue extérieure sur l'année 2005 (bâtiment 12)

On constate une évolution de type "saisonnier", les variations de l'humidité absolue extérieure se faisant très progressivement, avec des écarts mini-maxi quotidiens très réduits.

Lorsque l'on superpose (Figure 36) à la courbe d'humidité absolue la courbe de température extérieure moyenne (échelle 1:2), on constate que l'humidité absolue suit étroitement l'évolution saisonnière de la température : en effet, "l'eau contenue dans la nature" peut s'évaporer et charger l'air pendant les périodes chaudes, alors que quand il fait froid, la vapeur contenue dans l'air va se condenser et se déposer en eau liquide.

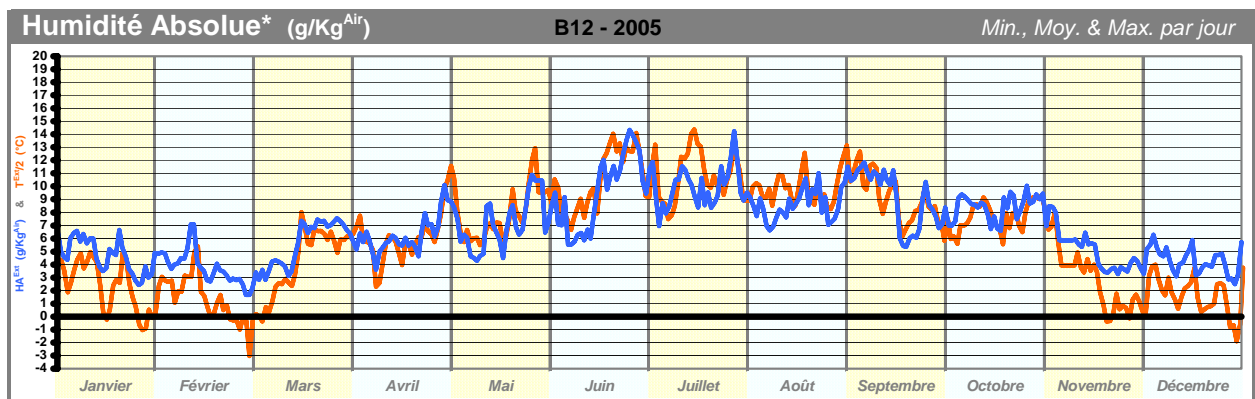


Figure 36 : Evolutions journalières de la température et de l'humidité absolue extérieures sur l'année 2005 (bâtiment 12)

Il est important de remarquer que l'impact de la température se fait à l'échelle d'une **dynamique essentiellement saisonnière** et non journalière, puisqu'on ne retrouve pas pour l'humidité absolue d'importants écarts min-max en cours de journée, comme le montre le graphique suivant :

¹² Recalculée d'après l'humidité relative et la température.

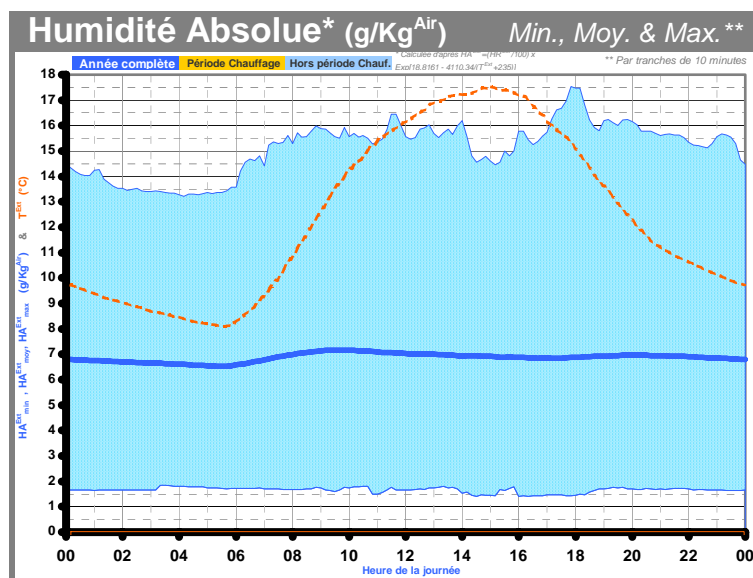


Figure 37 : Min., moy. et max. des humidités absolues et des températures extérieures en fonction de l'heure de la journée (2005-bâtiment 12)

8.3 Hygrométrie (relative) extérieure

Les terminaux de ventilation hygroréglables modulent en fonction de l'humidité relative, à l'intérieur des logements, et non en fonction de l'humidité absolue.

Si l'on calcule à partir de l'humidité absolue extérieure, l'humidité relative correspondante à 20°C (c'est à dire l'humidité relative que l'on retrouverait dans un logement maintenu à 20°C, et dans lequel il n'y aurait pas de production d'eau), on obtient le graphique d'évolution sur l'année 2005 suivant (Figure 38) :

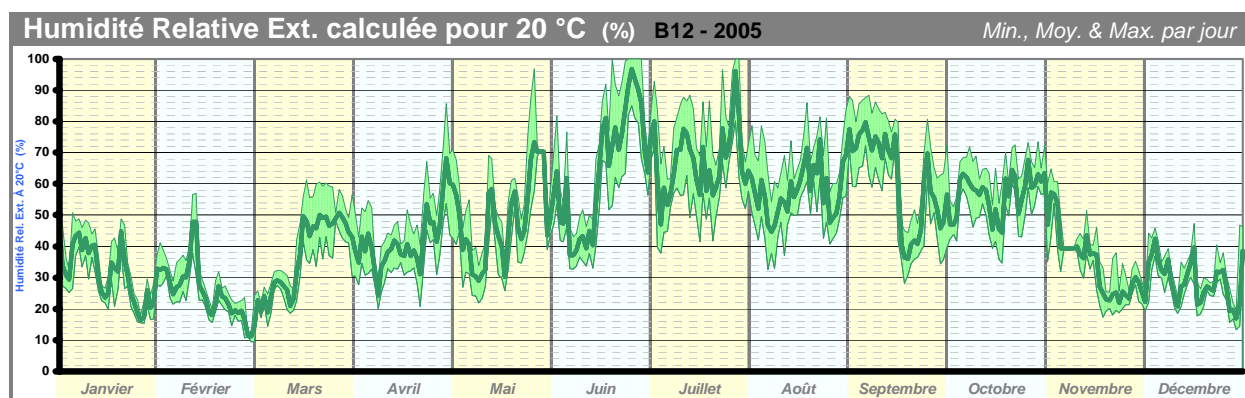


Figure 38 : Evolution journalière de l'humidité relative extérieure calculée pour une température de 20°C sur l'année 2005 (bâtiment 12)

Il apparaît alors clairement que, en l'absence de production d'humidité à l'intérieur du logement, l'impact de l'humidité extérieure se fait également de façon exclusivement **saisonnnière sur l'humidité relative intérieure** (variations très faibles d'humidité relative intérieure au cours d'une journée).

La variabilité saisonnière du taux d'humidité relative intérieure moyen permet d'expliquer le comportement saisonnier de la grille hygro-réglable, comme on le voit par la suite dans le § 9.3.1.

Si l'on s'intéresse maintenant à l'évolution de l'humidité relative extérieure mesurée en 2005, on constate au graphique suivant un comportement beaucoup plus "chaotique", détaché d'évolution saisonnière, et directement influencé par les variations de températures journalières :

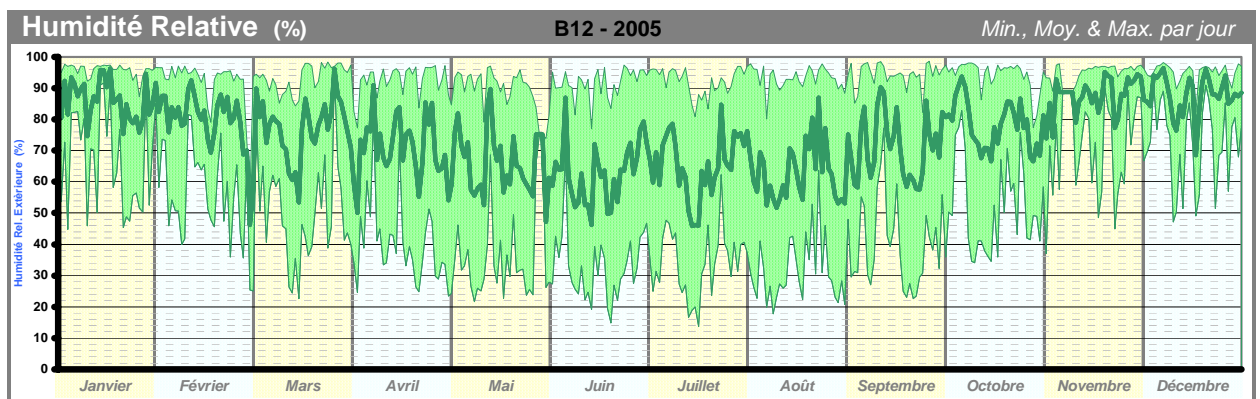


Figure 39 : Evolution journalière de l'humidité relative extérieure mesurée sur l'année 2005 (bâtiment 12)

8.4 Vent

Le graphique suivant (Figure 40) représente l'évolution (en 2005) de la vitesse du vent mesurée en toiture (2.5 m au dessus de la terrasse) pour le bâtiment le plus exposé (bâtiment 12).

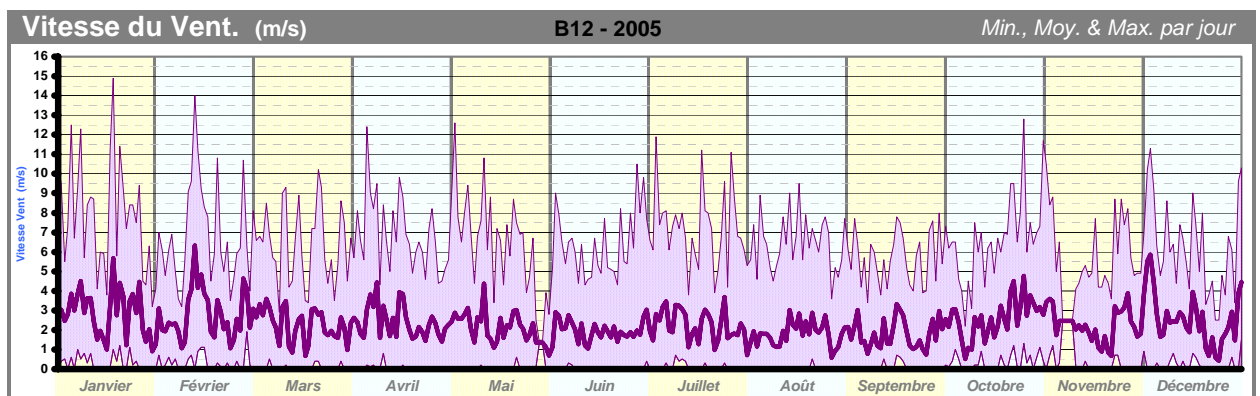


Figure 40 : Evolution journalière de la vitesse du vent en toiture du bâtiment 12 sur l'année 2005

De fortes variations journalières apparaissent, avec très souvent un moment de **vent quasi-nul** en cours de journée, et une pointe aux alentours de **7m/s**.

La **moyenne** en 2005 était **2.2 m/s** avec un maximum enregistré à **14.9 m/s** sur ce bâtiment le 18 janv. (moyenne de 1.1 m/s et maximum de 11.7 m/s sur le bâtiment 29, moins exposé et plus petit).

Le graphique suivant montre la nette tendance du vent à augmenter en cours de journée à partir de 7 heures du matin, pour redescendre jusqu'aux environs de 20h (parallèlement à la tendance de la température extérieure en orange).

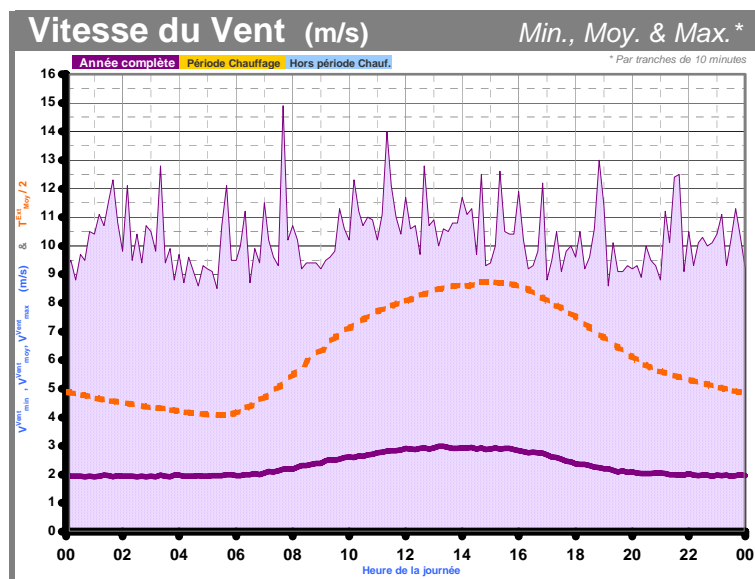


Figure 41 : Min., moy. et max. des vitesses de vent et des températures extérieures en fonction de l'heure de la journée (2005-bâtiment 12)

Le graphique de fréquence suivant (Figure 42) montre pour ce bâtiment particulièrement exposé, une **fréquence maximum** pour des vents de **1.8 m/s** (hormis la tranche 0-0.5 m/s sans doute particulièrement amplifiée par la "difficulté de démarrage" des anémomètres à godets utilisés ici). **80%** des vitesses sont inférieures à **3.4 m/s** (pour le bâtiment le moins exposé : une fréquence maximum pour des vents de 0.9 m/s, avec 80% des vitesses inférieures à 2.0 m/s).

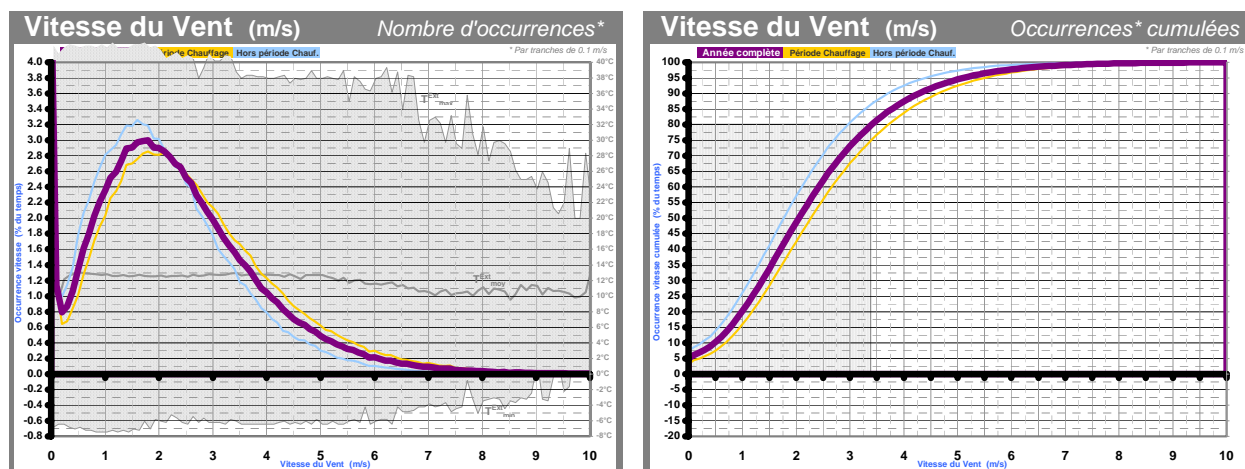


Figure 42 : Fréquence des vitesses de vent sur l'année 2005 (bâtiment 12)

En arrière plan du graphique de gauche, la courbe centrale grise représente la moyenne des températures extérieures pour la valeur de vent considérée : aucune tendance "saisonnière" ne semble significativement calquée sur les évolutions de la température extérieure.

8.4.1 Comportement du vent dans le temps

Les quatre graphiques suivants (Figure 43) représentent la fréquence du vent en direction (par rapport au nord) par tranche de vitesse (l'épaisseur de la tranche est proportionnelle au nombre des vitesses mesurées appartenant à cette tranche, selon la direction considérée), sur le bâtiment 12 (R+4) particulièrement exposé au vent. En arrière plan sont représentés les bâtiments les plus proches (vue de dessus), renseignés de leur hauteur relative par rapport au bâtiment considéré ("e + 0" signifie que cet immeuble a le même nombre d'étage, "e - 1" qu'il a un étage de moins,...).

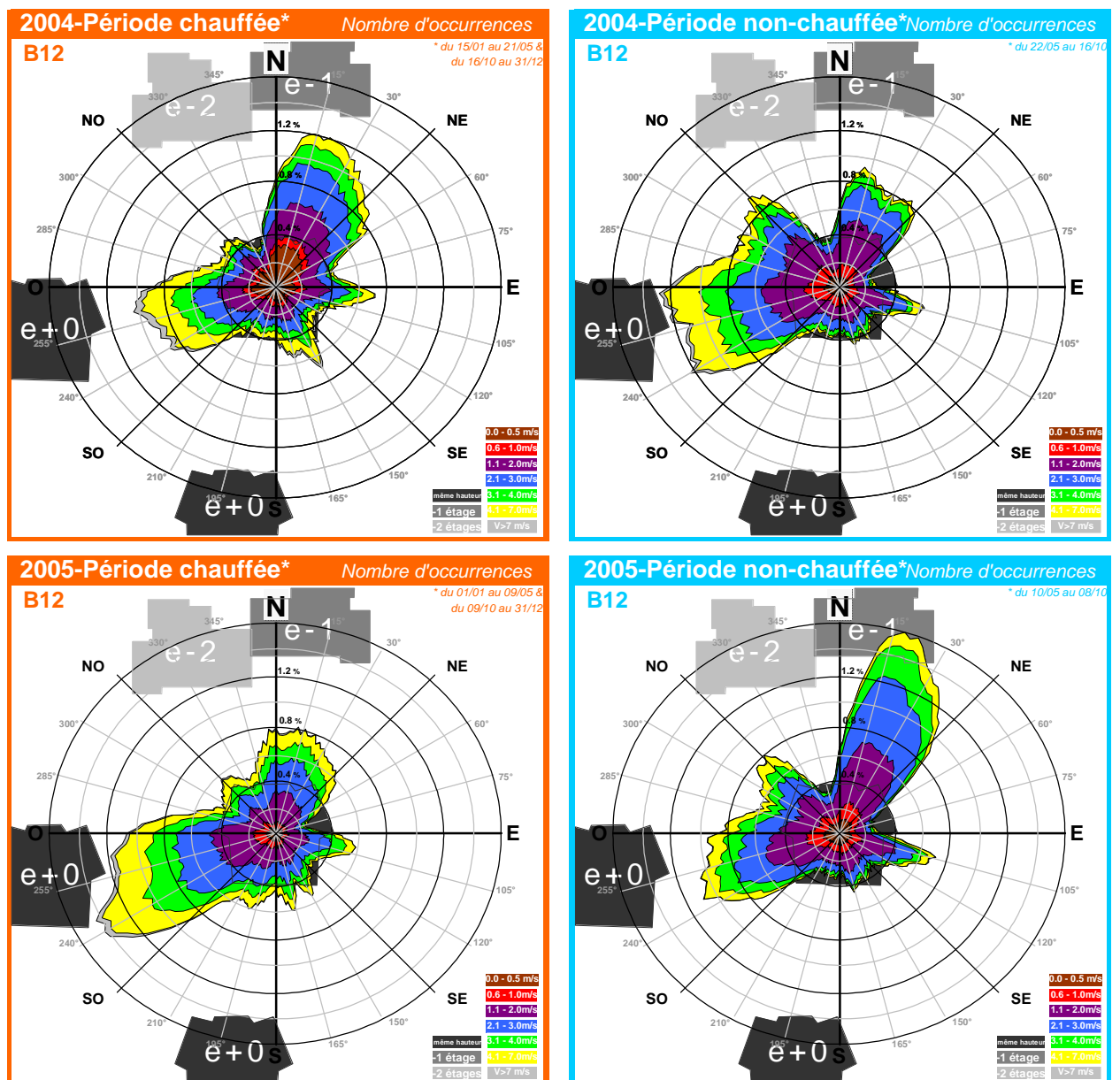


Figure 43 : Fréquence des directions de vent par tranche de vitesse sur 4 périodes de 2004 à 2005 (bâtiment 12)

Chacun des graphiques correspond, pour les années 2004 et 2005, à des périodes de mesures effectuées, d'une part, lorsque le chauffage était en fonctionnement, et d'autre part, lorsque le chauffage était coupé.

Sur la période 2005 (deux derniers graphiques), on constate une dominante principale du vent Ouest/Sud-Ouest sur la période de chauffage, alors que hors chauffage, la dominante principale est Nord/Nord-Est.

On peut également remarquer que l'intensité du vent entre ces deux dominantes est différente, avec une prépondérance de 2-7 m/s en période chauffée, contre une prépondérance de 1-4 m/s hors chauffage.

En 2004, on constate une différence opposée, avec cette fois-ci, une dominante Nord/Nord-Est en période chauffée, qui disparaît au profit d'une dominante Ouest/Sud-Ouest hors période de chauffage.

Ceci montre que même d'un point de vue statistique sur des périodes relativement longues (~6 mois), la prise en considération d'un vent dominant représentatif semble très difficile.

Ce résultat est confirmé par les observations réalisées sur les autres bâtiments.

8.4.2 Comportement du vent dans l'espace

Les cinq graphiques ci-après représentent la fréquence du vent en direction (par tranche de vitesse) pour les cinq bâtiments instrumentés, sur près de deux ans (2004-2005).

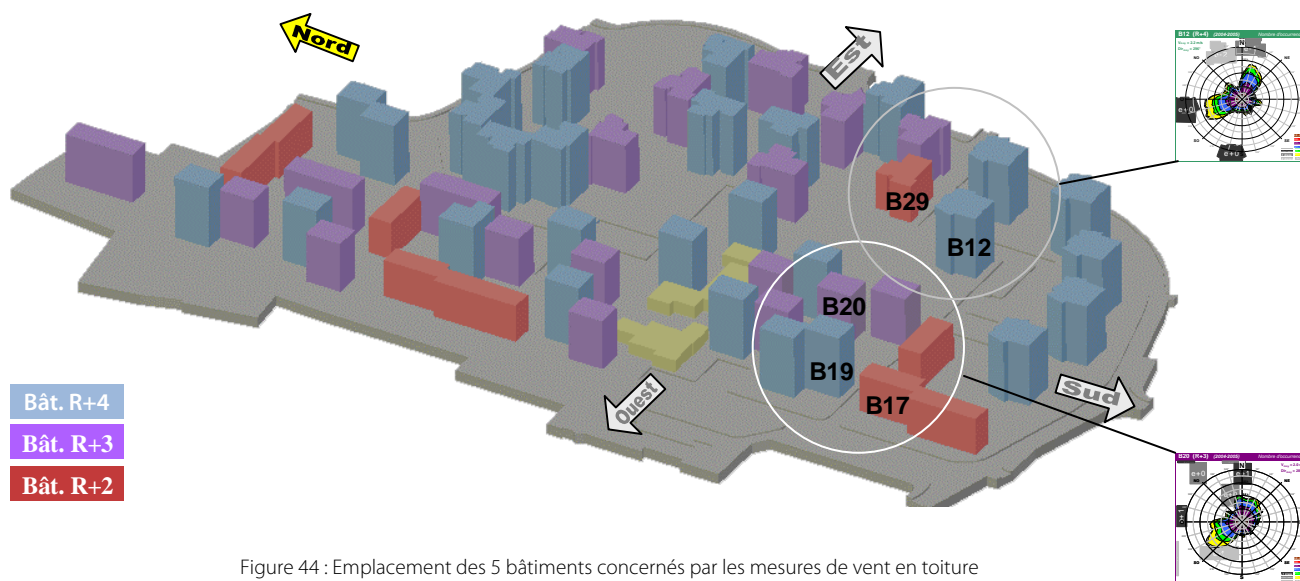


Figure 44 : Emplacement des 5 bâtiments concernés par les mesures de vent en toiture

Comme le montre le plan de situation en trois dimensions ci-dessus, deux de ces bâtiments sont regroupés dans une première zone plus à l'est, et trois autres dans une seconde plus à l'ouest.

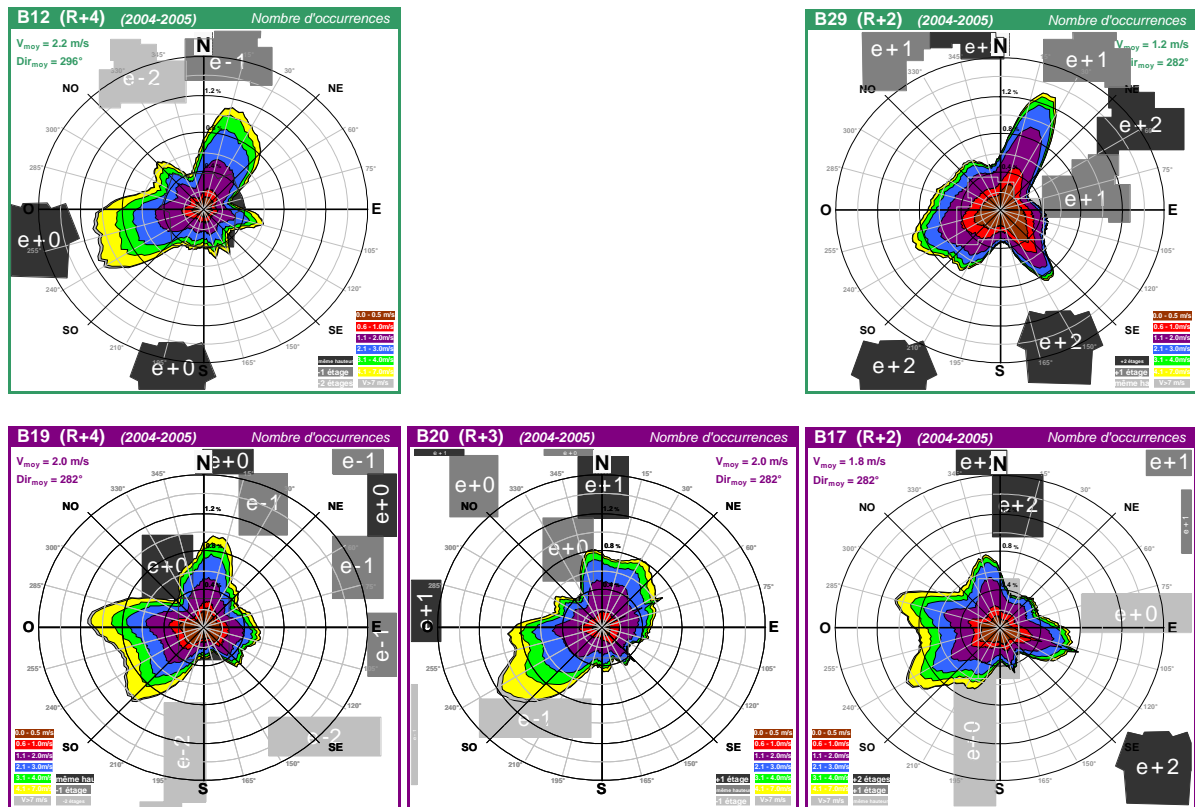


Figure 45 : Fréquence des directions de vent par tranche de vitesse en 2004 à 2005 (bâtiments 12-17-19-20-29)

On peut constater pour chacun des bâtiments, des formes de graphiques très différentes.

Cependant, si l'on considère la valeur de direction annuelle moyenne calculée (dans un des coins supérieurs des graphiques), il apparaît que les directions moyennes (282° par rapport au nord) sont extrêmement proches, excepté pour le bâtiment 12 (292°), le plus exposé (cet écart de 10° pourrait très bien être attribué à la précision d'installation de la girouette relativement au nord).

D'une façon générale, les bâtiments les plus hauts présentent des vitesses annuelles moyennes plus élevées (Bâtiments R+4 : B12 ~ 2,2 m/s ; B19 ~ 2 m/s) que les bâtiments plus petits (Bâtiments R+2 : B29 ~ 1,2 m/s ; B17 ~ 1.8 m/s).

Lorsqu'on regarde deux mêmes types de bâtiments situés dans deux zones séparées de seulement 150 mètres, on peut se rendre compte d'une différence récurrente : le bâtiment 19 (R+4) situé à l'ouest perd une grosse partie de la dominante nord/nord-est du bâtiment 12 (R+4) situé à l'est. Il en est de même pour les bâtiments "R+2" B29 (à l'est) et B17 (à l'ouest).

Ne disposant pas de l'ensemble de la topologie environnant le site, il est difficile de conclure sur un effet de "traîne" ou "d'érosion" du vent, à moyenne échelle.

En tentant de mettre en évidence un effet de masque local d'un bâtiment proche sur un autre, on se rend compte qu'il est impossible de conclure de façon systématique, ne serait-ce que du fait de la "pollution" des formes de graphiques par les directions de vents dominantes.

Une recherche complémentaire sur d'éventuels **effets de masque** a permis de conclure que ceux-ci **ne sont pas principalement dus aux obstacles immédiats**. Toutefois un « effet de couloir » (Ouest – Est) se dégage, qui peut être induit par la topologie environnante du terrain.

8.5 Conclusion partielle

L'**humidité absolue extérieure** apparaît comme un paramètre significatif de l'évolution "saisonnière" de la température extérieure, et par conséquent du moteur thermique de la ventilation naturelle.

Ainsi, l'**humidité relative intérieure** des logements (elle-même significative de l'humidité absolue extérieure), se présente comme un paramètre particulièrement pertinent pour l'exploitation et la régulation des effets du moteur thermique ; **sa prise en compte apparaît donc nécessaire pour une maîtrise des débits de ventilation en tirage naturel.**

Bien que le caractère extrêmement chaotique du vent "instantané" soit largement admis (aspect fractal des variations de direction et de vitesse, aux échelles de la seconde, de l'heure et de la semaine), tout comme l'aspect ondulatoire des champs de pression engendrés (l'effet du vent ne se répercute pas de façon simultanée sur les diverses parties - façades et toiture - d'un même bâtiment), son comportement statistique semble tout autant complexe.

Il semble très délicat de mettre en évidence un état stable du vent, pouvant être représentatif d'une situation dominante, états pourtant pris en compte dans les calculs/simulations ou tests de composants de ventilation assujettis au vent, et renvoyant des résultats en terme de performance, pour ces conditions bien particulières.

L'influence même d'obstacles à proximité immédiate sur les bâtiments étudiés n'a pu être ici mise en évidence.

9. Apports de la modulation hygroréglable

9.1 Fonctionnement théorique

Les grilles d'extraction hygroréglables (Figure 46) installées dans le cadre de ce projet sont caractérisées par une ouverture proportionnelle au taux d'humidité relative (voir courbe Figure 47) ; leur plage de tolérance est déterminée par une enveloppe telle que présentée en Figure 49.



Figure 46 : Grille de ventilation hygroréglable GHN 15-75

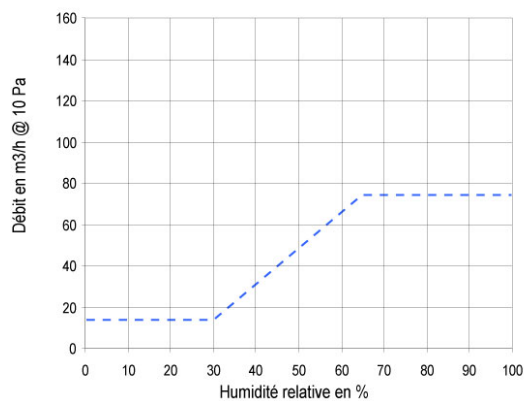


Figure 47 : Courbe théorique de la grille GHN 15-75

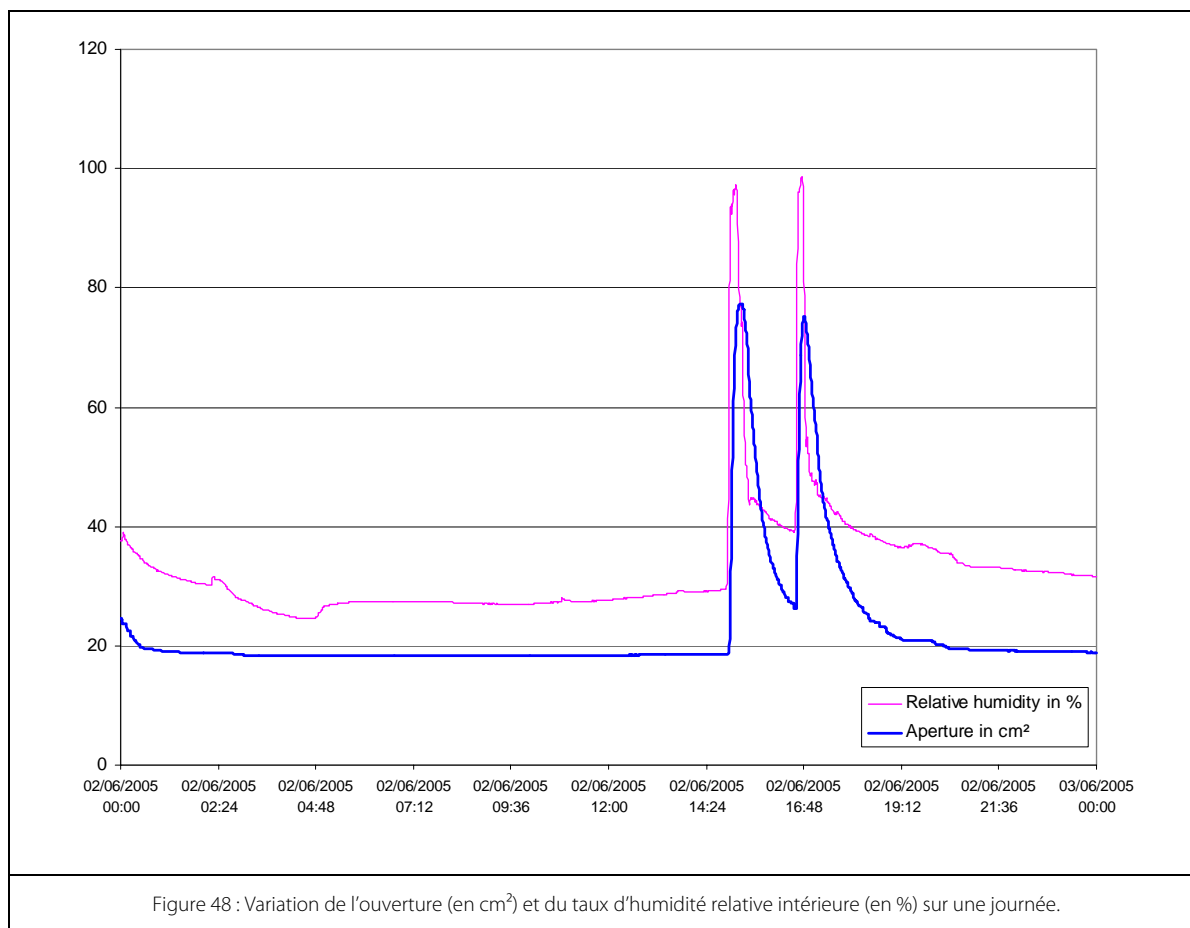
Ce projet a permis en outre de mesurer les performances de ces produits en caractérisant la section d'ouverture en fonction du taux d'humidité relative, par l'observation instantanée ainsi que par l'observation statistique.

9.2 Comportement instantané et réactivité de l'hygroréglable

Sur le graphe de la Figure 48, nous avons représenté les variations de l'ouverture d'une grille d'extraction hygroréglable ainsi que le taux d'humidité relative mesuré sur une journée, dans une salle de bain.

On peut constater que **l'élévation du taux d'humidité s'accompagne rapidement de l'ouverture de la grille d'extraction hygroréglable**. Moins de 2 minutes sont généralement nécessaires pour provoquer l'ouverture de la grille hygroréglable lors d'une montée rapide du taux d'humidité. De même, on peut observer que la section d'ouverture de la grille diminue rapidement lorsque le taux d'humidité décroît. Ce phénomène est observé sur la totalité des grilles hygroréglables mesurées.

Ce graphique permet également de vérifier que **la grille hygroréglable est capable de suivre la grande amplitude de variation du taux d'humidité dans la pièce**, la section d'ouverture passant de 19 à 75 cm² lorsque l'humidité relative augmente de 30% à 90%.



9.3 Comportement statistique et évolution saisonnière

9.3.1 Un comportement influencé par la saison

Sur la Figure 49, nous avons représenté l'ensemble des points [ouverture – humidité relative] mesurés sur une saison climatique complète, sur la totalité des grilles hygroréglables du projet. Les couleurs représentent les périodes de l'année (mois) pendant lesquels les enregistrements ont été effectués.

Les 2 courbes linéaires en rouge représentent les tolérances mini et maxi du produit.

On constate alors que :

- Les points [ouverture – humidité relative] sont situés dans l'enveloppe de tolérance de la grille d'extraction hygroréglable¹⁴.

Les caractéristiques hygroscopiques in-situ des grilles d'extraction mises en œuvre sont donc conformes à la théorie et à celles mesurées en laboratoire (Cf § 9.1).

- L'ouverture de la grille couvre la quasi-totalité de la plage parcourue par le taux d'humidité relative sur l'année.

Avec une ouverture débutant à 30 % d'humidité relative et une butée maximale atteinte à partir de 65% d'humidité relative, la grille hygroréglable suit l'amplitude des évolutions d'humidité relative moyenne rencontrées au long de l'année en fonction des saisons. Cette représentation statistique correspond aux cas sans productions d'humidité à l'intérieur du logement.

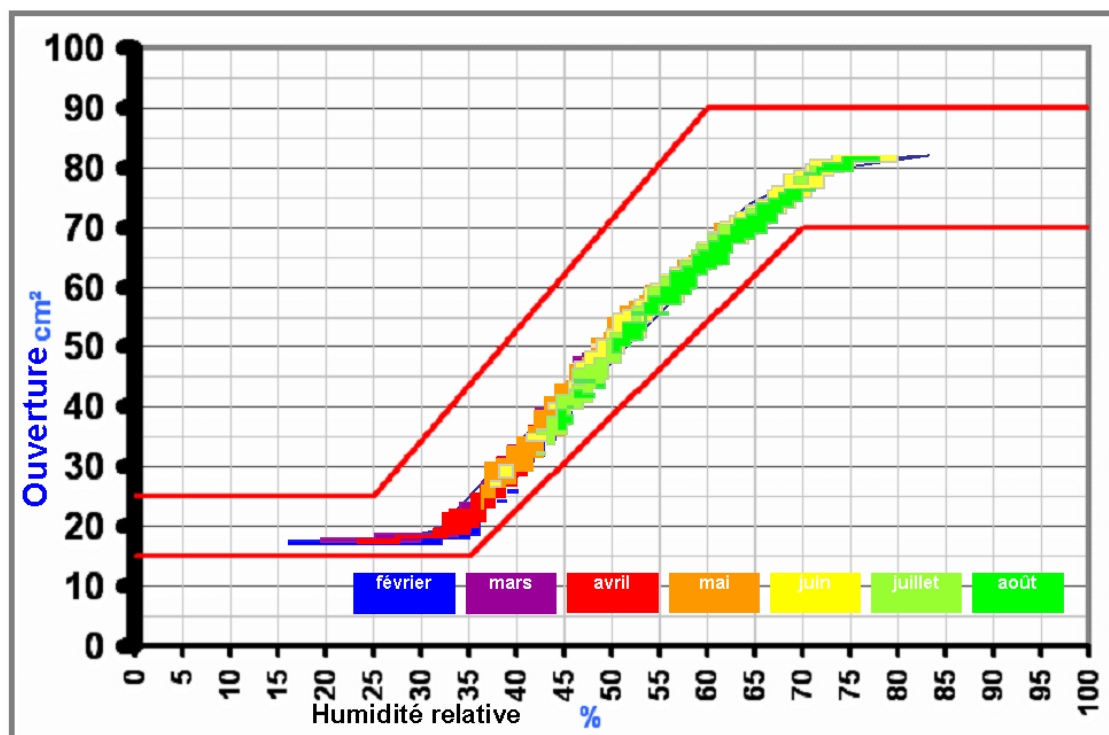


Figure 49 : Vue statistique sur l'année 2004 de l'ouverture (en cm²) en fonction du taux d'humidité relative intérieure (en %) de l'ensemble des grilles d'extraction hygroréglable sur les 5 bâtiments (WC et salles de bain).

¹⁴ Les points représentés constituent 95% des couples [ouverture – humidité] les plus fréquents (une mesure par minute). Afin de faciliter la lecture, nous avons retiré les 5% des points les moins fréquents en densité. Il s'agit principalement de points correspondant aux productions intérieures d'eau (douche, bain, cuisine, linge, etc.).

Comme on peut l'observer sur le graphe de la Figure 49 de même que sur les 3 graphes de la Figure 51, on constate que **l'ouverture moyenne de la grille hygroréglable dépend de la saison** : elle est faible en saison froide et se décale vers une ouverture plus forte au fur et à mesure que la saison devient plus chaude.

En effet, si on se réfère au § 8.2 sur l'évolution de l'humidité absolue extérieure au long de l'année, on observe une variation saisonnière de l'humidité absolue extérieure, et sa conséquence sur le taux d'humidité relative intérieure : faible en hiver, forte en été.

En adaptant automatiquement sa section de passage moyenne en fonction de la saison, la grille d'extraction hygroréglable offre une réelle maîtrise du moteur thermique pour une limitation des déperditions d'énergie.

9.4 Un débit instantané adapté aux besoins ponctuels à chaque instant

Si le débit moyen dépend de la saison, il en est tout autre chose pour ce qui est du débit instantané : **Le débit instantané suit les variations ponctuelles d'humidité relative** dans la pièce, comme le montrent les Figure 48 et Figure 50 quelle que soit la saison.

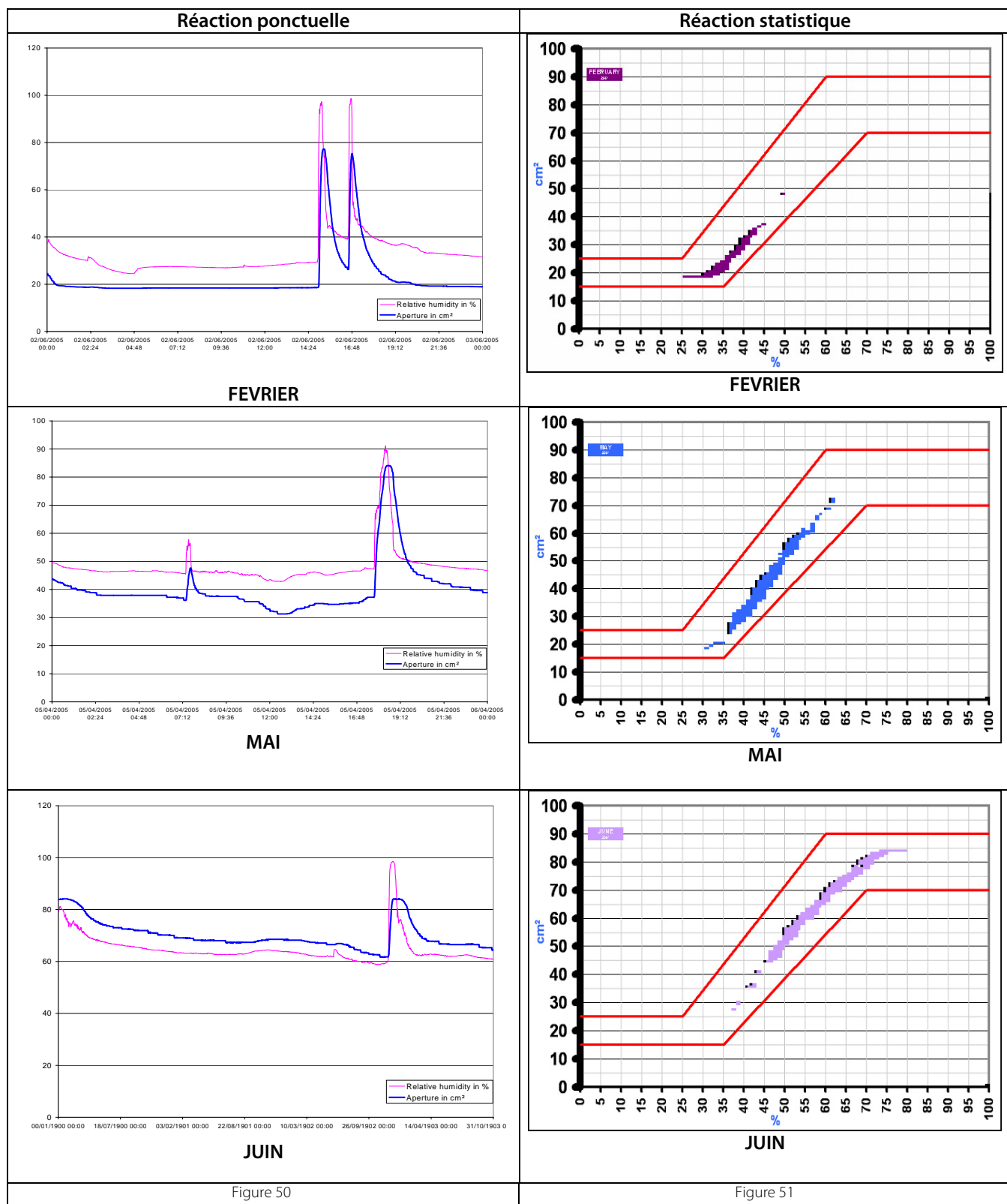
La prise d'une douche, que ce soit en été comme en hiver, provoque une élévation rapide du taux d'humidité relative intérieure qui va augmenter l'ouverture de la grille durant quelques minutes, le temps d'évacuer l'excédent d'humidité.

Sans impact sur les déperditions thermiques car très ponctuelle, l'ouverture adaptée aux variations ponctuelles de l'humidité relative garantit la qualité d'air à chaque instant.

Légende des graphiques suivants :

Figure 50 : Vue ponctuelle sur une journée de la variation de l'ouverture (en cm^2 , courbe rose) et du taux d'humidité relative intérieure (en %, courbe bleue) d'une grille d'extraction hygroréglable en salle de bain, sur 3 périodes de conditions thermiques différentes.

Figure 51: Vue statistique sur un mois de l'ouverture (en cm^2) en fonction du taux d'humidité relative intérieure (en %) d'une grille d'extraction hygroréglable en salle de bain, sur 3 périodes de conditions thermiques différentes. Cette représentation statistique correspond aux cas sans productions d'humidité à l'intérieur du logement.



9.5 Effet régulateur de l'hygroréglable sur les débits

Un autre mode de représentation en terme de débits résultants confirme la capacité la technologie hygroréglable à stabiliser les débits moyens au long de l'année :

Sur les graphiques de la Figure 53, nous avons représenté le débit moyen d'un cas particulier mais représentatif de la salle de bain du 1^{er} étage du bâtiment n°12 de 5 niveaux (R+4), pile 3, d'après les mesures réalisées sur le terrain.¹⁵ Les mesures déterminantes du point représentatif du mois ont été enregistrées assistance à l'arrêt (voir § 4.5.1), selon la méthode schématisée Figure 52.

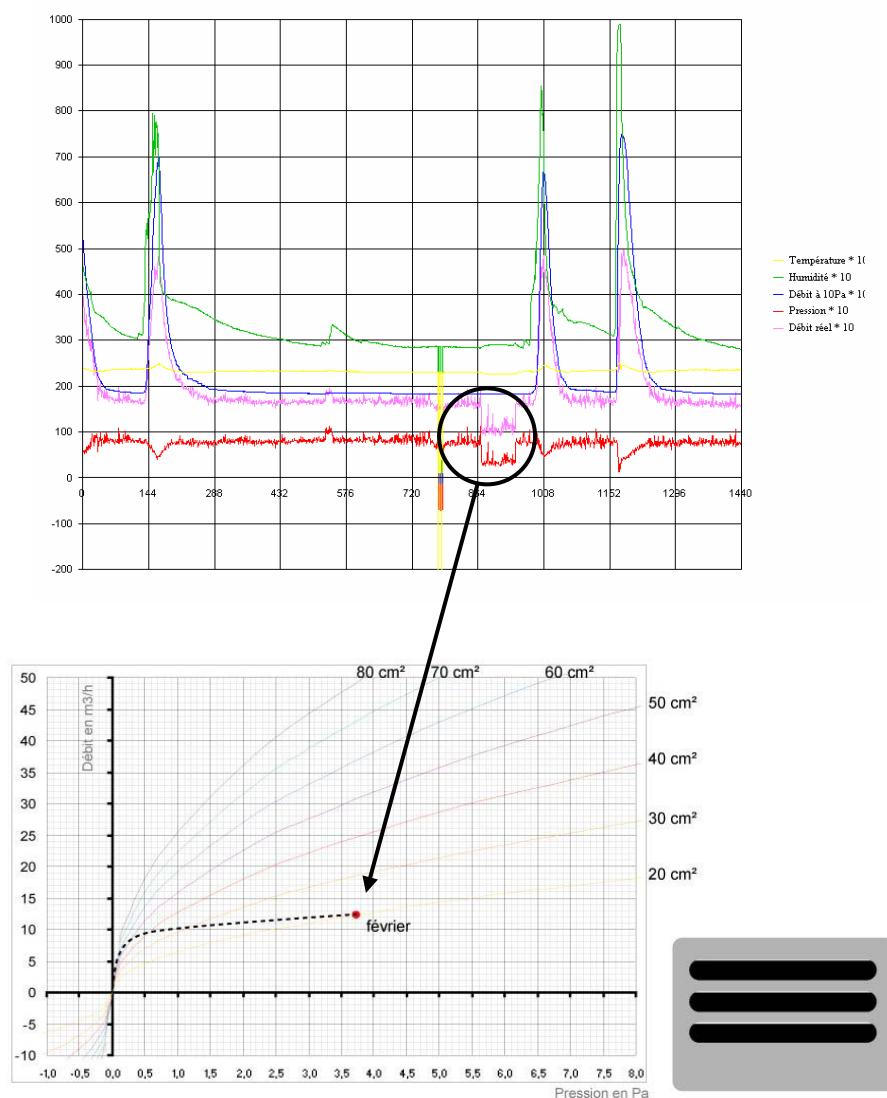


Figure 52 : Détermination du point [débit-pression] représentatif du mois de février à partir des mesures réalisées assistance à l'arrêt

¹⁵ Ce conduit dessert à la fois des salles de bain et des WC, soit un total de 10 pièces, d'où des pertes de charges importantes pouvant justifier un niveau relativement bas de pressions.

En hiver, du fait du taux d'humidité relative bas en l'absence d'apport d'humidité supplémentaire, la grille se ferme naturellement, venant limiter le débit en compensant l'effet du tirage thermique, qui est alors important (environ 4 Pa).

En période plus chaude, la grille a tendance à s'ouvrir plus amplement, du fait de l'élévation du taux d'humidité relative moyen.

Parallèlement à ces états « moyens », la grille hygroréglable reste sensible à l'augmentation ponctuelle du taux d'humidité (douche par exemple) toute l'année : elle réagit instantanément pour s'ouvrir plus amplement (Figure 54), quelle que soit la saison.

Sur un cas typique et représentatif d'une salle de bain du 1^{er} étage, on constate que **le débit moyen de la grille hygroréglable est réduit en saison froide, contribuant à réaliser d'importantes économies d'énergie sur le chauffage.**

La qualité d'air est assurée grâce à une adaptation instantanée de la section d'ouverture aux élévations ponctuelles du taux d'humidité relative.

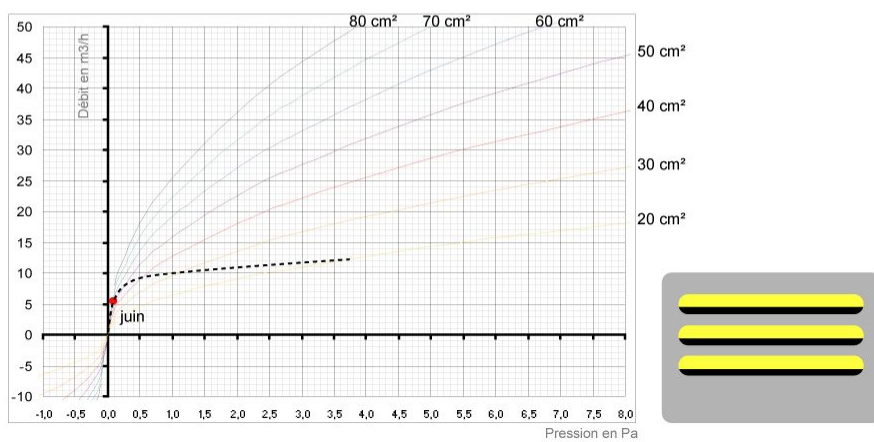
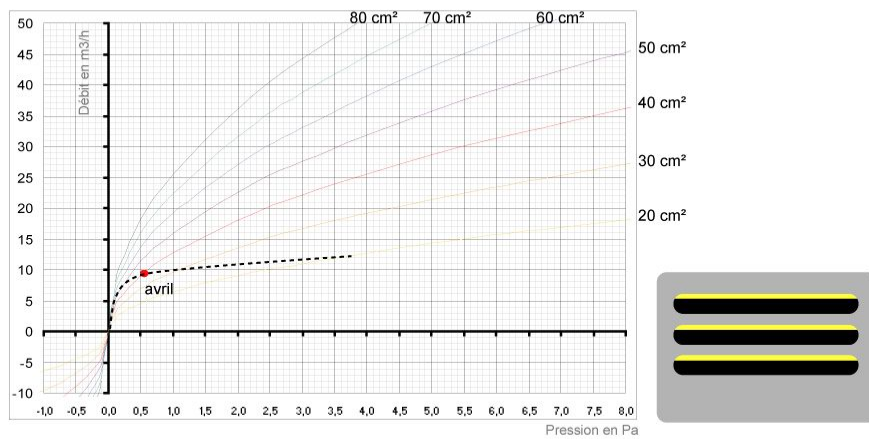
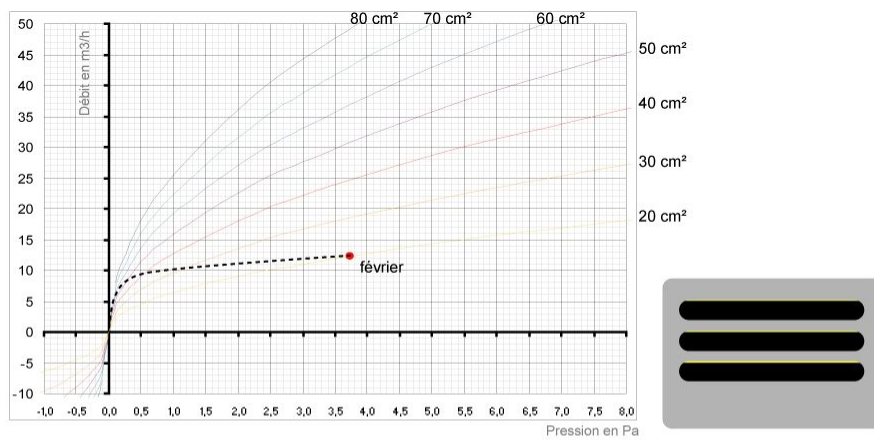


Figure 53 : Débits moyens hygroréglables en fonction de la période sur un cas typique en salle de bain.

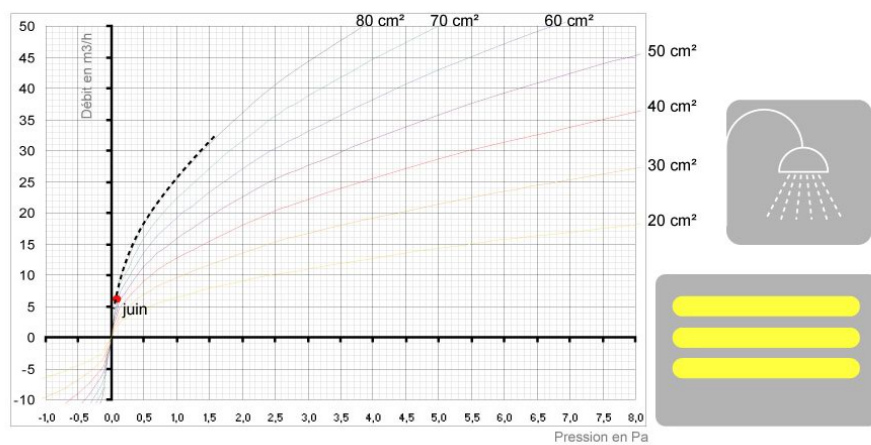
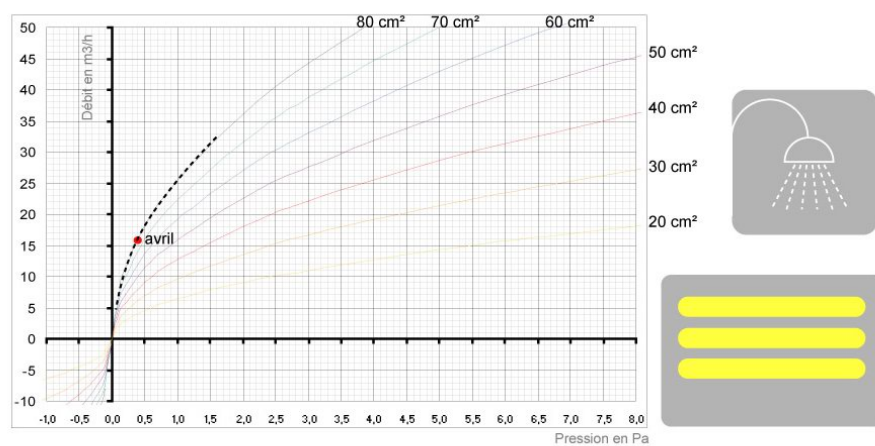
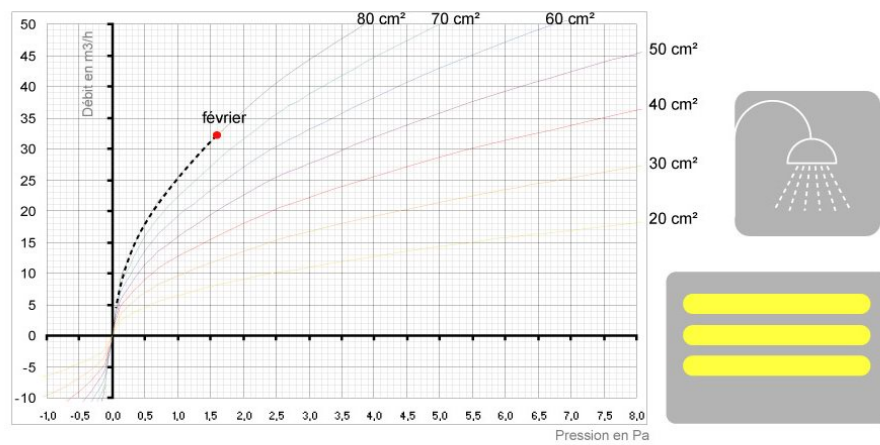


Figure 54 : Débits ponctuels instantanés en réaction à une élévation du taux d'humidité soudaine sur le même cas typique.

9.6 L'Humidité, révélateur de l'activité dans le logement

La simple observation des variations d'humidité relative dans le logement donne souvent une bonne indication du comportement et de l'activité de ses occupants.

Sur la Figure 55, nous avons représenté un exemple des variations de différents paramètres d'une grille hygroréglable en salle de bain au cours d'une journée (abscisse en minutes de la journée).

Les évolutions soudaines du taux d'humidité relative laissent à penser que 3 douches ont été prises dans la journée. (flèches)

En effet, on constate que l'élévation rapide du taux d'humidité en salle de bain est accompagnée d'une augmentation brutale de la température à la buse du chauffe-eau en cuisine (l'eau chaude utilisée par la douche est produite par le chauffe-eau placé en cuisine¹⁶) comme on peut le voir sur le graphe Figure 56.

Le taux d'humidité a donc révélé instantanément le besoin de ventiler en salle de bain ; la réaction de la grille a permis d'évacuer l'excès d'humidité généré. Le débit moyen, lui, reste relativement faible du fait de la ponctualité du besoin, ce qui contribue à limiter les déperditions thermiques par renouvellement d'air lors de la période de chauffage.

Remarque : On peut constater une élévation de la pression accompagnée d'une baisse d'humidité relative autour de la minute 600 (10h du matin). Celle-ci s'explique par une ouverture de fenêtre.

¹⁶ On constate par ailleurs les conséquences sur la pression en cuisine, qui, bénéficiant d'une augmentation du tirage thermique, devient plus importante. A l'inverse, la pression chute en salle de bain car le débit généré par l'ouverture de la grille est plus important.

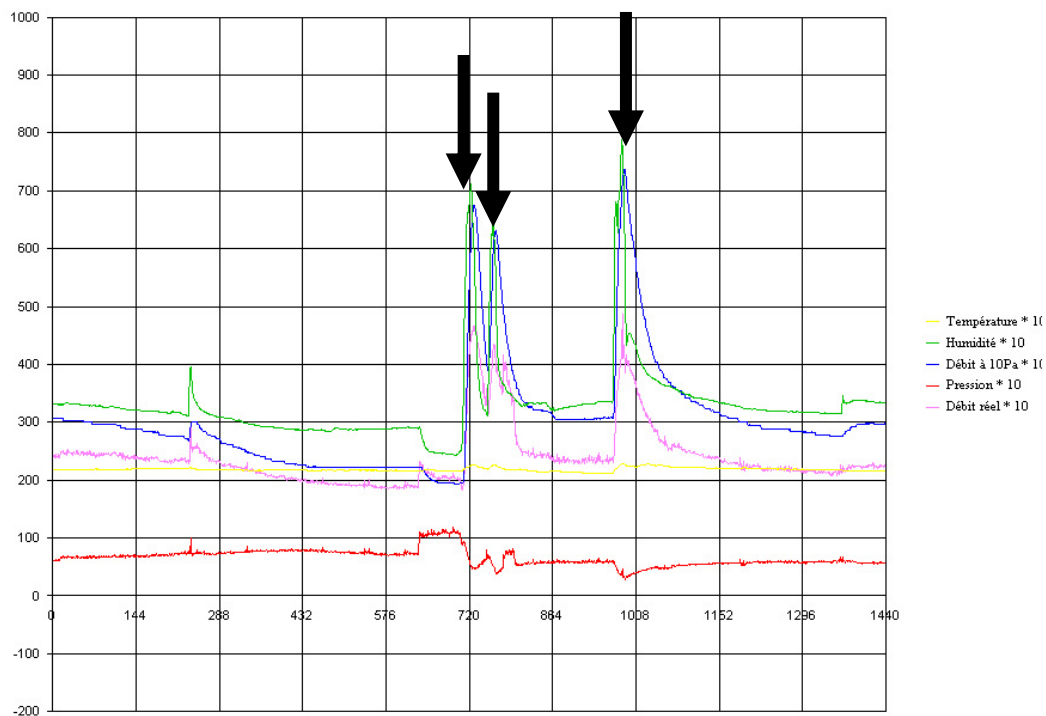


Figure 55 : Variation des paramètres collectés par une grille de mesures pendant 24 heures sur une **Salle de bain**

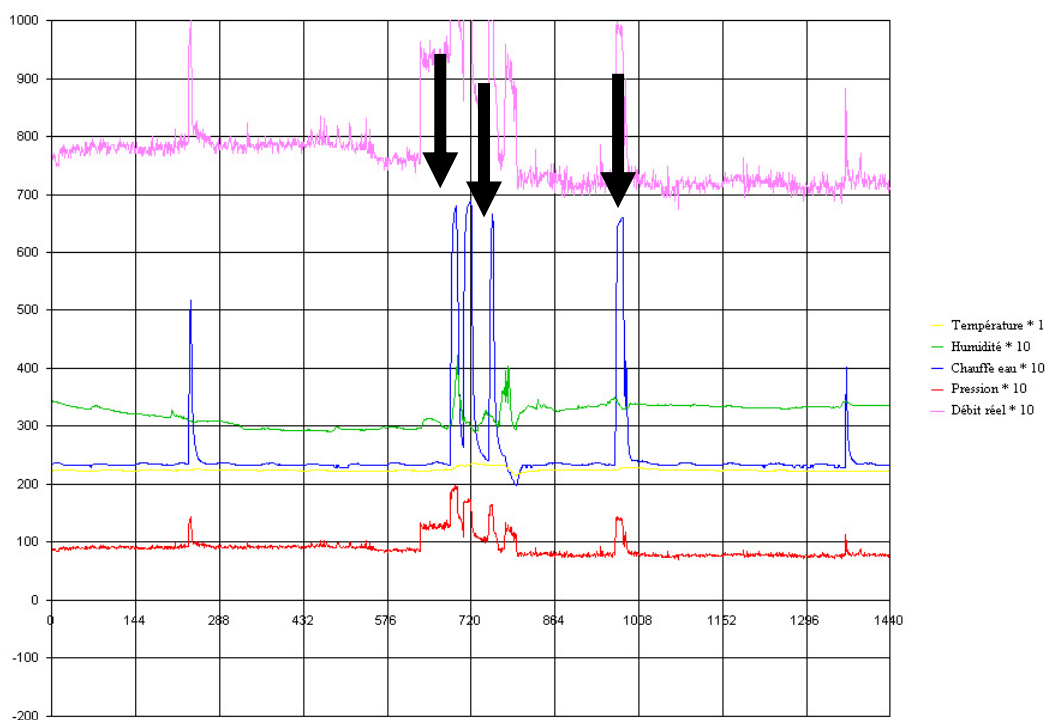


Figure 56 : Variation des paramètres collectés par une grille de mesures pendant 24 heures sur une **Cuisine**

9.7 Equilibrage des débits entre étages

L'exemple présenté en Figure 57 illustre particulièrement bien l'aptitude des terminaux hygroréglables à homogénéiser les débits extraits d'un étage à l'autre.

Les graphiques suivants présentent pour deux périodes distinctes de l'année, des mesures de débits instantanés (chaque minute) en ventilation naturelle (pas d'assistance et périodes sans production d'humidité intérieure), sur près d'une demi-heure, en cuisines et salles de bain de cinq étages d'une même pile de logements (Pile 3 du bâtiment 12). Ces grilles sont raccordées à des conduits de ventilation communs.

Les graphiques de droite montrent le cas de mesures enregistrées en **hiver** (le 20 déc. 2005), ceux de gauche des mesures en "**mi-saison**" (le 19 avril 2005).

Les débits mesurés en cuisines (équipées d'appareils à gaz dont l'extraction équivaut à une grille fixe) apparaissent en partie droite des graphes (fond orangé), et ceux des salles de bain / WC en partie gauche (fond rosé).

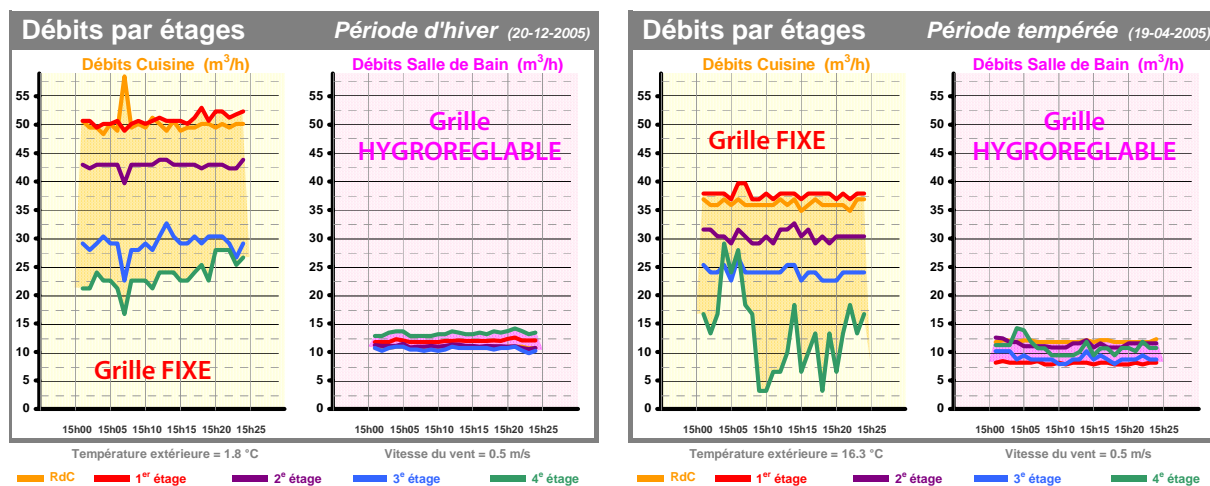


Figure 57 : Débits par étage – comparaison ventilation fixe / hygroréglable

En ventilation "**grilles d'extraction fixes**" (cuisine) on constate des différences de débits très importantes d'un étage à l'autre, débits allant de 25 à 50 m³/h en hiver, et de 15 à 35 m³/h en avril, soit un **écart typique de $\pm 40\%$ (± 25 m³/h)**.

Ce cas illustre clairement l'effet du tirage thermique, qui se fait « proportionnellement » à la hauteur de conduit d'extraction (aux effets de pertes de charge du conduit près).

En ventilation **hygroréglable** (salle de bain) on constate en revanche des différences de débits très limitées d'un étage à l'autre, débits allant de 11 à 14 m³/h en hiver, et de 8 à 12 m³/h en avril, soit un **écart typique de $\pm 7\%$ (± 3 m³/h)**. Il est important de rappeler que la période choisie correspond à un moment où il n'y a pas eu de production d'humidité intérieure, ce qui explique l'absence de variations du débit.

En équilibrant les débits à un niveau moyen stable et bas en l'absence de création d'humidité, **la ventilation hygroréglable non seulement limite les déperditions thermiques, mais elle offre à chaque étage, à chaque pièce, un potentiel à répondre à une demande ponctuelle importante, car le conduit n'est pas surchargé inutilement par les autres étages.**

9.8 Impact énergétique

En l'absence de référentiel et d'outil de calcul normalisé en ventilation naturelle¹⁷, il n'est pas possible à l'heure actuelle (2006) de déterminer les gains énergétiques sur le renouvellement d'air obtenus grâce à l'utilisation de la ventilation naturelle hygroréglable.

Cependant, une observation statistique du comportement mesuré de la ventilation naturelle hygroréglable en fonction des conditions saisonnières permet une approche qualitative de la maîtrise énergétique (voir § 11.5). L'aspect énergétique de ce système de ventilation a déjà été mesuré au cours de l'expérimentation « Passive humidity controlled ventilation for existing dwellings - Demonstration project EE/166/87 » et **a permis d'évaluer les gains thermiques à 32% par rapport à un système de ventilation non modulée.**

9.9 Fiabilité des grilles hygroréglables

A leur retour après démontage, des tests aérauliques ont été réalisés sur 10 des 166 grilles installées dans le cadre du projet.

Réalisé courant juin 2006, ce contrôle a été effectué sur 10 grilles hygroréglables après 18 mois d'utilisation en WC ou en salle de bain, sur le banc de mesure de débit de la salle hygroréglée du laboratoire CERGA (Figure 58).



Figure 58 : Banc de mesure de débit en salle hygroréglée

¹⁷ L'AVEMS travaille en collaboration avec la DGUHC, l'ADEME, l'USH, Gaz De France, EDF et le CSTB sur le développement d'un outil de calcul et de dimensionnement de la ventilation naturelle et hybride, ainsi que sur un outil d'évaluation de la performance énergétique de ces systèmes.

Résultats :

En comparant les caractéristiques hygroscopiques des grilles avant leur installation en juin 2004 et à leur retour en juin 2006, on peut constater que, malgré un encrassement visible relativement important,¹⁸ les performances de toutes les grilles hygroréglables sont bien conservées. En effet, **la totalité des 10 grilles mesurées restent dans la plage de tolérance du produit.**

Sur le graphe Figure 61, on observe que la courbe de la grille utilisée durant plus de 18 mois est très proche de celle mesurée avant son installation.

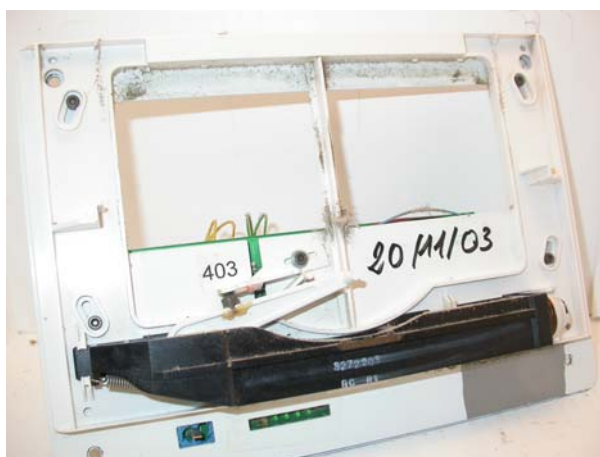


Figure 59 : Grille n°403 - intérieur



Figure 60 : Grille n°403 - extérieur

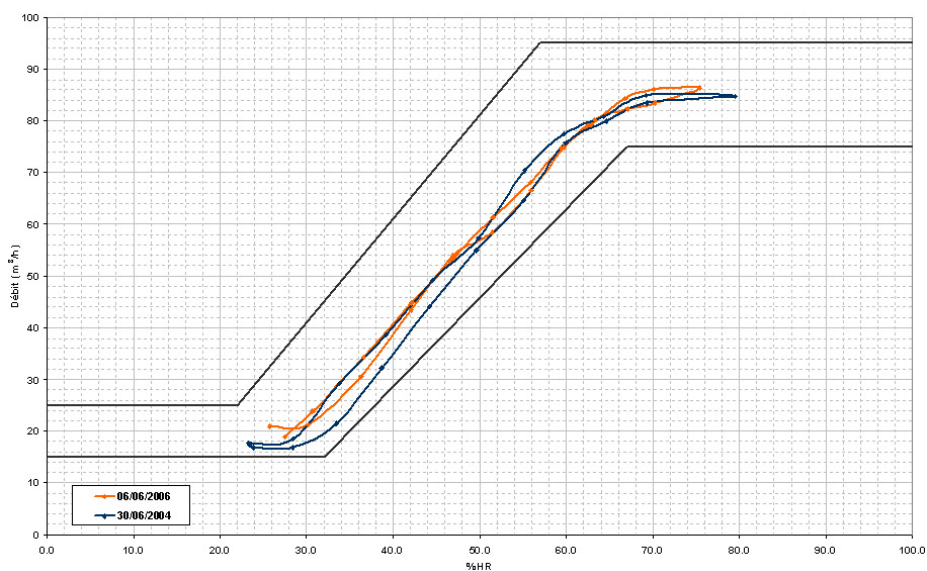


Figure 61 : courbe de la grille hygroréglable n°403 – comparaison juin 2004 – juin 2006

¹⁸ L'encrassement, important du fait de la demande de non-intervention sur les appareils par les occupants, a été conservé pour les mesures durant le test en laboratoire.

Parmi les 10 grilles testées, 2 ont présenté des courbes légèrement décalées par rapport à celles d'origine. En nettoyant les volets de ces deux grilles d'extraction particulièrement encrassées à l'aide d'un simple chiffon, **le débit et les performances d'origine ont été intégralement retrouvés**. Ce point confirme notamment la garantie à vie des caractéristiques hygroscopiques du capteur hygroréglable¹⁹.

9.10 Conclusion partielle

Les performances aérauliques des grilles hygroréglables sont conformes à celles annoncées : leur ouverture est proportionnelle au taux d'humidité relative intérieur, et la totalité de la plage de variation d'humidité relative est balayée. La grille répond instantanément aux variations ponctuelles de l'humidité relative, assurant de ce fait la qualité d'air intérieur en permanence.

Des tests retour après 18 mois d'utilisation ont permis de vérifier la fiabilité totale des grilles d'extraction hygroréglables.

L'ouverture moyenne des grilles hygroréglables est directement liée à la saison : plus fermée en hiver qu'en été, **elle permet une réelle maîtrise du moteur thermique, et donc des dépenses énergétiques**.

Enfin, elle permet d'équilibrer les débits moyens entre les étages, à un niveau bas en l'absence de production intérieure d'humidité, libérant ainsi le conduit collectif pour le rendre disponible afin de répondre à une demande ponctuelle importante, le conduit n'étant pas surchargé inutilement par les autres étages.

¹⁹ dans la mesure où les conditions de garantie sont respectées. Voir document Aereco référence OTH194FR « Conditions de garantie du fabricant ».

10. Apport de l'assistance mécanique basse pression

10.1 Ventilateur VBP en service - Pressions aux appareils à gaz raccordés

Dans cette partie, nous nous intéressons aux performances du ventilateur basse pression en marche et sa capacité à assurer le bon fonctionnement des appareils à gaz raccordés de type « chauffe-eau ».

10.1.1 Contextes

10.1.1.1 Coexistence Ventilation / Evacuation des produits de combustion

Dans le cadre des logements étudiés ici, l'extraction de l'air vicié se fait à deux niveaux : en salles de bain et WC d'une part, via des grilles d'extraction (hygroréglables), et en cuisines d'autre part, via le conduit d'évacuation des produits de combustion.

Une aspiration **permanente** (que l'appareil à eau chaude sanitaire soit en fonctionnement ou non) permet ainsi l'évacuation des produits de combustion et l'alimentation en air comburant du foyer, lors de la mise en marche du "chauffe-eau".

Du point de vue de la ventilation, le "chauffe-eau" joue donc le rôle d'un terminal de ventilation, se **comportant comme une grille d'extraction "fixe"**, de perte de charge grossièrement équivalente à celle du coude métallique la raccordant au conduit (section aéraulique équivalente de $\sim 85 \text{ cm}^2$, i.e. permettant un débit de $85 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une pression de 10 Pa).



Figure 62 : Appareil à eau chaude sanitaire du logement du 1^{er} étage de la pile n°1 du bâtiment 12

10.1.1.2 Fonctionnement des appareils à gaz raccordés

Afin de permettre un fonctionnement correct des appareils à eau chaude sanitaire, des niveaux d'aspiration doivent être assurés :

- Il faut des pressions d'aspiration suffisantes pour extraire la totalité des produits de combustion générés lors du fonctionnement des "chauffe-eau". Un déficit de l'évacuation conduirait à la dispersion de CO₂ dans le logement, voire de CO (toxique) dans le cas extrême d'une combustion incomplète.
- Il ne faut pas des pressions d'aspiration trop intenses, afin de ne pas altérer le rendement des "chauffe-eau", voire de souffler la flamme de la veilleuse.

La sécurité est assurée par la présence de deux organes :

- le "SPOTT" (Système Permanent d'Observation du Tirage Thermique), qui permet de détecter les débordements des produits de combustion au niveau du coupe tirage (la mesure d'une élévation anormale de la température, hors du chemin d'extraction, est révélatrice de la mauvaise évacuation des gaz brûlés.)
- un dispositif coupant l'injection de gaz combustible en absence (ou disparition) de flamme, ou de veilleuse.

10.1.1.3 Aspect réglementaire

Des recommandations de mise en œuvre des appareils à gaz à tirage naturel, principalement basées sur le "DTU 61.1", sont présentées dans le document "B.84" de "l'Association Technique de l'Industrie du Gaz de France".

Il ressort que pour un fonctionnement optimum des "chauffe-eau" tels que ceux faisant partie de cette étude, une **pression à la buse* comprise entre 3 et 10 Pa est nécessaire**, ce qui permet un débit d'air comburant entre 40 et 110 m³/h.

** i.e. au niveau du raccordement sur le conduit d'extraction, dans la configuration étudiée*

10.1.2 Résultats

10.1.2.1 Pressions statistiques

Le graphique Figure 63 donne, pour chaque logement, la fréquence des pressions mesurées aux buses des appareils à gaz, sur l'année 2005.²⁰

Chaque appartement, représenté par une barre verticale, est désigné selon le type **1232**, signifiant "appartement du 2^{ème} étage, de la pile n°3 du bâtiment n°12".

Chaque barre (i.e. chaque logement) est composée de parties de différentes couleurs, de hauteur proportionnelle au pourcentage de temps durant lequel a été assurée la plage de pression associée à cette couleur. A la base des barres, on retrouve les plages de pression les plus faibles, en haut les pressions les plus fortes.

Ainsi, sur la première barre (correspondant au logement "1240"), on constate, à la base, une première partie verte signifiant des pressions à la buse comprises entre 3 et 5 Pa pendant ~25% du temps. La partie centrale bleue indique des pressions comprises entre 5 et 10 Pa pendant plus de 70% du temps. Les moins de 5% de temps restant sont remplis par la barre rose indiquant des pressions entre 10 et 15 Pa.

²⁰ Rappelons que la puissance d'alimentation, donc la pression des ventilateurs est réglée en fonction du nombre de niveaux du bâtiment.

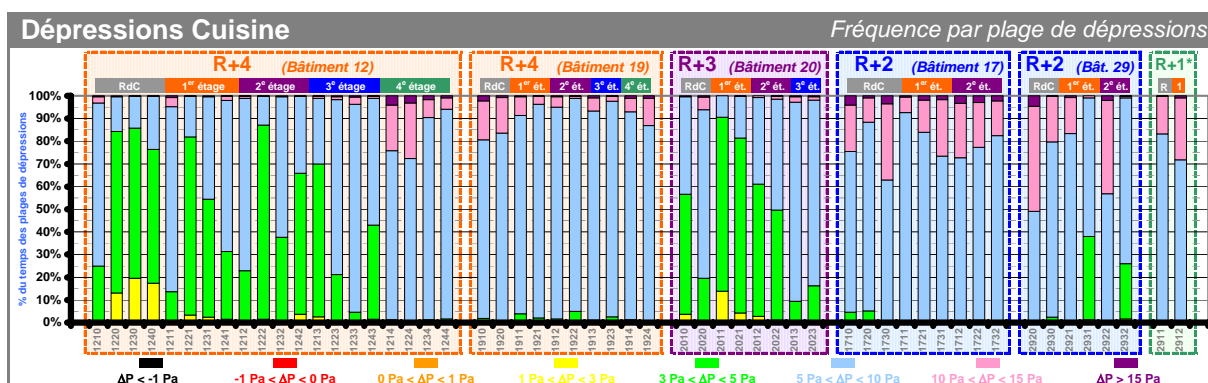


Figure 63 : Pressions aux buses des ECS, par logement sur l'année 2005 (fréquence par plage de pressions)

* Le dernier cas noté "R+1" constitue une des trois piles du bâtiment 29 de type "R+2", pile ne disposant pas de logement au rez-de-chaussée. Cette pile particulière a été traitée comme tout le bâtiment, à savoir avec un réglage de l'assistance à la ventilation naturelle de niveau "R+2".

On peut se rendre compte de comportements dépendant de la hauteur des bâtiments et de la position d'étage.

On constate ainsi des parties jaunes signifiant des pressions inférieures à 3 Pa, principalement aux rez-de-chaussée d'un bâtiment R+4, et des parties roses/violettes, indiquant des pressions supérieures à 10 Pa, au niveau des bâtiments R+2.

Le graphique suivant montre la répartition des niveaux de pressions sur la période de chauffage seule, on se rend compte que les pressions les plus faibles se suppriment, du fait de la contribution du tirage thermique d'hiver sur les rez-de-chaussée. **En période de chauffage des logements, les cas de pressions inférieures à 3 Pa deviennent très marginaux.**

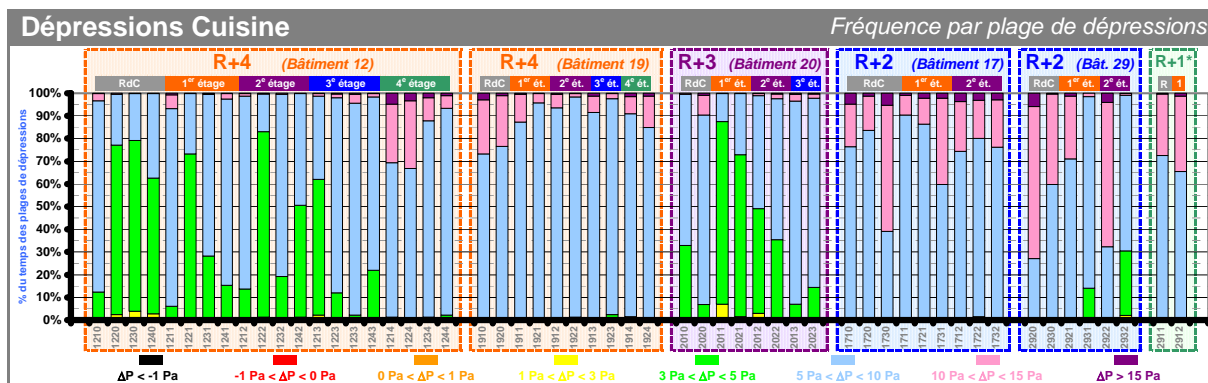


Figure 64 : Pressions aux buses des ECS, par logement sur la période de chauffage 2005 (fréquence par plage de pressions)

Ces résultats divers méritent, selon les différentes configurations, les descriptions plus détaillées des parties suivantes.

10.1.2.2 Pressions quotidiennes

10.1.2.2.1 Cas général

Le graphique suivant détaille l'évolution des pressions quotidiennes aux buses de chacune des cuisines d'un bâtiment R+4. Comme précédemment, on peut lire les fréquences de niveaux de pression (par plage) rencontrées cette fois-ci, pour chaque journée de l'année 2005.

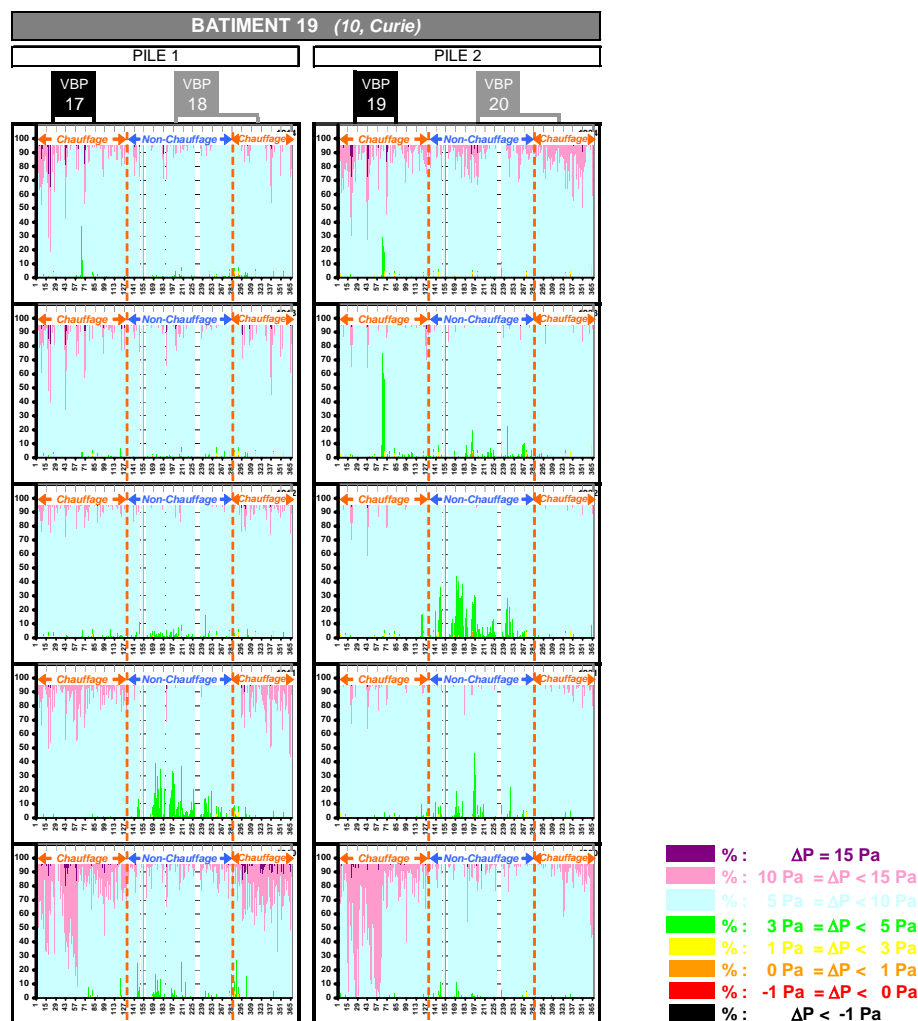


Figure 65 : Pressions quotidiennes pour les ECS du bâtiment 19 (R+4), sur l'année 2005
Légende : abscisse = jours de l'année ; Ordonnées = fréquence par plage de pressions.

Hormis de rares exceptions, **les pressions rencontrées en R+4, R+3 et R+2 sont majoritairement situées dans la plage 3 Pa – 10 Pa.**

Quelques résultats montrent cependant des pressions inférieures à 3 Pa en été sur les étages les plus bas des bâtiments R+4 et R+3, et quelques pressions supérieures à 10 Pa dans les bâtiments de type R+2. Concernant les pressions inférieures à 3 Pa, il est important de noter que ces valeurs ne sont jamais critiques : d'une part, des dépressions entre 3 et 10 Pa sont assurées une bonne partie de ces journées, et d'autre part, les dépressions ne sont jamais inférieures à 1 Pa. De plus, comme il est expliqué au § suivant, les pressions deviennent ponctuellement plus élevées dès lors que le chauffe-bain est mis en route. Quant aux pressions supérieures à 10 Pa en R+2, ces mesures ont permis de déterminer un nouveau réglage de la puissance du ventilateur.

Pour les diverses configurations testées, l'assistance à la ventilation naturelle semble adaptée à l'extraction des produits de combustion d'appareils à gaz de type « chauffe-eau ».

10.1.2.2.2 Cas particulier des périodes de fonctionnement des appareils à gaz raccordés

Si l'on prend en compte exclusivement les moments où les chauffe-eau sont effectivement **en fonctionnement**, on constate le phénomène suivant : la création de produits de combustion entraîne une augmentation de la température à l'intérieur du conduit d'extraction, induisant une **augmentation du tirage thermique**, et donc une augmentation de pression au niveau de l'appareil à eau chaude sanitaire :

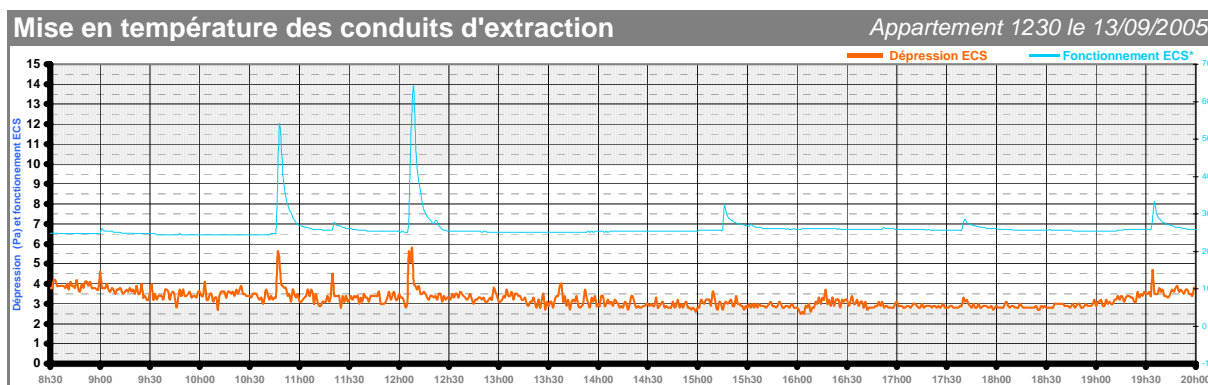


Figure 66 : Pression et mises en fonctionnement de l'appareil ECS du logement 1230 le 13 sept. 2005

Ces températures ne sont pas significatives des températures des produits de combustion, mais leurs variations indiquent de façon précise l'état de fonctionnement des chauffe-eau. On a donc recherché de façon systématique les pressions associées aux mises en route des appareils ECS.

Ainsi, on a recherché pour chaque jour, la pression moyenne durant au moins deux minutes de fonctionnement de l'appareil, et calculé la pression moyenne (sur cinq minutes) mesurée dix minutes avant la détection de la mise en route. On n'a retenu, au graphique suivant, que le cas où la pression moyenne de chaudière à l'arrêt était la plus faible, afin de mettre en évidence les cas les plus critiques.

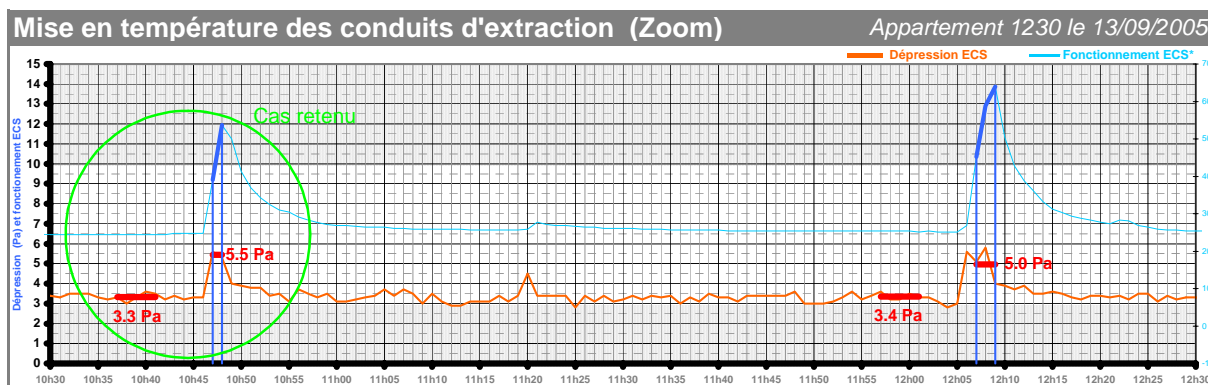


Figure 67 : Calcul des pressions selon les mises en fonctionnement de l'appareil ECS (logement 1230 le 13 sept. 2005)

Les graphiques ci-dessous répertorient les cas de pressions les plus faibles (exemple avec un bâtiment de type R+3), pour chaque jour de l'année 2005 (lorsqu'une détection de chauffe-eau a effectivement été détectée) :

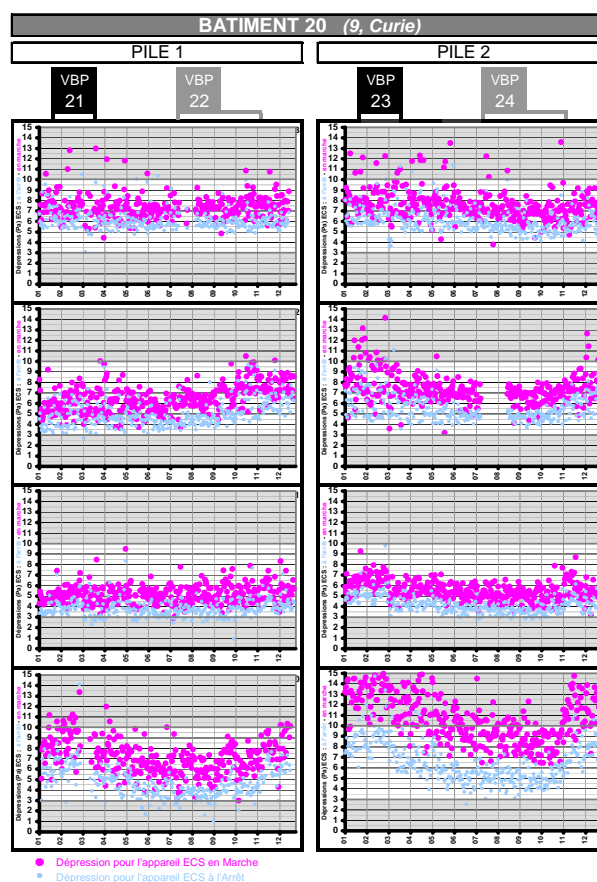


Figure 68 : Pressions selon les mises en fonctionnement des ECS

On constate que, à de rares exceptions près, **la limite basse des 3 Pa est assurée lorsque les appareils de production d'eau chaude sanitaire sont en fonctionnement**. Ce constat peut être fait sur l'ensemble des bâtiments.

L'apport additionnel du tirage thermique engendré par le fonctionnement du chauffe-eau, de l'ordre de 1,2 à 4,3 Pa²¹, permet d'atteindre au niveau de l'appareil une pression minimum de 3 Pa dans la grande majorité des cas.

²¹ à quelques exceptions près.

10.1.3 Conclusions partielles

Le graphique suivant donne, sur l'ensemble des logements, les fréquences moyennes des pressions mesurées :

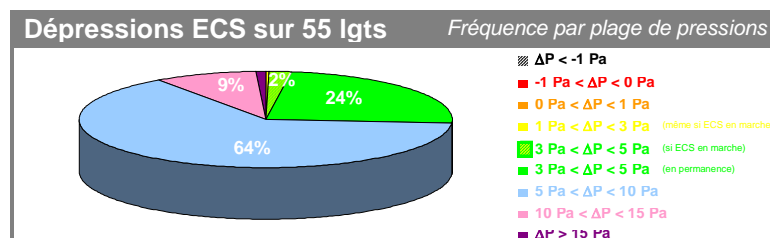


Figure 69 : Pressions moyennes annuelles 2005 pour les 55 ECS des 5 bâtiments de "R+2" à "R+4"

Le système d'assistance mécanique à la ventilation naturelle VBP montre une réelle aptitude²² à l'extraction des produits de combustion des appareils à eau chaude sanitaire à gaz raccordés, pour des bâtiments disposant jusqu'à 5 étages ("R+4") raccordés sur un conduit d'extraction commun.²³

²² Selon les règles admises de mise en œuvre, demandant au minimum 3 Pa de dépression aux appareils en permanence, et au maximum une dizaine de pascals.

²³ Afin d'optimiser la performance du système dans le cas des bâtiments "R+2", un ajustement du réglage de la vitesse des ventilateurs serait utile.

10.2 Performances du ventilateur VBP à l'arrêt

Les performances du ventilateur à l'arrêt (cas où le moteur naturel est jugé suffisant ou cas d'arrêt) ont été comparées à celles d'un extracteur statique "antirefouleur" de nouvelle génération (tel que ceux précédemment en place) répondant aux exigences de la classe B de l'ancienne norme française NF XP 50-413. La comparaison s'est effectuée en l'absence de tirage thermique, le seul moteur des systèmes étudiés étant le vent.

On a comparé (pendant deux périodes de 20 minutes ²⁴) les performances du ventilateur à l'arrêt à celles d'un extracteur statique de classe B sur deux colonnes similaires de logements (R+2) desservant des cuisines en inversant ensuite les appareils sur les colonnes desservies pour s'affranchir d'une éventuelle influence de la colonne elle-même.

On notera qu'en conduisant les essais sur des colonnes desservant des cuisines (et donc raccordées aux appareils à gaz de production d'ECS), on s'affranchit du fonctionnement des grilles d'extraction hygroréglables dont l'ouverture (et donc la perte de charge) peut varier en fonction des conditions d'humidité régnant dans la pièce.

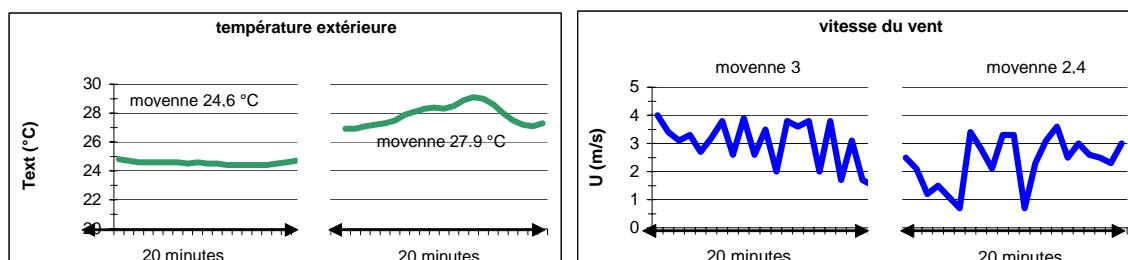
On compare ainsi uniquement les performances du ventilateur à l'arrêt et de l'extracteur statique.

10.2.1 Conditions climatiques pendant les essais

Les essais ont été conduits en fin de période estivale (2 septembre 2005).

Sur la Figure 70, on observe que la température extérieure (moyenne 24,6 °C pendant la première période de 20 minutes et 27,9 °C pendant la seconde période) est telle qu'il n'y a pas de tirage thermique.

La vitesse du vent (moyenne 3,0 m/s pendant la première période de 20 minutes et 2,4 m/s pendant la seconde période) **est le seul moteur de la ventilation naturelle.**



On notera que la température extérieure est plus élevée pendant la seconde période de 20 minutes que pendant la première, ce qui contrarie la ventilation (tirage thermique inversé). Pour ce qui concerne la vitesse du vent, d'une part la vitesse moyenne est moins élevée pendant la seconde période, d'autre part, alors que la vitesse du vent n'avait jamais été inférieure à 1,7 m/s pendant la première période, elle descend jusqu'à 0,7 m/s pendant la seconde. Ainsi pendant la seconde période de 20 minutes, température extérieure et vent contribuent à diminuer les débits extraits par rapport à la première période.

²⁴ Les périodes d'observations peuvent sembler courtes mais, compte tenu des manipulations que suppose ce type de mesure (montage et démontage des appareils sur les colonnes concernées) cela permet d'effectuer les comparaisons avec des conditions aux limites comparables. (température intérieure, température extérieure, vitesse du vent)

10.2.2 Débits extraits

Les graphes ci-après montrent les débits extraits à chaque étage pendant les essais :

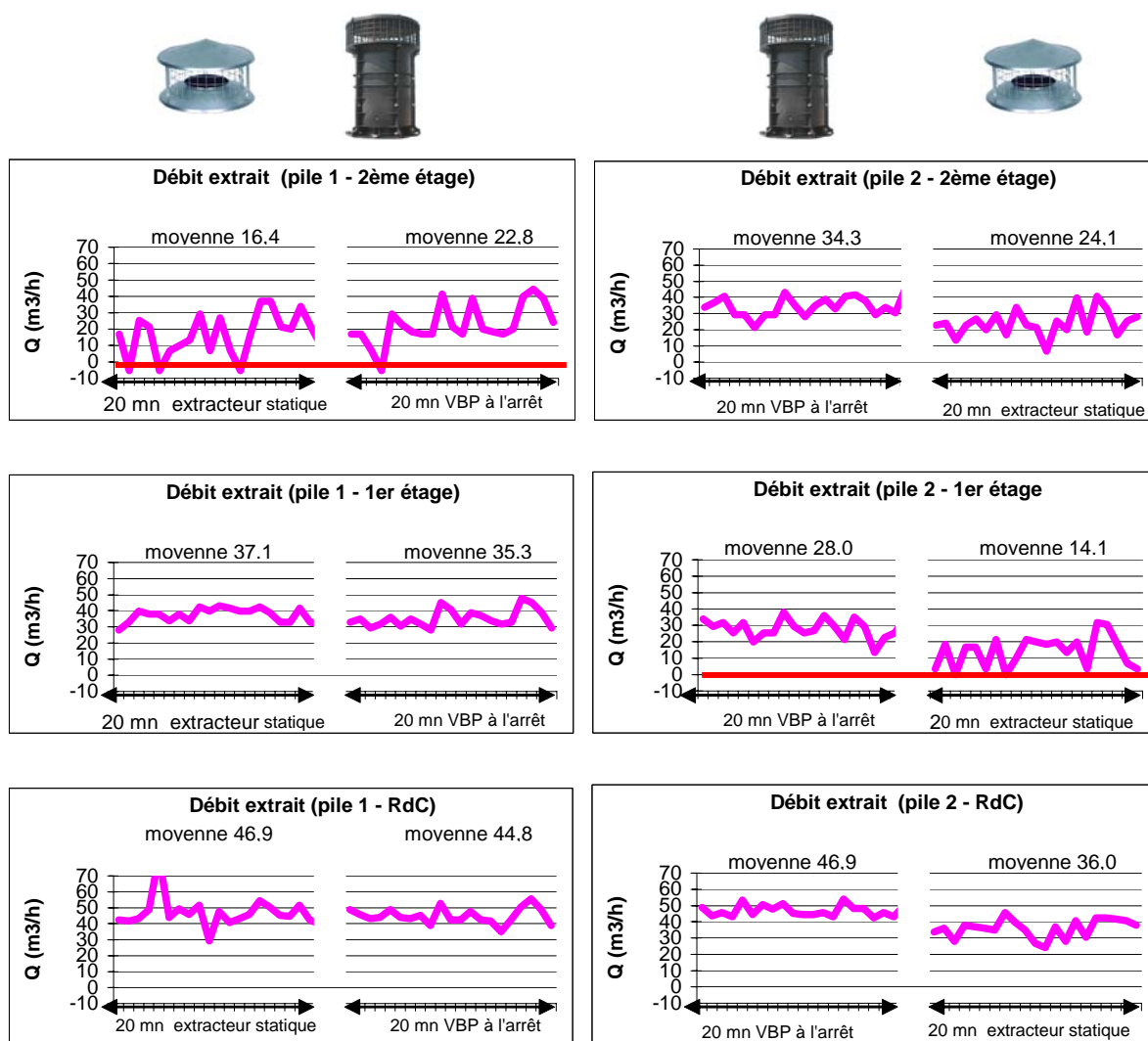


Figure 71 : débits comparés extracteur statique / ventilateur VBP à l'arrêt

RDC et 1^{er} niveau :

Sur la Figure 71, on observe que sur la pile 1 les deux extracteurs (extracteur statique et ventilateur à l'arrêt) font "jeu égal" pour les logements du rez-de-chaussée et du premier niveau, bien que, pendant la période de test du ventilateur VBP à l'arrêt (deuxième période), les conditions climatiques soient moins favorables : la vitesse moyenne du vent (seul moteur du tirage naturel) est plus faible et la température extérieure est plus élevée (frein au tirage naturel).

Dernier niveau :

Au dernier niveau desservi dont on rappelle que comme dans les "systèmes shunt", il est desservi par un conduit individuel non relié au conduit collectif, les deux matériels conduisent à de légers refoulements. Toutefois, malgré des conditions extérieures (température et vent) plus défavorables, le logement desservi par le ventilateur a un débit moyen supérieur à celui desservi par l'extracteur statique traditionnel et on n'observe qu'un refoulement au lieu de trois avec l'extracteur statique "antirefouleur".

Sur la pile 2, l'extracteur statique "antirefouleur" engendre à tous les niveaux des débits moindres que le ventilateur à l'arrêt : on note même au premier étage un refoulement.

10.2.3 Conclusion partielle

On a comparé le fonctionnement des deux matériels (extracteur statique et ventilateur VBP à l'arrêt) dans des conditions climatiques voisines sur deux périodes de 20 minutes et sur deux piles de logements d'un bâtiment R+2.

Sur la pile 1 du bâtiment, les deux matériels font jeu égal bien que le ventilateur VBP ait été testé dans des conditions légèrement plus défavorables (mois de vent et température extérieure plus élevée).

Sur la pile 2 l'extracteur statique « classe B » testé pendant la période la moins favorable a des performances inférieures à celles du ventilateur VBP.

On peut donc conclure à de meilleures performances du ventilateur VBP en statique bien que la formulation actuelle²⁵ des exigences concernant les extracteurs statiques selon la norme NF P 50-413 ne permette pas de classer le ventilateur VBP comme "antirefouleur".

Il convient alors de s'interroger sur la formulation des exigences pour les extracteurs statiques.

L'appareil qui présente les "meilleures caractéristiques de laboratoire" est le moins performant sur le terrain.²⁶

²⁵ En 2006

²⁶ Les exigences actuelles donnent une grande importance au coefficient de dépression à débit nul par vent plongeant. Outre que l'on peut s'interroger sur la pertinence de caractériser un matériel conçu pour extraire de l'air à un point de fonctionnement où il ne débite pas, on peut également s'interroger sur la nécessité d'exiger des performances minimales pour des vent plongeants. Une bonne mise en œuvre des matériels (quitte à prononcer quelques restrictions sur certaines typologies très particulières) devrait permettre de s'affranchir de cette exigence.

10.3 Encrassement réduit et maintenance

Un contrôle de l'encrassement des ventilateurs a été réalisé par le biais d'observations visuelles et de prises de vues à une fréquence déterminée. Grâce à sa vitesse de rotation réduite en comparaison à celle d'un ventilateur de VMC, l'encrassement du ventilateur VBP est particulièrement faible (voir Figure 72), en cuisine comme en sanitaires. **Le besoin de maintenance s'en trouve ainsi considérablement réduit.**



Figure 72 : Encrassement d'un ventilateur VBP après 16 mois d'utilisation sans entretien en cuisine (gauche) et en WC (droite)

11. Comparaison STATISTIQUE des différents systèmes

Afin de comparer les différents systèmes étudiés dans le cadre de ce projet, nous nous sommes intéressés d'une part aux débits moyens saisonniers mesurés dans un cas typique et d'autre part à la corrélation statistique qui existe entre la différence de température intérieur - extérieur du logement et le débit moyen mesuré pour les 4 différents systèmes disponibles sur le projet.

Ces 4 « différents systèmes » sont représentés par :

- Ventilation naturelle fixe : Grille fixe cuisine sans assistance
- Ventilation fixe assistée : Grille fixe cuisine avec assistance
- Ventilation naturelle hygroréglable : Grille hygroréglable salle de bain sans assistance
- Ventilation hygroréglable assistée : Grille hygroréglable salle de bain avec assistance

Le comportement « typique » provient d'une mesure de débits moyens sur l'année 2005 sur un logement du 1^{er} étage d'un bâtiment de 5 niveaux. (voir méthode Figure 52).

L'analyse statistique a été réalisée en déterminant la corrélation qui existe entre la différence de température intérieur - extérieur du logement [Tint-Text] et le débit moyen mesuré²⁷, et ce pour les 4 différents systèmes disponibles sur le projet.

11.1 Ventilation naturelle fixe

Sur le cas typique représenté par les graphes de la Figure 73, la grille salle de bain est une grille fixe de section de passage 50 cm². Ce cas du 1^{er} étage d'un bâtiment (n°12, pile 3) de 5 niveaux montre des pressions moyennes relativement faibles (2 Pa en février, 0.5 Pa en avril). Celles-ci s'expliquent par les pertes de charge engendrées par la surcharge du conduit provoqué par le débit de l'ensemble des 10 grilles connectées (WC + salles de bain) au même conduit collectif.

Sur ces graphes comme sur la représentation statistique du graphe Figure 77 (représentant les mesures effectuées en cuisine du bâtiment n°19), on observe une grande variation de débit entre l'hiver et l'été ; cette variation est d'autant plus marquée que l'on est situé bas dans les étages. L'amplitude de variation de débit moyen au niveau du RDC atteint 55 m3/h (de 5 m3/h à 60 m3/h), tandis que le dernier étage reste relativement stable à un débit autour de 35 m3/h.

Sur la Figure 77, on remarque que les niveaux de débits sont très variables d'un étage à l'autre : on s'approche du refoulement au rez-de-chaussée en été²⁸ (lorsque la différence de température intérieur – extérieur se situe autour de -8°C), tandis que le dernier étage a un débit plus équilibré, autour de 35 m3/h.

²⁷ La méthode a consisté à calculer le débit moyen mesuré sur toutes les grilles pour chaque point de [Tint-Text] rencontré, en segmentant les différents systèmes de ventilation (fixe, fixe assistée, hygroréglable, hygroréglable assistée).

Le dernier étage semble favorisé en comparaison du rez-de-chaussée en été. Cela s'explique notamment par le fait que les mesures « assistance à l'arrêt » ont été effectuées dans l'après-midi, à un moment où le vent est au plus fort. Seul logement disposant d'un conduit individuel dédié présentant moins de charge que le conduit collectif, le dernier niveau bénéficie d'une pression disponible supplémentaire. Ce point justifie notamment cette différence de débit en été.

En ventilation naturelle fixe, on constate que le débit est largement tributaire des variations de tirage thermique. En hiver, les étages du bas sont sur-ventilés, contribuant à provoquer d'importantes déperditions thermiques. En été, la baisse du tirage thermique affaiblit les débits moyens, pouvant provoquer des refoulements.

L'absence de régulation au niveau des grilles d'extraction condamne le débit à subir les variations saisonnières de tirage, et génère d'importants déséquilibres entre les étages.

11.2 Ventilation fixe assistée

Sur le cas typique de la Figure 74, on constate que l'assistance mécanique a stabilisé les débits entre février et juillet, à un niveau plus élevé²⁹. En augmentant les niveaux de pressions (de 3.7 Pa en février à 1.5 Pa en juillet sur le cas typique), l'assistance mécanique a non seulement atténué les déséquilibres entre étages comme on peut le voir dans le traitement statistique de la Figure 78 ; elle a également limité les variations de débit saisonnières (en fonction de la température extérieure), en comparaison avec une ventilation purement naturelle.

On peut constater sur le cas typique que les refoulements ont été éliminés en saison chaude en juillet ; L'analyse statistique de la Figure 78 confirme que même en été, les niveaux de débits sont largement positifs (60 m³/h au RDC à 70 m³/h au dernier étage).

Comme en ventilation non assistée, c'est le niveau le plus bas qui subit le plus l'effet des variations du tirage thermique (de 60 m³/h en été à 85 m³/h en hiver, soit une amplitude de 25 m³/h). Le débit du dernier étage, lui, reste relativement stable, à un niveau de 70 m³/h.

En ajoutant sa pression à celle du tirage thermique, l'assistance mécanique optimise la pression fournie : sa contribution est plus conséquente en été qu'en hiver, au dernier niveau qu'au premier.

En augmentant les pressions disponibles, l'assistance mécanique basse pression supprime les refoulements et contribue à équilibrer les débits moyens sur l'année et entre les étages.

11.3 Ventilation naturelle hygroréglable

Sur ce cas, la grille en salle de bain est hygroréglable, et le tirage est naturel, sans assistance mécanique.

Les graphes représentent un débit moyen proche du débit obtenu sans création d'humidité dans le logement (voir § 9.3.1).

²⁸ On notera que le refoulement constaté sur le cas typique en juillet **Figure 73** n'est pas retrouvé sur les graphes statistiques de la Figure 77 : ceci provient du fait que, pour l'analyse statistique, les mesures « assistance à l'arrêt » ont été effectuées dans l'après-midi, à un moment où le vent est au plus fort et vient donc ajouter un surplus de pression.

²⁹ On notera que, sur ce projet, le fonctionnement du ventilateur d'assistance a été rendu permanent, quelle que soit la température, alors que la version « standard » possède une sonde de température le commutant à vitesse réduite lorsque la température est négative.

On obtient donc, dans le cas typique (Figure 75), un débit en février à peine plus élevé qu'en avril : la grille hygroréglable compense la hausse de pression saisonnière due au tirage thermique en faisant diminuer sa section d'ouverture en fonction du taux d'humidité relative intérieure. Comme on l'a vu dans le paragraphe 8.2, le taux d'humidité absolue extérieure moyen varie de manière saisonnière, ce qui, en l'absence de création d'humidité dans le logement, agit directement sur le taux d'humidité relative intérieure moyen. Ce dernier est plus faible en hiver, d'où des grilles moins ouvertes ; il est plus élevé en été, générant une ouverture de grille moyenne plus importante.

Ce résultat a des conséquences déterminantes sur la maîtrise énergétique : en limitant le débit moyen l'hiver (tout en réagissant à une demande ponctuelle par une ouverture instantanée), la grille hygroréglable limite les déperditions thermiques et optimise l'utilisation des conduits à disposition. Elle évite en effet de surcharger inutilement le conduit par un débit non nécessaire, donnant la possibilité à chaque grille raccordée de disposer d'une plus forte pression, donc d'un débit plus important en cas de demande. Parce que très ponctuel, le débit « accéléré » (correspondant à une production momentanée d'humidité dans la pièce) ne pèse pas sur les déperditions thermiques : c'est bien le débit « de base », sans création d'humidité, qui est déterminant de la dépense énergétique due au renouvellement de l'air.

Ce résultat est confirmé par l'observation statistique (Figure 79) : on constate que la grille hygroréglable a permis de stabiliser les débits moyens sur l'année, et qu'elle limite le débit moyen en hiver (autour de 15 m³/h au lieu de 60 m³/h au RDC en ventilation naturelle fixe).

Il est également remarquable de constater que les variations de débit entre étage sont atténuées : les débits sont relativement proches, avec une amplitude maximale de 20 m³/h entre 2 étages.

La grille hygroréglable atténue les déséquilibres entre étages et stabilise les débits moyens au long de l'année. En réduisant fortement le débit moyen en hiver, elle contribue à réaliser d'importantes économies d'énergie sur les déperditions thermiques. Elle optimise l'emploi des conduits existants en les rendant disponibles pour les logements qui ont besoin ponctuellement d'un débit plus important.

En cas de besoin, les débits accélérés sont possibles, comme le montre le § 9.4.

11.4 Ventilation hygroréglable assistée

Dans cette configuration, nous nous intéressons au cas de grilles d'extraction hygroréglables mécaniquement assistées.

Comme on peut l'observer sur le cas typique de la Figure 76, l'assistance mécanique a augmenté les pressions disponibles aux grilles de ventilation hygroréglable, variant de 7 Pa en février à 1.4 Pa en juillet sur ce cas particulier. En l'absence de création d'humidité relative intérieure, la variation d'ouverture moyenne des grilles hygroréglables fait autorité sur les faibles variations de pression sur l'année, fournissant des débits au moins aussi importants l'été que l'hiver.

Sans conséquence sur l'aspect énergétique (une forte ventilation hors période de chauffage n'ayant aucun impact sur la consommation d'énergie), les débits d'été sont largement positifs, comme le confirme l'analyse statistique de la Figure 80, et ce quel que soit l'étage. Les risques de refoulements sont ainsi supprimés.

En hiver, le niveau limité des débits permet de diminuer les déperditions thermiques.

Les débits sont stabilisés sur l'année : l'amplitude de variation entre l'hiver et l'été est inférieure à 10 m³/h à chaque étage, sauf au dernier niveau où le vent, plus fréquent en été, s'ajoute parfois à la pression disponible sur le conduit individuel. Cependant, son amplitude de variation sur l'année ne dépasse pas 17 m³/h.

En compensant les fluctuations du tirage thermique naturel et son impact sur la hauteur de conduit, le système de ventilation hygroréglable assistée atténue les variations de débits d'un niveau à l'autre (moins de 5 m³/h de

différence), maintenant le débit « de base » à un niveau moyen relativement bas (27 m³/h), et rendant ainsi disponible le conduit pour une demande ponctuelle plus importante.

Le système composé de grilles d'extraction hygroréglables et de son assistance mécanique basse pression VBP optimise l'exploitation des moteurs naturels : il limite le débit en hiver, réduisant fortement les déperditions thermiques liées au renouvellement d'air, et assure en saison chaude des débits positifs pour éviter tout refolement.

Il optimise l'exploitation des conduits existants en les rendant disponibles pour les logements qui ont besoin ponctuellement d'un débit plus important, et en apportant une pression supplémentaire aux grilles d'extraction.

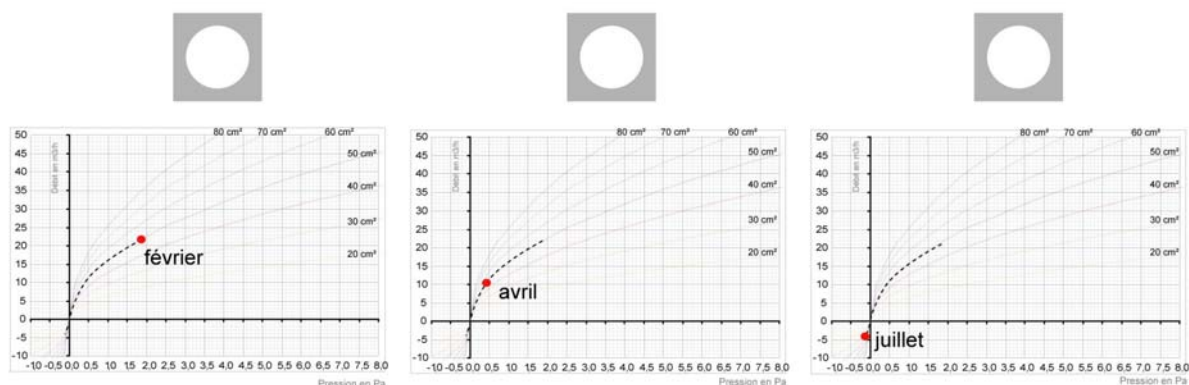


Figure 73 : Evolution saisonnière des débits moyens en fonction de la période sur un cas typique, en grille fixe (50 cm²) en tirage naturel.

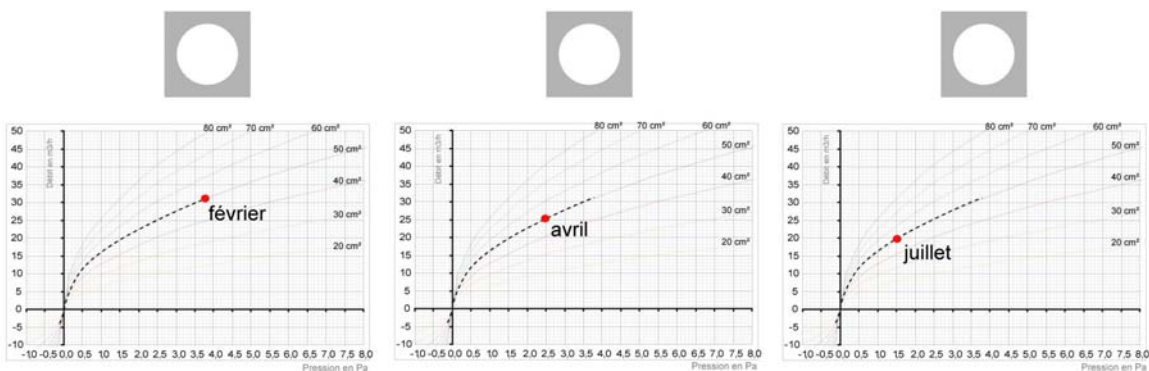


Figure 74 : Evolution saisonnière des débits moyens en fonction de la période sur un cas typique, en grille fixe (50 cm²) avec assistance mécanique.

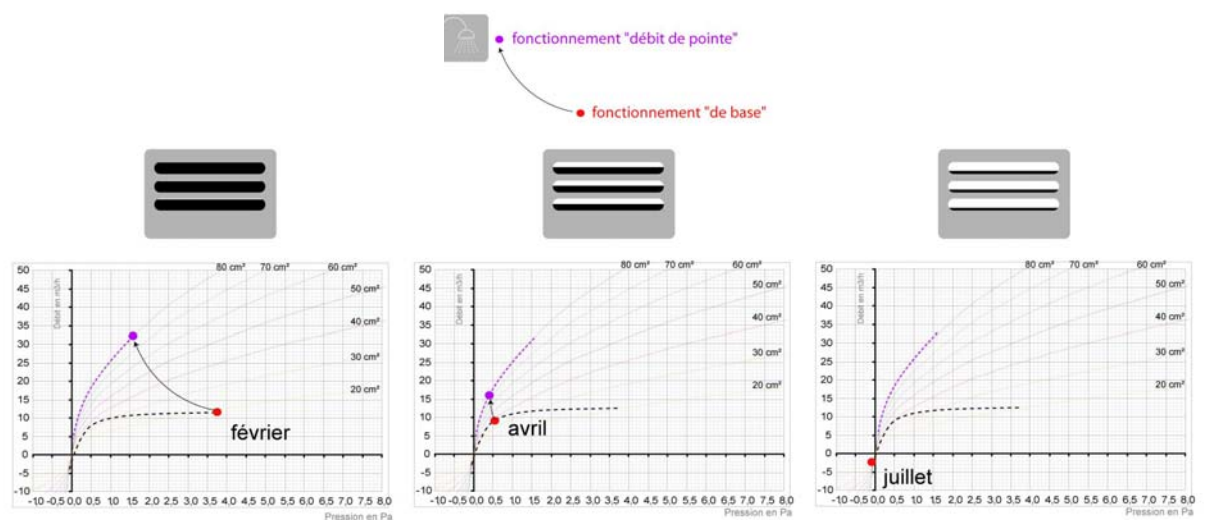


Figure 75 : Evolution saisonnière des débits moyens en fonction de la période sur un cas typique, en grille hygroréglable en tirage naturel.

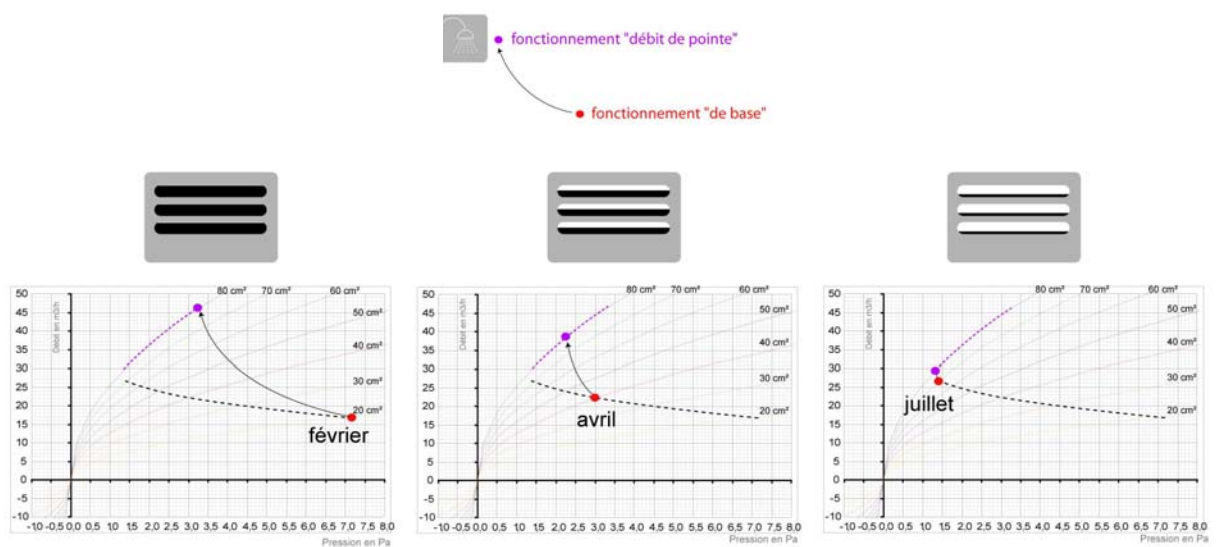
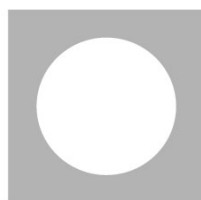


Figure 76 : Evolution saisonnière des débits moyens en fonction de la période sur un cas typique, en grille hygroréglable avec assistance mécanique.



Tirage
naturel

Grille fixe
CUISINE
(85 cm²)

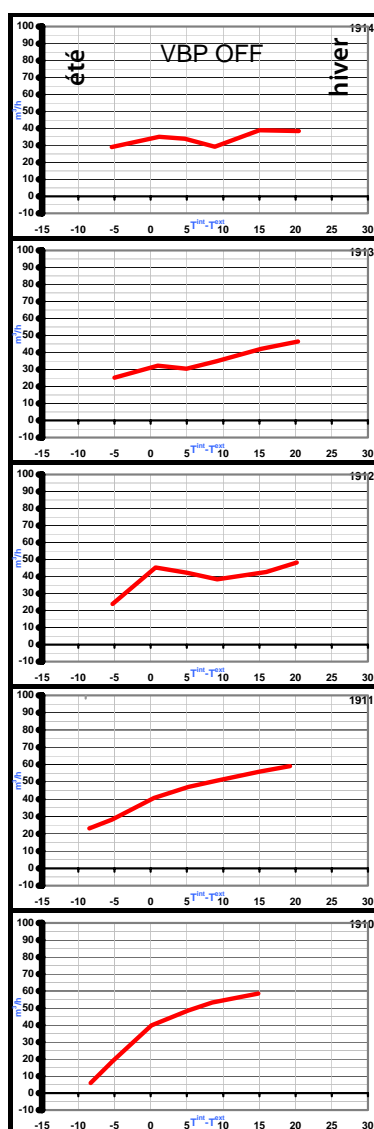
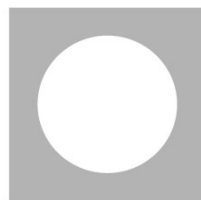


Figure 77 : Evolution statistique du débit moyen mesuré en fonction de la différence de température [Tint-Text] **en grille fixe (85cm²)** sur une pile de 5 logements, **sans assistance mécanique**.



Assistance
mécanique

Grille fixe
CUISINE
(85 cm²)

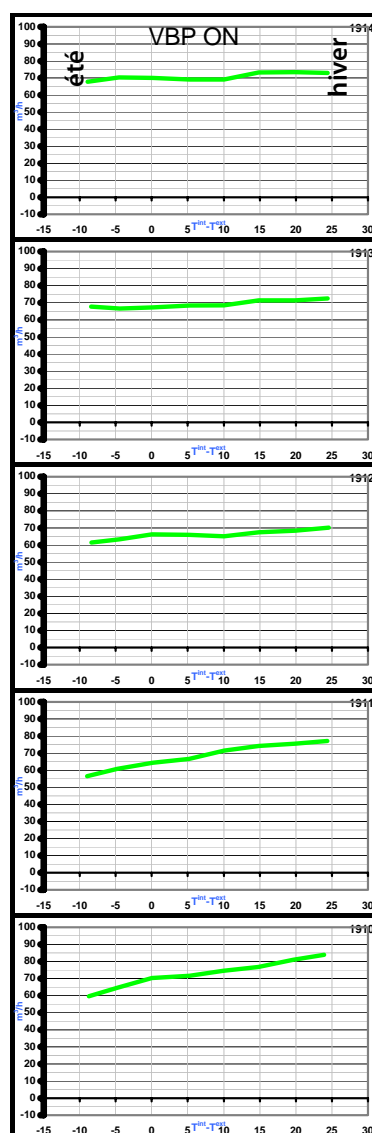


Figure 78 : Evolution statistique du débit moyen mesuré en fonction de la différence de température [Tint-Text] **en grille fixe (85 cm²)** sur une pile de 5 logements, **avec assistance mécanique**.



Tirage
naturel

Grille
hygroréglable
SALLE DE BAIN

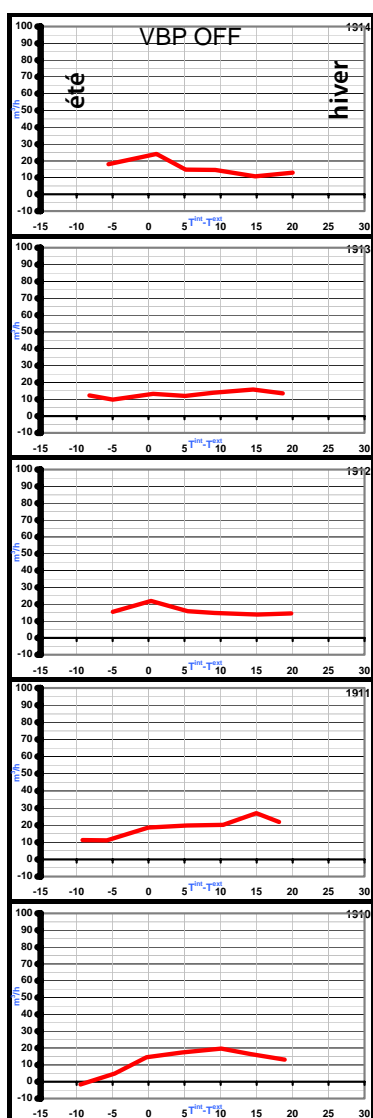


Figure 79 : Evolution statistique du débit moyen mesuré en fonction de la différence de température [Tint-Text] en grille hygroréglable sur une pile de 5 logements, sans assistance mécanique.



Assistance
mécanique

Grille
hygroréglable
SALLE DE BAIN

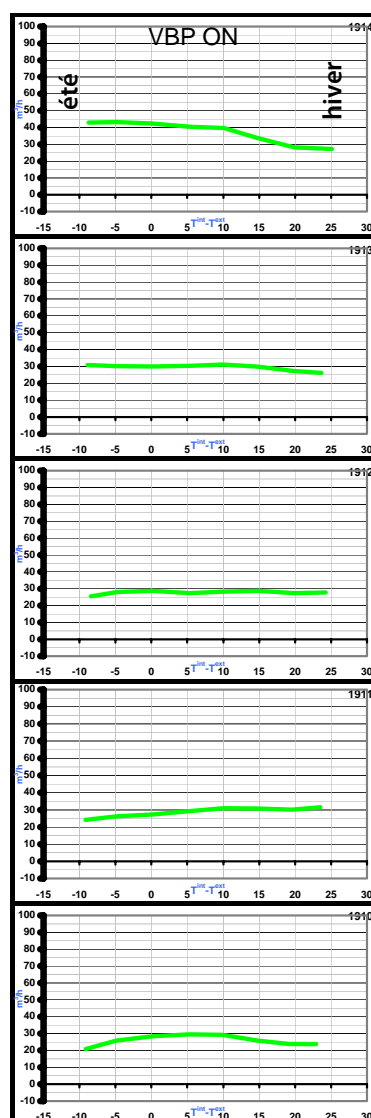
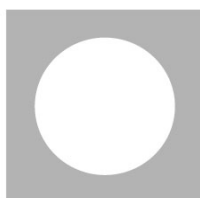
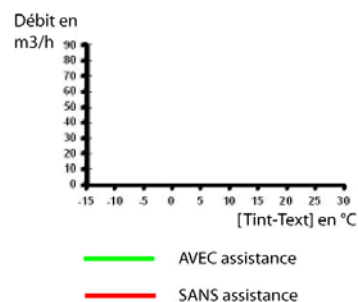


Figure 80 : Evolution statistique du débit moyen mesuré en fonction de la différence de température [Tint-Text] en grille hygroréglable sur une pile de 5 logements, avec assistance mécanique.

11.5 Synthèse tous logements

La synthèse de l'ensemble des 55 logements confirme les résultats précédents :



Grille fixe
CUISINE
85 cm²



Grille
hygroréglable
SALLE DE BAIN

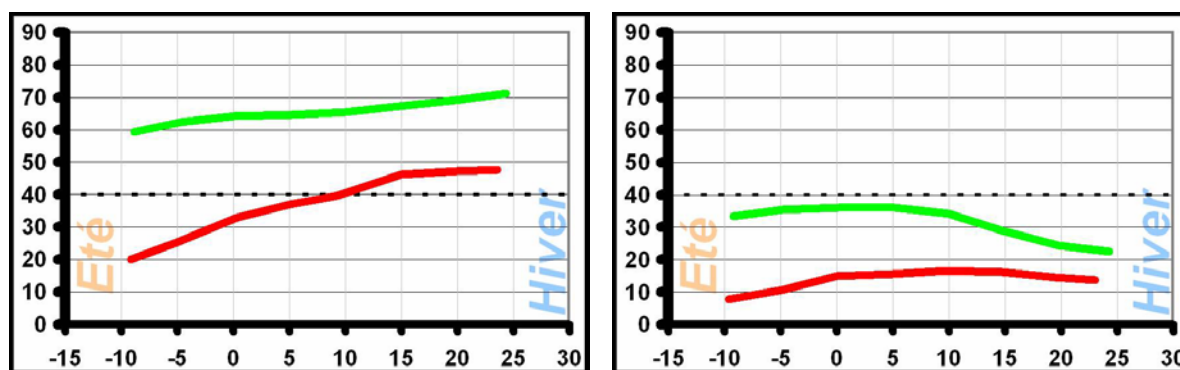


Figure 81 : Evolution statistique du débit moyen mesuré en fonction de la différence de température [Tint-Text] dans tous les logements.
Légende :

11.6 Conclusion partielle

En l'absence de régulation et d'assistance mécanique, la ventilation « grille fixe » subit directement les variations du tirage thermique, engendrant d'importants déperditions énergétiques en hiver, et de réels risques de refoulement en été.

En augmentant les pressions disponibles, l'assistance mécanique supprime les refoulements, et diminue les variations de débit moyen sur l'année. Elle optimise la pression fournie, avec une contribution plus conséquente en été qu'en hiver, au bénéfice des étages supérieurs naturellement moins favorisés.

La ventilation hygroréglable stabilise les débits moyens au long de l'année et atténue les déséquilibres entre étages. En réduisant fortement le débit moyen en hiver, **elle contribue à réaliser d'importantes économies d'énergie sur les déperditions thermiques liées au renouvellement d'air.** Elle optimise l'emploi des conduits existants en les rendant disponibles pour les logements qui ont besoin ponctuellement d'un débit plus important.

Le système de ventilation hygroréglable assistée optimise l'exploitation des moteurs naturels : il limite le débit en hiver, contribuant à la maîtrise énergétique, et assure en saison chaude des débits positifs en évitant tout refoulement.

12. Qualité du renouvellement d'air

Il est possible d'évaluer la qualité du renouvellement d'air d'une part en étudiant les débits extraits (et en les comparant aux valeurs réglementaires actuelles en France³⁰), d'autre part en évaluant les risques de condensations ³¹ sur les parois extérieures causes de dégradation du bâti et source de risques sanitaires (développement de moisissures).

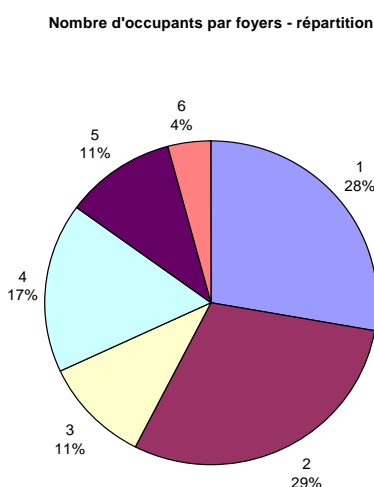
Une enquête de satisfaction locataires a également permis d'évaluer de manière qualitative leur perception de la qualité du renouvellement d'air dans les logements, comme le montrent les résultats ci-après :

12.1 Satisfaction des occupants

L'enquête a été réalisée auprès des 55 occupants des logements objets de l'expérimentation.

12.1.1 Occupation

Le nombre d'occupants par foyers varie de 1 à 6 personnes, avec la répartition suivante :



Nous pouvons remarquer que **les foyers de 1 à 2 personnes représentent plus de la moitié des logements (57%)**. Un calcul « simplifié » de la densité d'occupation donne une moyenne de 0.7 occupant par pièce principale.

³⁰ Les valeurs réglementaires actuelles (arrêté du 24 mars 1982) ont été essentiellement basées sur la limitation des risques de condensations dans les pièces de vie. C'est la raison pour laquelle, après que la réglementation thermique (en 1977) ait imposé l'isolation des parois extérieures, il a été possible de réduire les débits de ventilation (article 4 de l'arrêté du 24/03/1982) dans des proportions importantes par rapport à la réglementation antérieure (arrêté ventilation du 22 octobre 1969).

³¹ L'évaluation des risques de condensations permet de se recentrer sur l'esprit actuel de la réglementation relative à l'aération des logements (voir note ci avant).

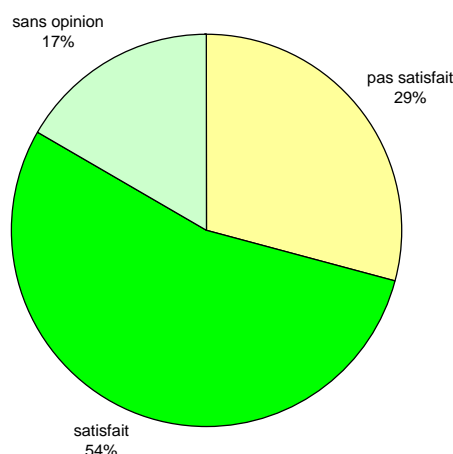
12.1.2 Satisfaction des occupants

A la question : « **Jugez-vous la ventilation de votre logement meilleure qu'avant les travaux ?** », **48%** des foyers interrogés sont plus satisfaits de leur nouvelle ventilation que de l'ancienne.

- Plus satisfait : 48 %
- Moins satisfait : 33 %
- Sans opinion : 19%

Lorsque l'on veut mesurer leur satisfaction « absolue »³², sans comparaison avec le système antérieur, le pourcentage de satisfaction augmente et passe à 54 % :

satisfaction "absolue" vis-à-vis du nouveau système de ventilation



Taux d'occupation et satisfaction :

Lorsque l'on mesure le taux d'occupation chez les occupants insatisfaits, on montre qu'il est le même que celui chez les gens satisfaits (0.70 personne par pièce principale). **Il ne semble donc pas y avoir de corrélation entre le taux d'occupation et la satisfaction.**

Situation du logement sur la colonne et satisfaction :

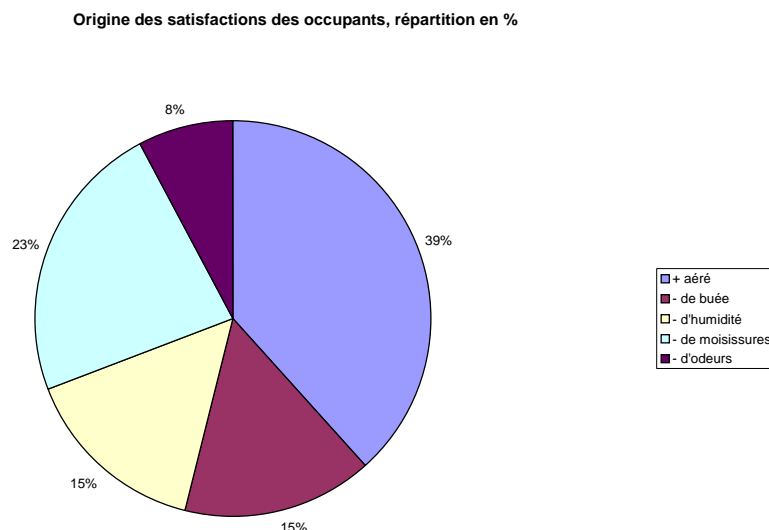
Si on s'intéresse maintenant à la situation des logements des occupants exprimant des insatisfactions, on constate qu'ils sont équitablement répartis entre les étages du RDC, 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} niveau. Il est intéressant de constater que tous les logements situés au 5^{ème} étage (dernier niveau pour le bâtiment de 5 étages) voient leurs occupants satisfaits. Cette observation est confirmée par le fait que, hormis 2 logements, **tous les locataires des derniers étages sont satisfaits.**

L'étage qui rencontre le plus d'occupants insatisfaits est celui situé à l'avant-dernier niveau, qui représente 6 logements sur les 14 insatisfaits. Ceux-ci se plaignent essentiellement de courants d'air froids.

³² * obtenu en réponse à la question « Globalement, êtes vous satisfait de votre nouveau système de ventilation ? »,

12.1.3 Causes de satisfaction ou d'insatisfaction

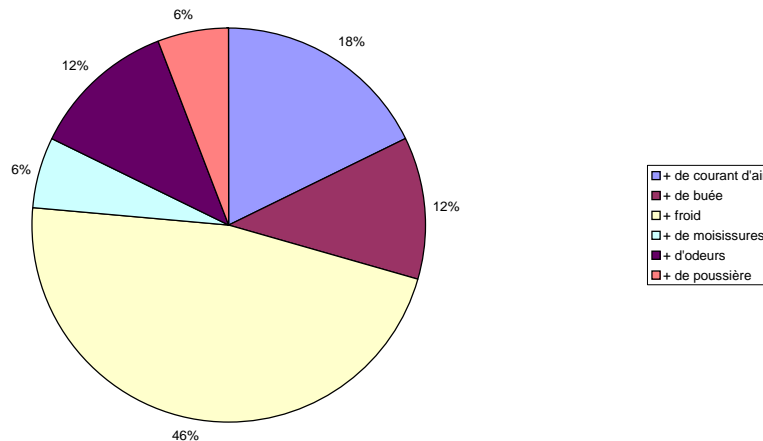
Sur le graphique suivant, on peut observer que les principales sources de satisfaction des occupants résultent de la **perception d'une meilleure aération, d'un meilleur renouvellement d'air** (39% des origines de satisfaction). **Les occupants constatent également une diminution des moisissures (23%) sur les murs, ainsi qu'une baisse des apparitions de buée sur les vitres et de la présence d'humidité en général. Le système de ventilation est donc jugé particulièrement efficace pour ces occupants.**



69 % des occupants interrogés déclarent ne pas avoir ou ne plus avoir de moisissures ni de problèmes de condensation ou liés à l'humidité en général. Les 31% restants des occupants n'ont pas répondu à cette question.

Le graphe suivant montre la répartition des sources d'insatisfaction des occupants. Parmi les occupants exprimant une insatisfaction vis-à-vis du nouveau système de ventilation, nous pouvons noter que près de la moitié perçoit une sensation de froid plus importante (46 % des insatisfactions), ainsi que des courants d'air (18%). Cette expression « confirme » finalement et va dans le même sens que les sources de satisfaction du graphe précédent. **Plus efficace, le système de ventilation offre un meilleur renouvellement d'air qui provoque chez les uns la sensation d'une amélioration du confort et de la qualité d'air, chez les autres une gêne thermique...**

Origine des insatisfactions des occupants, répartition en %



Explications :

Le sous-dimensionnement de la ventilation précédemment en place réduisait considérablement le renouvellement d'air, et donc l'amenée d'air frais extérieur ; Il n'est donc pas très étonnant qu'en ayant rétabli un bon niveau de débit pour la qualité d'air intérieur, cette sensation nouvelle de courant d'air ait pu être perçue, parfois négativement, chez quelques locataires. Il conviendrait alors de s'assurer que la température intérieure est située au dessus du seuil réglementaire de 19°C ; Dans le cas contraire, un rééquilibrage du réseau de chauffage – collectif dans le cas présent- suffirait à retrouver un niveau réglementaire de température.³³

Une légère augmentation de la buée et des moisissures a également pu être perçue chez quelques occupants, ainsi que des odeurs et l'apparition de poussière provenant de l'extérieur ; Cette observation peut s'expliquer par une coupure volontaire ponctuelle de l'assistance mécanique sur une pile de logements.

Notons, enfin, que parmi les occupants ayant exprimé des insatisfactions à l'encontre du nouveau système de ventilation, 10% d'entre eux déclarent ouvrir leur fenêtre au moins une fois par jour pour améliorer le renouvellement de l'air (voir § suivant).

12.1.4 « Aération » manuelle

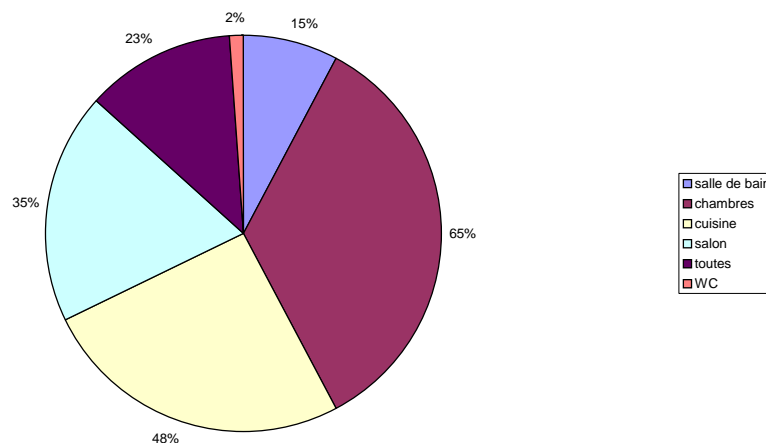
23% de l'ensemble des occupants déclarent moins ouvrir, ou ne pas ouvrir leur fenêtre depuis la mise en place du nouveau système de ventilation afin d'aérer. Parmi les occupants qui pratiquent une aération supplémentaire par ouverture de fenêtre, nous leur avons demandé de citer les pièces qu'ils aéraient de manière préférentielle.

Sur le graphe suivant, nous avons représenté les % d'occupants déclarant aérer un type de pièce.

Exemple : « chambres = 65% » signifie que 65% des 48 occupants ayant répondu déclarent aérer leurs chambres. Des occupants ont pu déclarer aérer plusieurs pièces dans leur logement.

³³ Légèrement augmentée du fait de la création d'un vrai système de ventilation, la consommation énergétique du système de chauffage sera en tout état de cause limitée par l'utilisation de composants de ventilation hygroréglable.

Pièces aérées manuellement, en %



Résultats :

Ce sont les pièces « de vie » qui sont le plus souvent aérées, avec 65% des occupants déclarant aérer leurs chambres, et 35 % leur salon.

La cuisine est également souvent aérée (48% des occupants), ce qui correspond souvent à une habitude au moment de la pollution intensive à l'heure du repas.

Les pièces sanitaires (salle de bain et WC) sont rarement aérées, mais ceci n'est pas surprenant quand on sait que sur ce projet, la majorité de ces pièces sont « aveugles », c'est à dire qu'elles ne possèdent pas d'ouverture sur l'extérieur. Cela renforce la nécessité de la qualité de l'extraction dans ces pièces où l'aération ne pourrait en aucun cas être assurée de manière manuelle.

Le temps d'aération est très variable ; il s'étale d'une demi-heure par jour jusqu'à à une demi-journée. La plupart des occupants qui déclarent aérer le font durant environ 2 heures par jour.

12.2 Débits extraits par le système de ventilation hygroréglable assistée

Les exigences réglementaires concernant la ventilation des logements collectifs construits avant 1982 (comme c'est le cas ici) ne s'expriment pas en terme de résultats (débits de renouvellement d'air, par exemple), mais en terme de dimensionnement (principalement les ouvertures de passage d'air, en amenée, transit et extraction).

Bien que les règles ad hoc aient bien entendu été respectées dans le cadre de la réhabilitation des logements étudiés ici, il nous est paru intéressant de comparer les performances du système à celles mentionnées dans "l'Arrêté du 24 mars 1982" applicable à la ventilation des logements neufs.

Le tableau ci-dessous présente **les exigences sur les débits** « pour des conditions moyennes d'hiver » dans le cas d'une ventilation modulée définies par l'arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements :

	Débit réduit minimum en m3/h	Débits devant pouvoir être atteints en m3/h			
Type	Total	Cuisine ³⁴	WC	SdB ₁	SdB ₂
F2	10	90	15	15	15
F3	15	105	15	30	15
F4	20	120	30	30	15
F5	25	135	30	30	15

Ces débits sont caractérisés par :

- des débits minimum devant être assurés en tout état de cause (1^{ère} colonne),
- des débits que l'on doit pouvoir atteindre lorsque nécessaire ou demandé (colonnes suivantes).

En effet, avec ses grilles hygroréglables en salle de bain et toilettes, le système de ventilation utilisé dans ce projet pourrait être considéré comme un système de ventilation équipé d'un « *dispositif mécanique qui module automatiquement le renouvellement d'air du logement, de telle façon que les taux de pollution de l'air intérieur ne constituent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations* » au sens de l'article 4 modifié par arrêté du 28 octobre 1983 de l'arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements.

En permettant une augmentation ponctuelle des débits lorsque nécessaire, la ventilation hygroréglable autorise une réduction des débits par rapport à une ventilation "de base".

³⁴ appelé également « débit de pointe » en cuisine.

12.2.1 Débits totaux

Nous avons cherché à voir durant quel pourcentage de temps les débits extraits totaux dans chaque appartement étaient conformes aux exigences de l'arrêté de mars 1982 en terme de débit minimum, et à vérifier que les débits de pointe étaient également atteignables en salles de bain et en WC.

Les graphiques à venir représentent, pour chaque logement, la proportion de temps durant laquelle une plage donnée de débits a été assurée, ce pour l'année 2005 complète. Nous rappelons que dans cette étude, le système de ventilation est mécaniquement assisté.

Chaque appartement, représenté par une barre verticale, est désigné selon le type **1232**, signifiant "appartement du 2^{ème} étage, de la pile n°3 du bâtiment n°12".

Le graphique Figure 82 donne, pour chaque logement, la fréquence des plages de débits totaux mesurés sur l'année 2005.

Chaque barre (i.e. chaque logement) est composée de parties de différentes couleurs, de hauteur proportionnelle au pourcentage de temps durant lequel a été assurée la plage de débits associée à cette couleur. A la base des barres, on retrouve les plages de débits les plus faibles, en haut les débits les plus forts.

Ainsi, sur la première barre (correspondant au logement "1240"), on constate une première partie jaune signifiant des débits totaux extraits compris entre 75 et 100 m³/h pendant un peu moins de 5% du temps. La barre verte indique des débits compris entre 100 et 125 m³/h pendant près de 85% du temps. Les quelques 10% de temps restant sont remplis par la barre bleue indiquant des débits entre 125 et 150 m³/h.

Les cas où les débits minimum sont inférieurs à ceux demandés par "l'Arrêté de Mars 1982" (plage de débits minimum dépendant du type d'appartement) sont repérés par une partie **blanche hachurée** à la base des barres.

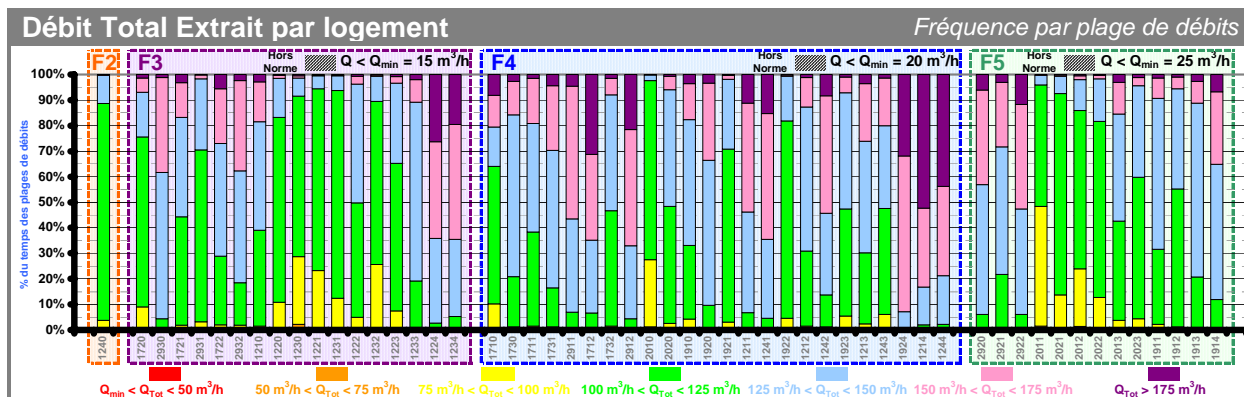


Figure 82 : Débits totaux extraits par logement sur l'année 2005 (fréquence par plage de débits)

On peut voir qu'en aucun cas, une zone hachurée n'apparaît (ni même une zone rouge). **Sur l'année 2005 complète, les débits totaux extraits exigés selon "l'Arrêté de Mars 1982" sont systématiquement assurés, tout en rappelant que cette exigence réglementaire ne s'applique pas dans ce projet.**

On constate que pour le "pire des cas" (logement "1230"), les débits sont, au pire, réduits à 50 m³/h pendant moins de 2% du temps (~40 m³/h doivent au minimum être assurés en cuisine pour le bon fonctionnement des appareils à eau chaude sanitaire raccordés - voir § 10.1).

12.2.2 Répartition des débits par pièce

Le graphique suivant donne la répartition des débits extraits (débits moyens) par type de pièce technique dans chacun des logements, durant l'année 2005 :

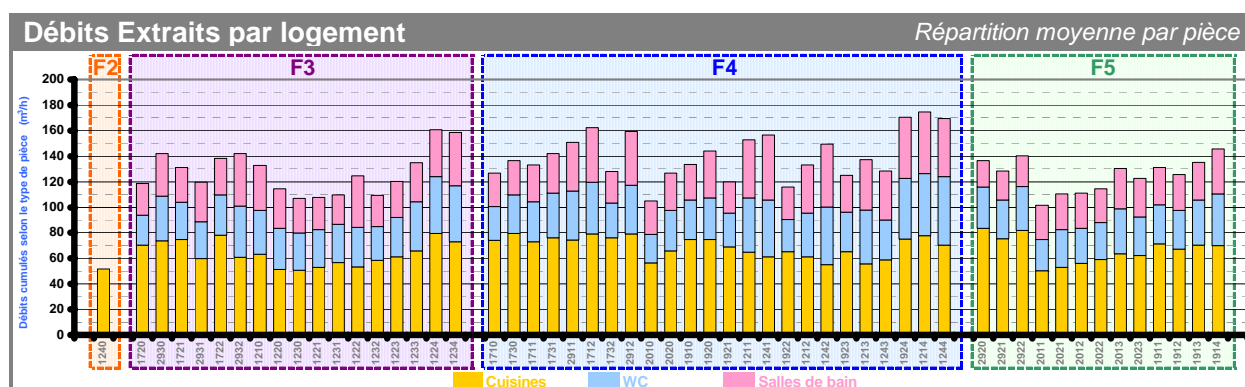


Figure 83 : Répartition de débits extraits par type de pièce sur l'année 2005

Du fait de la présence d'appareils de production d'eau chaude sanitaire en cuisines nécessitant des débits d'air importants et de façon permanente, la majeure partie des débits extraits se fait par cette pièce.

Ceci met particulièrement en évidence l'aptitude des terminaux hygroréglables à diminuer les débits de ventilation en période (majoritaire) de non besoin (lorsqu'il n'y a pas de production d'humidité à l'intérieur de la pièce), et donc de **réduire de façon significative les déperditions thermiques par renouvellement d'air en hiver**.

En synthèse, les graphiques suivants donnent la répartition moyenne des débits sur l'ensemble de 51 logements, selon leur fréquence, et en fonction du type de pièce³⁵.

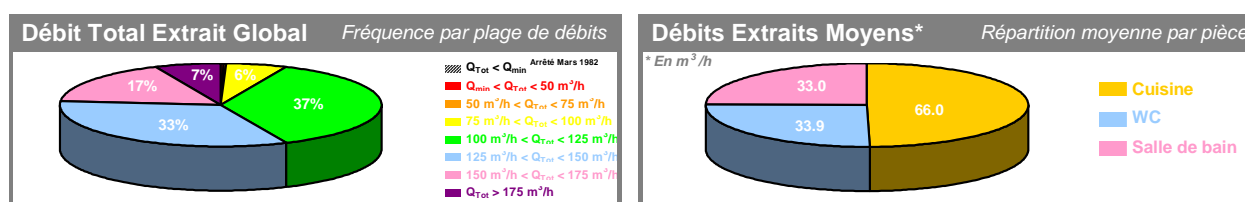


Figure 84 : Répartition globale des débits extraits selon leur fréquence, et selon le type de pièce, sur l'année 2005

Si on isole la période de chauffage, on s'aperçoit que la répartition des débits est très semblable.

³⁵ l'appartement "1240" ne disposant pas de ventilation en Salle de bain/WC, et les appartements "2920", "2921" et "2922" ayant deux salles de bain n'ont pas été considérés ici.

12.2.2.1 Débits en cuisines

Le graphique suivant donne les fréquences de débits extraits (par plage) en 2005, dans chacune des 55 cuisines, débits nécessaires au bon fonctionnement des appareils à gaz raccordés.

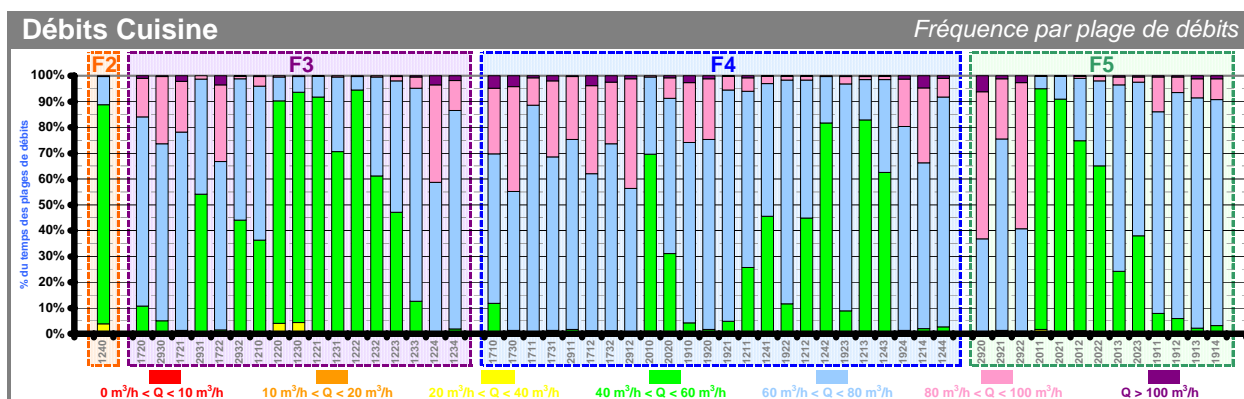


Figure 85 : Débits extraits en cuisines (grille fixe), par logement sur l'année 2005 (fréquences par plage de débits)

Le graphique suivant donne les fréquences de débits extraits en moyenne sur la totalité des 55 cuisines :

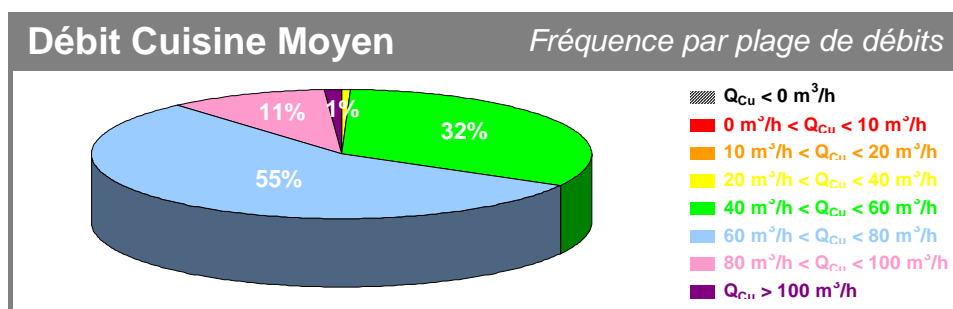


Figure 86 : Débits extraits en moyenne, en cuisines (grille fixe), sur l'année 2005 (fréquences par plage de débits)

Par exemple, le graphique ci-dessous de la cuisine du logement "1220" (jours de l'année en abscisse, de 1 à 365) montre des débits pouvant être très ponctuellement inférieurs à 40 m³/h en période estivale, et très majoritairement compris entre 40 et 60 m³/h tout au long de l'année.

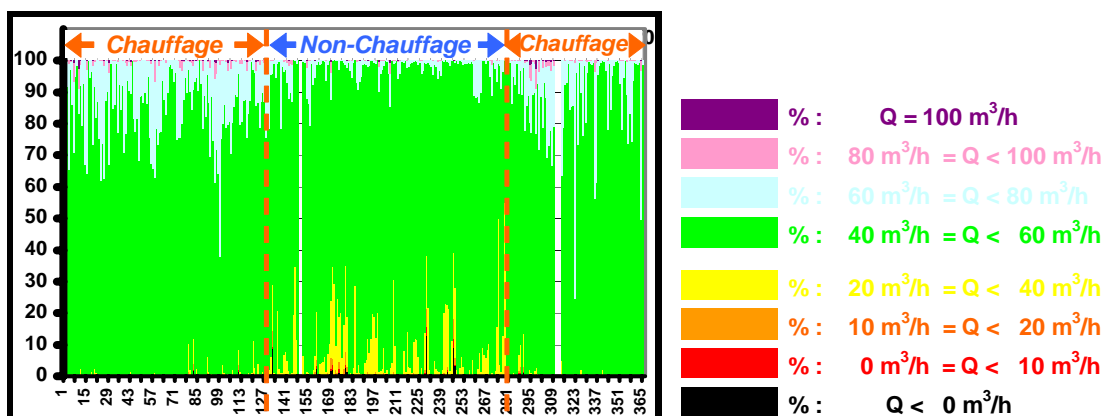


Figure 87 : Exemple de débits quotidiens extraits en cuisine du logement "1220", en 2005 (fréquences par plage de débits)

12.2.2.2 Débits en WC

Ci-dessous est donnée la répartition des débits par plages en WC (ventilation hygroréglable) :

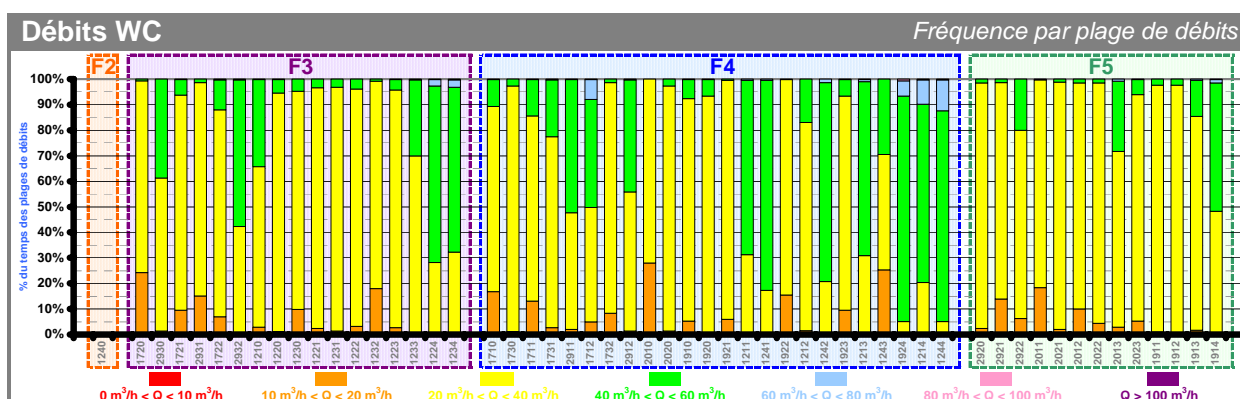


Figure 88 : Débits extraits en WC (grille hygroréglable), par logement sur l'année 2005 (fréquences par plage de débits)

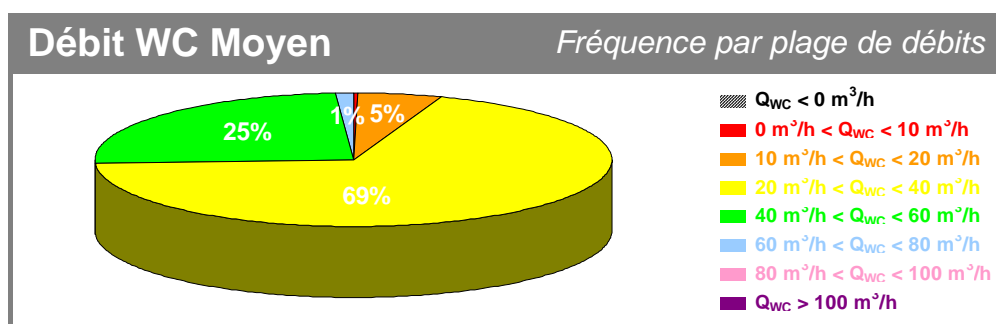


Figure 89 : Débits extraits en moyenne, en WC ((grille hygroréglable), sur l'année 2005 (fréquences par plage de débits)

Sur la représentation de la répartition moyenne, on constate que les débits sont majoritairement compris entre 20 et 40 m³/h.

12.2.2.3 Débits en salles de bain

Ci-dessous est donnée la répartition des débits par plages en salles de bain (ventilation hygroréglable).

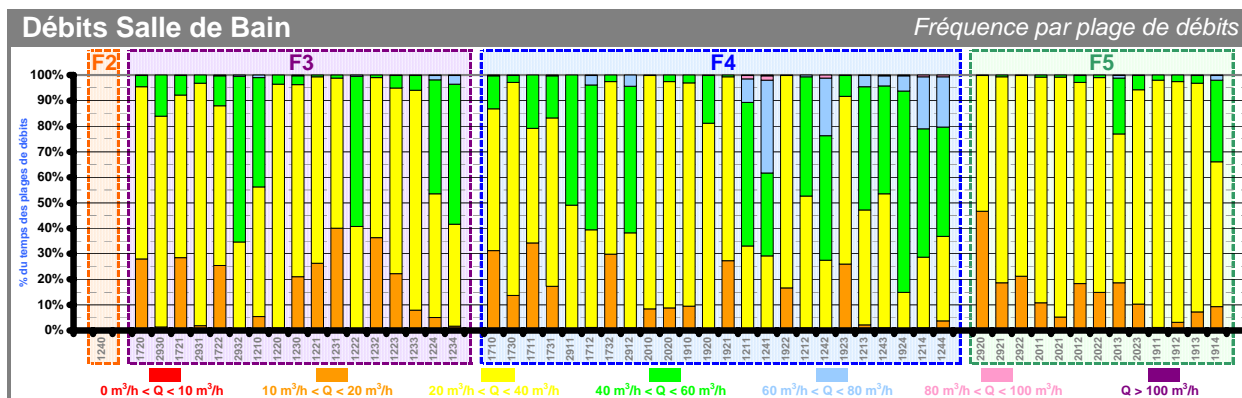


Figure 90 : Débits extraits en salles de bain (grille hygroréglable), par logement sur l'année 2005 (fréquence par plage de débits)

On peut noter, à la différence des WC (équipés des mêmes grilles d'extraction et raccordés sur de mêmes conduits qu'en salle de bain), l'apparition de "furtives parties roses" au sommet de certaines barres ("1211", "1241", "1242", "1212", "1244") indiquant des débits supérieurs à 80 m³/h.

Ceci met évidence l'existence de débits "accélérés" très ponctuels (<1% du temps) en salles de bain, correspondant aux prises de douches par les occupants. **Ce point justifie en outre le faible impact du débit accéléré sur les déperditions thermiques par renouvellement d'air.**

Ci-dessous est donnée la répartition moyenne des débits sur les 57 salles de bain :³⁶

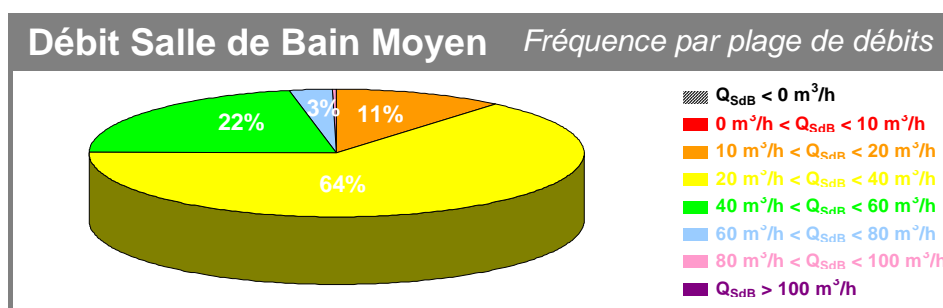


Figure 91 : Débits extraits en moyenne, en salle de bain, sur l'année 2005 (fréquences par plage de débits)

³⁶ les logements "2920", "2921" et "2920" disposent de deux salles de bain, dont une seule est généralement utilisée.

Plus élevés en moyenne qu'en WC, les débits en salle de bain sont majoritairement compris entre 20 et 40 m³/h.

12.2.3 Débits hygrorégulés

On aura pu noter, en salles de bain et en WC, des débits moyens aux alentours de 30 m³/h. **Ces débits, supérieurs aux débits moyens de la VMC hygroréglable, sont nécessaires pour le cas de logements réhabilités n'ayant pas subi d'amélioration significative de leur isolation thermique (risques de condensation plus importants).**

Dans le cadre de logements neufs, on pourrait accepter de réduire les débits de base de la ventilation hygroréglable naturelle assistée à ceux de la VMC (hygroréglable), les exigences en matière d'isolation thermique y étant plus sévères.

Ainsi, **l'utilisation d'une gamme de grilles d'extraction hygroréglables spécialement dédiée à la ventilation naturelle assistée, permettrait un gain énergétique supplémentaire** du point de vue des pertes thermiques par renouvellement d'air en hiver, et des performances égales à celles de la VMC hygroréglable.

12.2.4 Débits maximum et débits « de pointe »

Il est difficile de parler de "débits de pointe" proprement dits pour le système mis en œuvre.

Néanmoins, étant donnée la rapidité des grilles hygroréglables à s'ouvrir en fonction de l'augmentation d'humidité, il est possible d'évaluer les débits "accélérés" réellement et automatiquement générés.

Il est bien clair que ces débits sont totalement conditionnés par les activités propres des occupants (durée des bains, intensité de la mise en suspension d'humidité dans l'air, etc.), et ne correspondent que partiellement aux débits maximum effectivement possibles.

Chacun de ces graphiques donne la plage des débits mesurés pour chaque jour de l'année : la courbe inférieure renseigne le débit de base (moments de moindre production d'humidité intérieure), la courbe supérieure renseigne le débit maximum atteint en cours de journée selon l'activité des occupants³⁷, et la courbe orange détermine la valeur de débits moyens quotidiens.

³⁷ Afin de s'affranchir, dans ces représentations, de "trous" liés à l'absence ou à la non-utilisation momentanée de la salle de bain, le débit maximum a été pris comme le maximum des débits sur trois jours consécutifs.

De même, pour ne pas prendre en compte les mises en défaut ponctuelles volontaires (au moins hebdomadaires) de la ventilation (entraînant des chutes de débit), on a retenu comme débit de base, le maximum parmi les trois débits minimum atteints au cours de trois jours consécutifs (le calcul se fait en effet en considérant les mesures de débits réalisées chaque minute, sur toute l'année ; il est donc difficile d'isoler de façon systématique des moments ponctuels à ne pas prendre en compte).

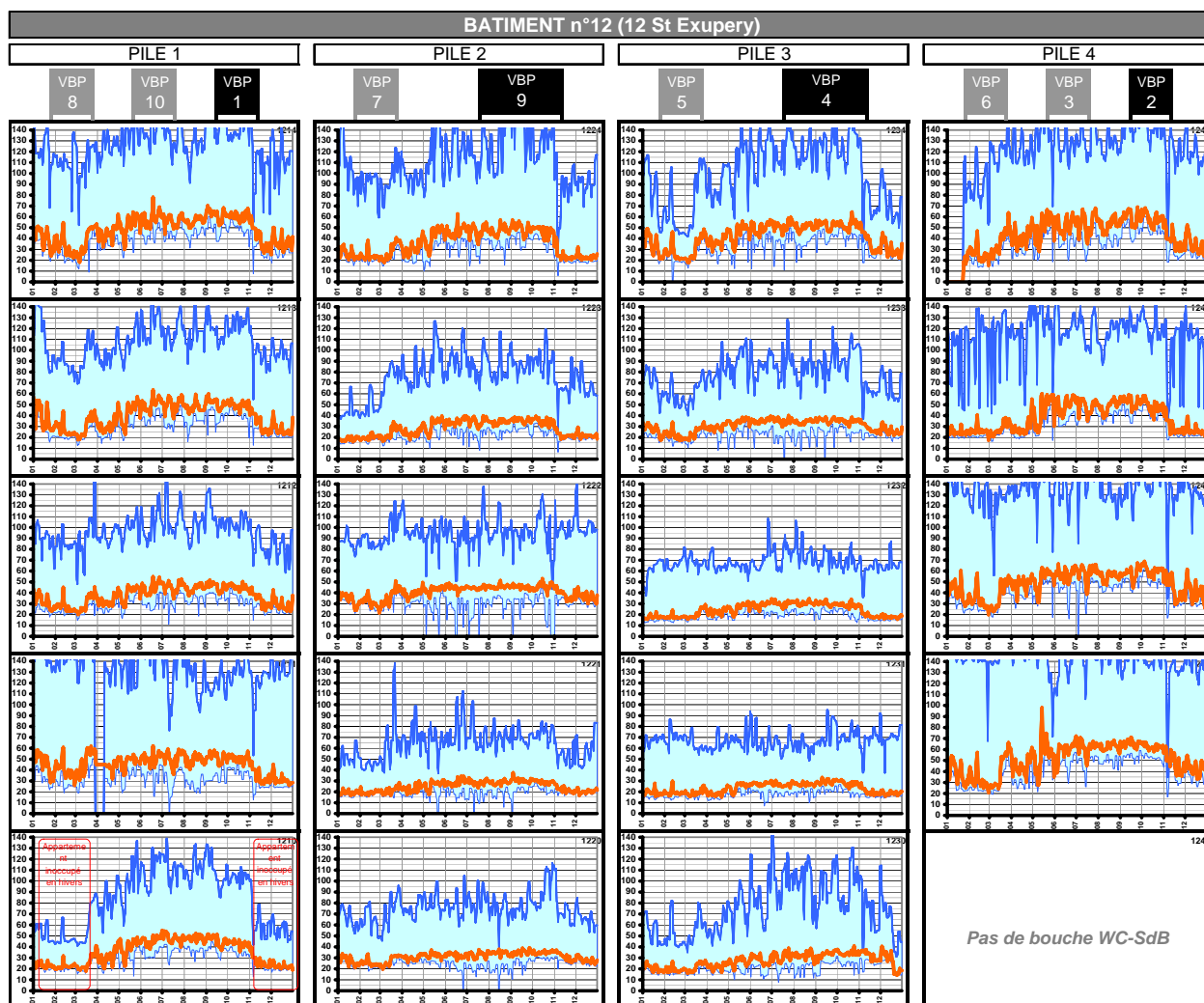


Figure 92 : Plages et débits quotidiens mesurés en Salle de bain en 2005 pour le bâtiment 12

Ce bâtiment représente la configuration la plus défavorable du point de vue de la performance aéraulique parmi les cinq bâtiments étudiés (certains conduits desservent conjointement salles de bain et WC, d'autres piles possèdent des conduits de raccordement individuels de dimensions réduites).

On constate ainsi des débits "de pointe" moindres en partie centrale. Néanmoins, pour les étages de rez-de-chaussée subissant le maximum de perte de charge du conduit shunt, **une amplitude de variation typique de 50 m³/h (de 25 à 75 m³/h) est assurée dans ce cas le plus défavorable.**

Dans le cas d'un dimensionnement de conduit plus adapté³⁸ (piles "1 et 4"), **une amplitude de variation typique de 100 m³/h est assurée.**

On peut remarquer que les débits de "pointe" engendrés sont bien liés à l'activité de l'occupant, comme le montre l'appartement de bas-gauche, habité par une personne très peu présente en hiver ; les variations de

³⁸ Comme on peut le constater sur les derniers niveaux possédant leur propre conduit individuel à perte de charge réduite.

débats quotidiens sont soit dues à une présence très ponctuelle, soit à des variations d'humidité d'ambiance (variation de température intérieure, voire d'humidité extérieure).

Moyennes :

On constate que les moyennes, très proches des débits de base, ne sont que peu affectées par les "pointes" pourtant conséquentes, mais très limitées dans le temps.

Ainsi, **des débits importants ponctuels assurent la qualité d'air, sans pour autant avoir d'impact négatif sur la facture énergétique**, les débits restant réduits en dehors des besoins (le coût énergétique résulterait de la forte quantité d'air entrant à réchauffer en hiver, en cas de non-maîtrise des débits de ventilation).

12.2.5 Conclusion partielle

Avec plus de 54 % d'occupants satisfaits de leur nouvelle ventilation, le nouveau système de ventilation hybride hygroréglable installé chez les occupants des logements objets de l'expérimentation est dans l'ensemble bien accepté.

La meilleure qualité du renouvellement d'air est un résultat particulièrement apprécié de la majorité des occupants, bien que parfois celui-ci puisse être perçu comme gênant sur le plan thermique. C'est la sensation générale d'une meilleure « aération » qui prédomine, et ses effets visibles sur l'éradication des moisissures et des condensations. **69 % des occupants interrogés déclarent ne pas avoir ou ne plus avoir de moisissures ni de problèmes de condensation.**

La ventilation naturelle assistée permet d'atteindre pleinement les exigences des débits minimum à extraire de "l'Arrêté du 24 mars 1982", bien que ces exigences ne s'appliquent pas dans le cas de ce projet.

Les niveaux de performance sont assurés dans le cas d'une ventilation hygroréglable naturelle assistée, ouvrant ainsi le champ d'une application en construction neuve.

Des débits « de pointe » ou "accéléérés" très importants ont notamment pu être mesurés en salle de bain, garant d'un **contrôle permanent de la qualité d'air intérieure**, et suffisamment ponctuels pour permettre **un niveau de débit moyen substantiellement bas, limitant ainsi les déperditions thermiques.**

12.2.6 Variabilité et foisonnement des besoins

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à la variation temporelle des besoins dans les logements d'une part, puis à la non-simultanéité des besoins de plusieurs logements raccordés à un réseau commun. En effet, les réseaux de ventilation sont majoritairement dimensionnés pour être capables de répondre à une demande forte simultanée de l'ensemble des pièces et des logements raccordés. Or, comme nous allons le montrer plus loin, l'approche statistique révèle une répartition temporelle de la demande.

Une étude complémentaire sur la répartition temporelle des « puisages » des appareils de production d'ECS en fonction du type d'occupation du logement également été réalisée.

12.2.6.1 Adaptation permanente des débits au besoin - Variabilité dans le temps

Les graphiques suivants présentent, sur une période de 2 semaines représentative, les débits instantanés (1 mesure par minute) mesurés dans la salle de bain et dans la cuisine du logement du 1^{er} étage de la pile 1 du bâtiment 12.

On peut noter la **remarquable dynamique de la ventilation hygrorégulée** avec des débits "accélérés" importants lorsque nécessaire, sans pour autant que soit affecté le renouvellement d'air moyen (courbe grise), garante d'une **excellente maîtrise des déperditions énergétiques** en hiver.

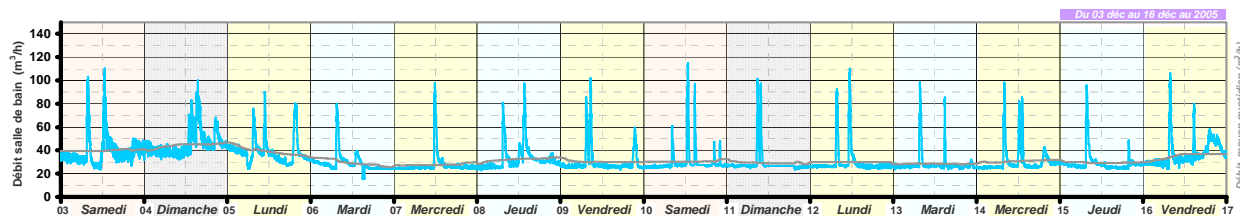


Figure 93 : Evolution des débits instantanés en salle de bain sur un logement

Par la mesure des variations de température à la buse du chauffe-eau en cuisine, le graphique suivant (Figure 94) met en évidence les puisages en eau chaude, correspondant pour certains aux élévations de débits en salle de bain, dont on peut alors supposer qu'elles sont liées à une activité telle que la prise d'une douche.

Ce point met en évidence la **réponse immédiate et systématique du système de ventilation hygroréglable lorsque le besoin s'en fait sentir**.

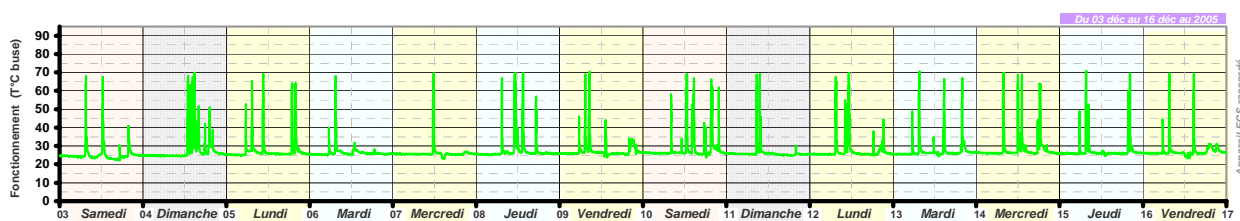


Figure 94 : Evolution du fonctionnement instantané du chauffe-bain en cuisine du même logement

12.2.6.2 Non-simultanéité des débits sur une pile de logements

Dans le graphe Figure 95, nous avons représenté les débits instantanés en salle de bain et en WC mesurés chaque minute durant une semaine de février 2005, à chaque étage de la Pile1 du bâtiment 12.

Si l'on observe les débits mesurés dans chaque logement, on constate que selon les étages, la variation des débits hygrorégulables traduit des activités très variables :

- RDC : Le débit invariable et bas dans les deux pièces traduit une production d'humidité nulle, qui montre que le logement est resté inoccupé durant toute la semaine de mesure.
- 1^{er} étage : L'activité est intense et régulière, avec de nombreuses augmentations ponctuelles de débit, à un niveau élevé, particulièrement en salle de bain.
- 2^{ème} étage : L'activité est faible ; on relève quelques courtes et faibles élévations du débit en salle de bain, de manière irrégulière.
- 3^{ème} étage : L'activité est très régulière, mais le niveau de débit est moins élevé qu'au 1^{er} étage.
- 4^{ème} étage : L'activité n'est pas régulière, mais les élévations de débit, surtout en salle de bain, sont importantes.

Simultanéité des débits WC/SdB - Pile1, Bâtiment 12 (Du 23 au 27 fév. 2005)

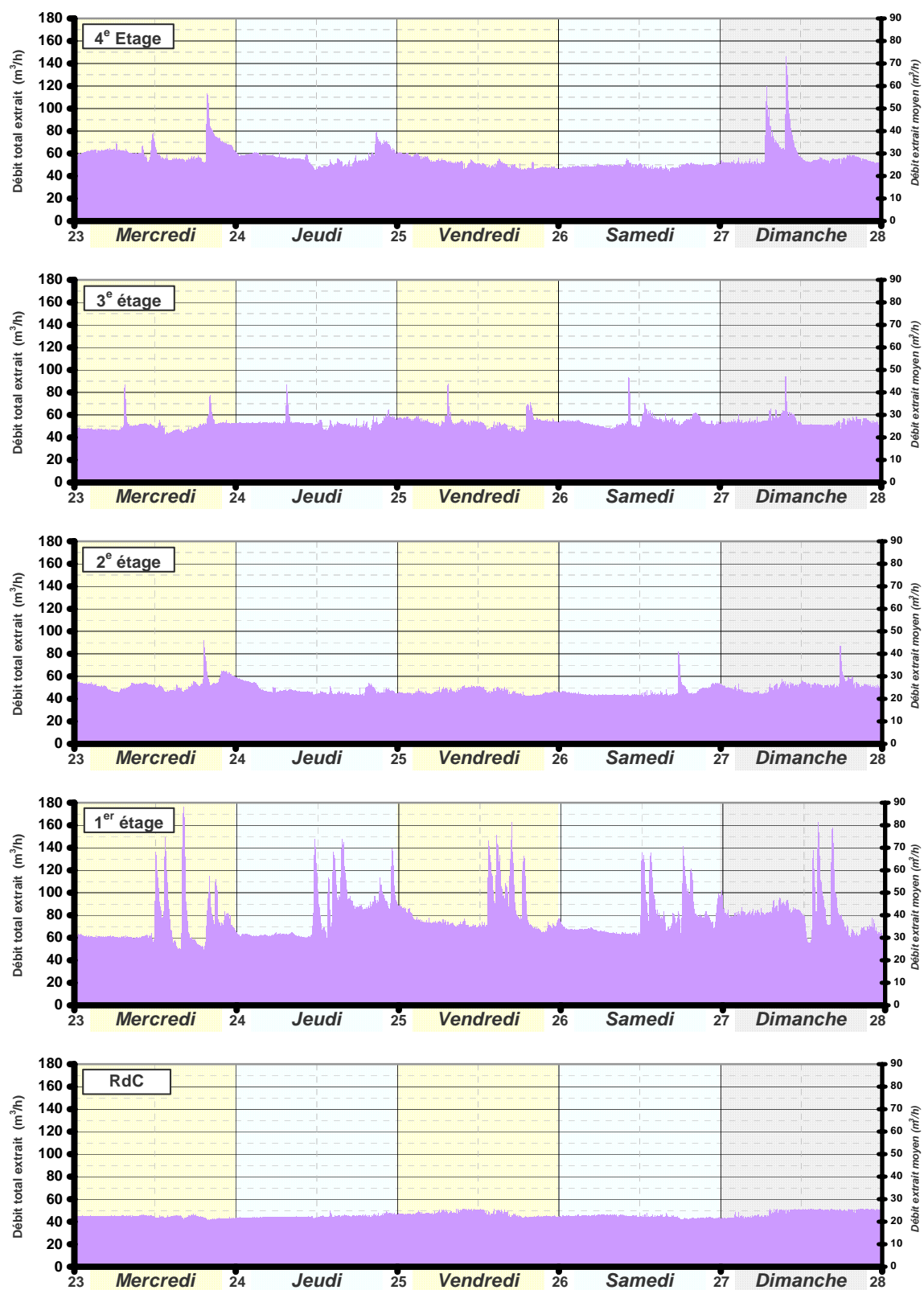


Figure 95 : Débits instantanés cumulés en salle de bain / WC, du 23 au 27 fév. 2005, pour la pile1 du bâtiment 12

On observe que les débits en WC et en salle de bain varient sans lien apparent à l'intérieur de chaque logement ; Si l'on compare les débits entre les logements à chaque instant, on constate que **l'activité n'est jamais simultanée**.

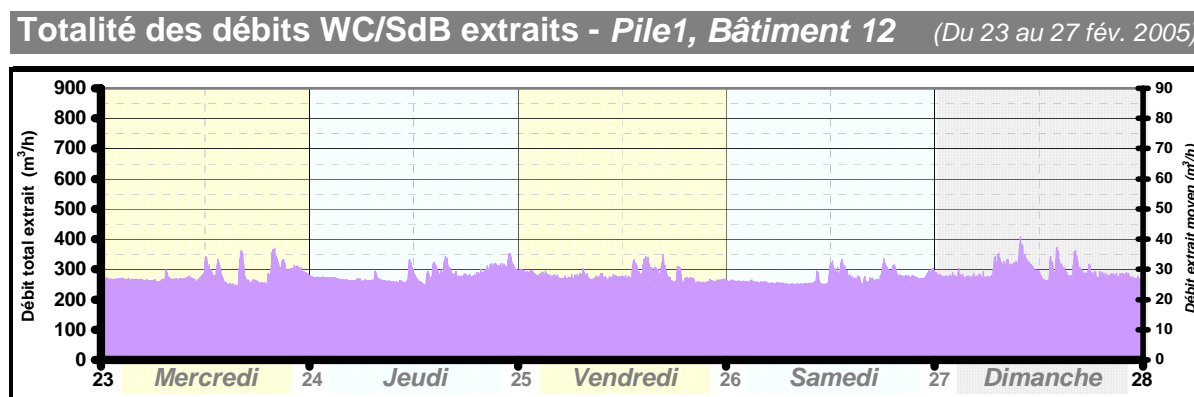


Figure 96 : Débits instantanés totaux en salles de bain / WC, du 23 au 27 fév. 2005, pour la pile1 complète du bâtiment 12.

Ce constat est encore plus évident sur le graphique Figure 96, où l'on a représenté le débit cumulé extrait des 5 logements de la pile : le débit total à chaque instant n'excède jamais 400 m³/h, ce qui donne un débit moyen maximum de 40 m³/h, pour un débit moyen de 25 m³/h.

Cela signifie que, dans ce cas typique mais représentatif, **un réseau dimensionné pour atteindre un total de 400 m³/h permet d'atteindre potentiellement à chaque grille un débit d'au moins 120 m³/h** (maximum observé sur la salle de bain du 1^{er} étage, le 23 février) **alors qu'un calcul ne tenant pas compte du foisonnement aurait donné une capacité maximale de 40 m³/h par grille** (sur 10 grilles raccordées au même conduit).

Plus d'informations : voir article " Management of the time-distribution of the needs for indoor air renewal in humidity sensitive ventilation ". Savin, J.L., Jardinier, M. (2006), 27th AIVC conference

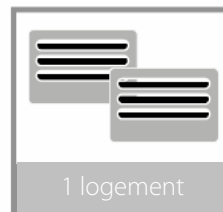
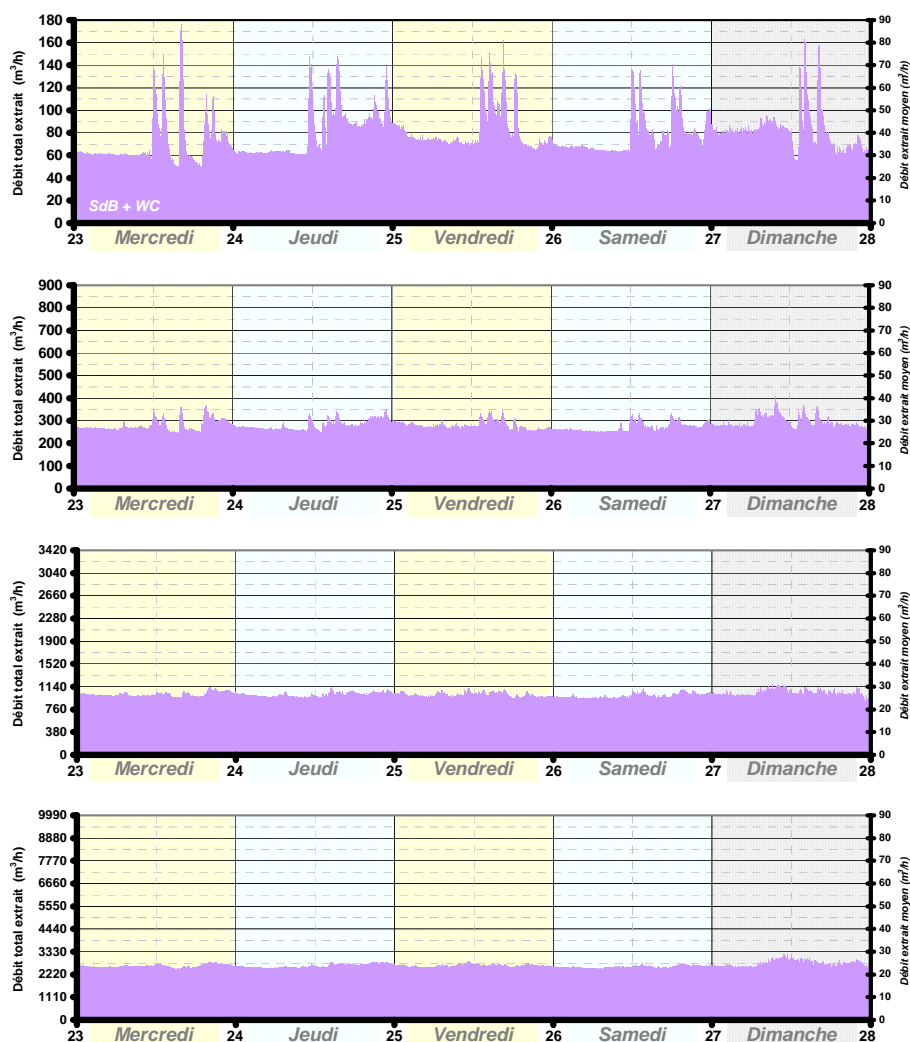
> téléchargeable sur : http://www.aereco.fr/page/fr/data/publication/AIVC_LYON_2006.pdf

12.2.6.3 Non-simultanéité des débits sur un ensemble de logements

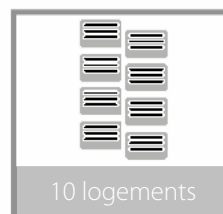
En comparant les variations de débit instantané dans un logement, dans une pile de 5 logements, dans un bâtiment de 19 logements, puis dans l'ensemble des 54 logements, on peut vérifier que ce phénomène de stabilisation augmente au fur et à mesure que l'on regroupe un plus grand nombre d'éléments. Ce phénomène est observé aussi bien en hiver (Figure 97) qu'en été.

Débits WC/SdB - Par logement, pile, bâtiments

(Du 23 au 27 fév. 2005)



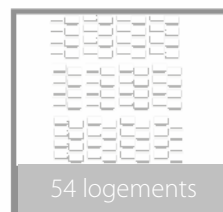
1 logement



10 logements



19 logements



54 logements

Figure 97 : Débits instantanés cumulés sur une semaine typique d'hiver – Comparaison des sommes de regroupement.

Alors que son amplitude de variation est très importante au niveau du logement (de 25 m³/h à 85 m³/h par grille, soit une amplitude de 60 m³/h), le débit instantané cumulé durant la période de chauffage (en hiver) sur les 54 logements devient très peu variable (débit moyen de 26 m³/h, avec une amplitude de 6 m³/h).³⁹

³⁹ En été, au niveau du logement, le débit instantané moyen d'une grille fluctue de 25 m³/h à 75 m³/h, soit une amplitude de 50 m³/h, alors que lorsque l'on cumule les 54 logements, le débit moyen instantané par grille varie seulement de 29 m³/h à 42 m³/h, soit une amplitude de variation de 13 m³/h. On peut donc faire le même constat en été selon lequel plus on regroupe de logements, moins le débit total à extraire varie.

12.2.7 Conclusion partielle

Les observations démontrent la non-simultanéité et la répartition temporelle des besoins de ventilation.

Ces résultats confirment la pertinence et la nécessité d'intégrer la prise en compte d'un foisonnement des besoins pour les débits « de pointe » dans les calculs de dimensionnement des réseaux de ventilation, et d'éviter ainsi un surdimensionnement des réseaux préjudiciable à la viabilité économique des systèmes.

La mesure du débit global extrait ne permet en aucun cas de statuer sur le débit modulé instantané d'un logement raccordé au réseau. La réponse d'un système de ventilation hygroréglable ne peut être mesurée que d'une façon individuelle, et non globale.

12.3 Evaluation des risques de condensations

On propose d'évaluer les risques de condensations dans les pièces de vie ⁴⁰ à partir du calcul de la température des parois froides (parois extérieure) et de l'humidité dans le logement.

Ce calcul repose sur :

- le calcul de la température intérieure des parois extérieures (à partir des caractéristiques thermiques des parois, de la température intérieure et de la température extérieure),
- le calcul de la température de rosée (à partir de l'humidité intérieure du logement)
- la comparaison entre la température des parois et la température de rosée : les condensations se produisent si la température des parois est inférieure à la température de rosée.

Les calculs ont été conduits pendant la période de chauffage (octobre à mai). Pour tenir compte à la fois de l'inertie thermique des parois et de leur inertie hygroscopique, il est proposé de conduire les calculs pour les valeurs moyennes journalières ⁴¹.

12.3.1 Prise en compte des conditions intérieures

Il s'agit d'évaluer la température et l'humidité dans les pièces de vie alors que nous ne disposons de valeurs mesurées que dans les pièces techniques.

Il est proposé de faire cette évaluation à partir des mesures effectuées dans le WC ⁴², en effet :

⁴⁰ Il peut évidemment y avoir des condensations dans les pièces techniques : toutefois les revêtement muraux de ces pièces doivent pouvoir accepter des condensations passagères (plusieurs heures cependant) sans risque de dégradation ou de moisissure). Il n'en est pas de même des pièces de vie où les revêtements muraux peuvent ne pas supporter les condensations.

⁴¹ On pourrait conduire un calcul dynamique plus sophistiqué. Toutefois les valeurs moyennes journalières (en particulier en période de chauffage où la température intérieure varie peu au fil du temps) sont suffisamment représentatives. Pour ce qui concerne l'humidité, ne pas tenir compte d'une inertie séquentielle de longue période (plusieurs mois) permet de se placer dans une configuration défavorable mais qui reste réaliste.

- il n'y a pas dans le WC de production d'humidité (contrairement à la cuisine et à la salle de bain) : on peut donc préjuger que la valeur d'humidité mesurée est représentative de celle des pièces de vie.
- il n'y a pas dans le WC de production de chaleur (local, non chauffé, souvent en position centrale dans le logement) : on peut donc d'une part préjuger que la valeur de la température mesurée est représentative de celle des pièces de vie, d'autre part qu'il n'y a pas dans le WC de risque de stratification des températures.

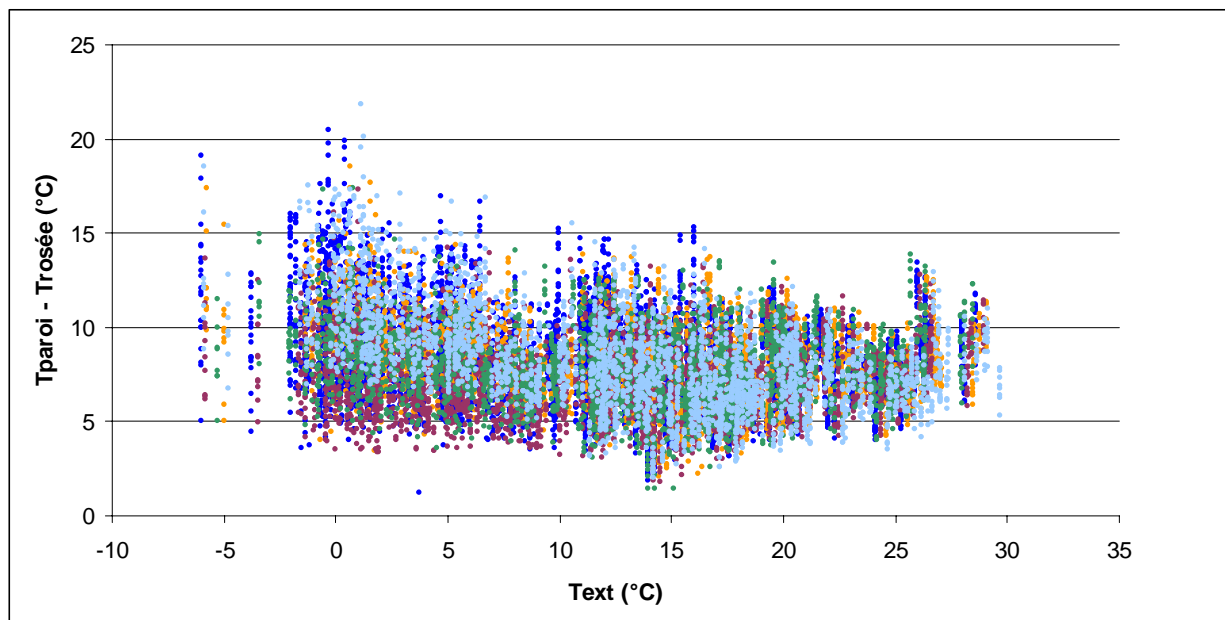
L'intégralité des calculs de température des parois extérieures et de température de rosée est disponible dans le rapport d'étude complet.

12.3.2 Résultats expérimentaux

Rappel des conditions d'obtention des résultats :

- la température de rosée est calculée à partir des valeurs moyennes journalières de température et d'humidité mesurées dans les WC.
- la température des parois intérieures est calculée à partir des valeurs moyennes journalières de température (intérieure et extérieure) ; la température des parois est calculée pour un coefficient de déperdition surfacique de $3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Pendant l'année 2005 et avec les hypothèses ci avant on ne note aucune condensation dans aucun logement. Le graphe ci-après donne pour chacun des bâtiments (sur l'année complète) l'écart de la température de paroi à la température de rosée en fonction de la température extérieure.



⁴² Pour l'appartement du rez-de-chaussée du bâtiment 12, en l'absence de point de mesure en WC, les calculs ont été conduits à partir des conditions intérieures mesurées en cuisine

On note que :

- **l'écart n'est jamais nul ou négatif (pas de condensations)**
- l'écart est plus important en hiver (environ 10 °C) qu'en été (environ 7 °C). Cela tient essentiellement à l'humidité absolue extérieure (poids d'eau dans l'air) qui est beaucoup plus importante en été qu'en hiver.

12.3.3 Conclusion partielle

Les risques de condensations sont évalués à partir du calcul de la température de rosée de l'air intérieur d'une part, de la température des parois donnant sur l'extérieur d'autre part.

Le système VBP associé à des grilles d'extraction et des entrées d'air hygroréglables permet dans tous les logements de supprimer les risques de condensations dans les pièces principales.

Il convient de noter que les logements sont chauffés par un système de chauffage collectif ; les occupants des logements sont donc moins incités à pratiquer une "intermittence sauvage"⁴³ du chauffage. Ainsi en augmentant la température moyenne des parois (par augmentation de la température moyenne de l'air intérieur) on contribue à diminuer les risques de condensations.^{44 45}

⁴³ Dans la mesure où cette intermittence (ou un éventuel sous chauffage) ne se traduit pas directement par des économies financières.

⁴⁴ Les conclusions auraient pu être différentes si les appareils à gaz raccordés individuels servaient également à chauffer les logements : les occupants sont alors incités à économiser le chauffage (parce que intéressés financièrement directement aux économies). Les risques de condensation auraient pu être plus élevés.

⁴⁵ D'une manière générale on peut se poser la question s'il est judicieux, dans l'intérêt du bailleur, de mettre en œuvre dans les logements sociaux des systèmes individuels de chauffage avec les risques de sous chauffage que cela entraîne. Tout sous chauffage augmente les risques de condensations. Les condensations détériorent la qualité de l'air intérieur mais également dégradent le bâti, diminuant ainsi la valeur du patrimoine immobilier.

13. Conclusions et perspectives

Les mesures réalisées dans le cadre de l'expérimentation menée sur le site de Nangis ont confirmé les performances du système de ventilation hygroréglable dans sa capacité à améliorer la qualité de l'air intérieur, à diminuer les risques de condensation et à limiter les déperditions thermiques. Son rôle stabilisateur a pu être mis en évidence : il atténue les déséquilibres de débits entre les étages, et limite les variations de débit sur l'année en offrant une réelle maîtrise des moteurs naturels.

Les résultats ont par ailleurs montré que **l'assistance mécanique « VBP » permet d'optimiser les performances de la ventilation naturelle** : avec une consommation de seulement 5 W par logement, le ventilateur augmente les niveaux de pressions et ainsi assure les débits hygiéniques toute l'année. A quelques exceptions près où la limite basse de 3 Pa n'était pas atteinte et où la limite haute des 10 Pa était dépassée (notamment au dernier niveau du R+4), les mesures ont également permis de vérifier que **les niveaux de pressions sont en général compatibles avec le bon fonctionnement des appareils à gaz raccordés de type « chauffe-eau ».**

Associé avec la ventilation hygroréglable, l'assistance mécanique VBP optimise l'exploitation des moteurs naturels : elle limite le débit en hiver, contribuant à la maîtrise énergétique, et assure en saison chaude des débits positifs en évitant tout refoulement. Une étude complémentaire a permis de vérifier que l'on a également supprimé les risques de condensation dans toutes les pièces principales, confirmant le rôle essentiel du système de ventilation hygroréglable hybride à assurer un renouvellement d'air de qualité. Mis en œuvre dans le cadre d'une rénovation, le système de ventilation hygroréglable hybride offre des débits comparables à ceux exigés par la réglementation en vigueur dans la construction neuve.

Les observations démontrent la non-simultanéité et la répartition temporelle des besoins de ventilation. **Ces résultats confirment la pertinence et la nécessité d'intégrer la prise en compte d'un foisonnement des besoins notamment pour les débits « de pointe » dans les calculs de dimensionnement des réseaux de ventilation.** Ils confirment également l'hypothèse selon laquelle la mesure du débit global extrait ne permet en aucun cas de statuer sur le débit modulé instantané d'un logement raccordé au réseau.

Les essais de comparaison du fonctionnement de l'assistance mécanique VBP à l'arrêt et d'un extracteur statique « classé B »⁴⁶ ont montré que le **VBP présentait de meilleures performances en fonctionnement statique qu'un appareil « normalisé », ouvrant ainsi les perspectives de reformulation des exigences réglementaires.**

⁴⁶ selon l'ancienne norme P 50-413

Bibliographie

- Laboratoire Cerga, « Evaluation des pertes de charge pour installation du VBP sur le site de NANGIS – ET0248 »
- Gaz de France - département « EVAcuation des Produits De Combustion » (2002-2003). « Aide à la caractérisation et au développement du système d'extraction mécanique VBP sur des conduits de fumée de type shunt desservant des appareils à gaz raccordés ». *Essai M.DU.BAT.2003.N° 00069 - LBn/MC*.
- ACTHYS-GIE , « Cahier des charges Ventilation naturelle ».
- Savin, J.L., Jardinier, M. (2006). " Management of the time-distribution of the needs for indoor air renewal in humidity sensitive ventilation ". *27th AIVC conference*.
- Berthin, S., Savin, J.L. and Jardinier, M. (2005) "Assessment of improvements brought by humidity sensitive and hybrid ventilation / HR-VENT project". *26th AIVC conference*.
- Siret, F., Savin, J.L., Jardinier, M. and Berthin, S. (2004). " Monitoring on hybrid ventilation project - first results." *25th AIVC conference*.
- Savin, J.L., Jardinier, M. and Siret, F. (2004). "In-situ performances measurement of an innovative hybrid ventilation system in collective social housing retrofitting". *25th AIVC conference*.
- Siret, F. and Jardinier, M. (2004). "High accuracy manometer for very low pressure." *25th AIVC conference*.
- CSTB, TNO, BBRI, Aereco (1993). "Passive humidity controlled ventilation for existing dwellings" - *Demonstration project EE/166/87*.
- Aereco (2002). "Monitoring of two natural exhaust grilles in Hokkaido - Japan"

Remerciements

Ce projet n'aurait pu se réaliser sans les acteurs qui y ont pris part. C'est pourquoi nous tenons à exprimer nos remerciements particuliers aux personnes qui ont contribué à faire de cette expérimentation un succès, sans oublier toutes celles que nous n'avons pu citer tant le projet a réuni un nombre important de compétences.

Dans l'ordre alphabétique :

Le personnel, les gardiens et tous les résidents du site de « La mare aux Curées » à Nangis

Lionel BENBANASTE

Roger BERRIER

Stéphane BERTHIN

Laurent BOURGOIS

Michel CARRE

Jean-Pierre CORONADO

Séverine GILLET

Pierre HERANT

Marc JARDINIER

Pierre JARDINIER

Jean-Marc LAFARGE

Serge PETILLON

Michel PLAGNE

Olivier ROULETTE

Jean-Luc SAVIN

Frédéric SIRET

Sandrine THERIER

Jean-Georges VILLENAVE

Contacts

Aereco SA

9 allée du Clos des charmes - ZI Collégien - 77 615 Marne La vallée Cedex 03

tel : 01 60 06 44 65

fax : 01 64 80 47 26

Jean-Luc SAVIN (responsable Marketing-Communication)

Email : jeanluc.savin@aereco.com

Stéphane BERTHIN (ingénieur)

Email : stephane.berthin@aereco.com

ACTHYS

4 allée du Clos des charmes - ZI Collégien - 77 615 Marne La vallée Cedex 03

tel : 01 60 37 40 00

fax : 01 60 37 40 04

Laurent BOURGOIS (responsable Marketing)

Email : bourgois@acthys-gie.fr

Toute reproduction partielle ou intégrale de ce document est soumise à autorisation expresse d'Aereco SA. Toute reproduction, même partielle, devra faire mention des auteurs (le CSTB et Aereco), ainsi que son financeur (l'ADEME).

Améliorer la qualité de l'air intérieur tout en réduisant les dépenses d'énergie liées au renouvellement de l'air constituent aujourd'hui deux objectifs majeurs de l'habitat, dans la construction neuve comme en rénovation. En combinant composants hygroréglables et assistance mécanique très basse pression, le nouveau système de ventilation hybride mis en œuvre dans le cadre du projet HR-VENT vise à concilier ces objectifs. Réalisé en Seine et Marne à NANGIS, HR-VENT est une expérimentation conduite en milieu occupé dont le caractère exceptionnel réside aussi bien dans la dimension que dans les moyens de mesure engagés. Avec plus de 700 millions de valeurs enregistrées durant deux années sur 55 logements, l'expérimentation a non seulement permis de mesurer l'efficacité de ce nouveau système ; elle a également contribué à enrichir la connaissance du

fonctionnement de la ventilation naturelle et hybride en habitat collectif.

De janvier 2004 à décembre 2005, les valeurs d'humidité relative, température, pression et débit d'air extrait ont été enregistrées chaque minute dans la cuisine et dans les pièces sanitaires à l'aide de capteurs développés spécifiquement. Directement liées aux données météorologiques, ces mesures ont permis d'évaluer les performances de la ventilation hygroréglable et l'apport de l'assistance mécanique ; elles ont également déterminé la capacité du système de ventilation à améliorer la qualité d'air intérieur et à maîtriser les déperditions thermiques. Mené en collaboration avec des partenaires institutionnels majeurs tels que le CSTB et Gaz De France, HR-VENT ouvre la voie au développement de solutions de ventilation innovantes pour les immeubles résidentiels.

L'expérimentation HR-VENT a reçu le soutien financier de l'ADEME dans le cadre du programme «Préparons le Bâtiment à l'horizon 2010». Les résultats de l'étude ont fait l'objet d'un rapport CSTB rédigé en collaboration avec Aereco.



Aereco S.A.

9 allée du Clos des Charmes - Collégien
77615 Marne la Vallée Cdx 3 - FRANCE
tel: +33 1 60 06 26 63 - fax: +33 1 60 06 22 11
www.aereco.com