



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

DESE/SB – 2009-037
Juin 2009

**ETAT DE LA VENTILATION DANS LE PARC
DE LOGEMENTS FRANCAIS**

Jean-Paul Lucas
Olivier Ramalho
Séverine Kirchner
Jacques Ribéron

CSTB
Division Santé
Pôle Expologie des Environnements Intérieurs

Ce document a été réalisé dans le cadre du groupe de travail « Ventilation » de l'OQAI avec la collaboration de :

AKOUA Jean-Jacques (CSTB/ESE/Division Energie)

BLONDEAU Patrice (LEPTIAB)

CHARRIER Sandrine (CETE de Lyon)

DEROUBAIX Pierre (ADEME)

GINESTET Alain (CETIAT)

LOPEZ-DIAZ Maria (ANAH)

PELE Charles (CSTB/ESE/Division Energie)

PILCH Eric (CSTB/EvalIE)

PIRIOU Julien (CSTB/EvalIE)

SOULIER Anne-Marie (MEEDDAT/DHUP)

SCHWENZFEIER Laure (CETIAT)

RESUME

Après la publication en novembre 2006, de l'état de la pollution dans les logements, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) présente aujourd'hui un état des situations d'aération dans le parc de logements français. La part la plus ancienne du parc de logements, non soumise aux exigences réglementaires instaurant le principe de la ventilation générale et permanente¹, représente encore la moitié des constructions. Les logements plus récents montrent une moindre dispersion des débits extraits grâce aux systèmes mécanisés mais ceux-ci accusent fréquemment des dysfonctionnements qui limitent fortement leur fiabilité. Le comportement des occupants apparaît comme jouant un rôle déterminant dans l'aération des logements au travers de stratégies spontanées d'ouverture des fenêtres et des portes y compris en période de chauffage.

Fin 2006, l'OQAI présentait les résultats de la première campagne nationale sur la qualité de l'air dans les logements en France avec un état de la qualité de l'air ciblé sur une trentaine de polluants chimiques, physiques et microbiologiques. Première référence disponible sur la pollution dans le parc de logements français, ces résultats ont montré qu'il existe une spécificité de la pollution à l'intérieur des logements par rapport à l'extérieur qui s'exprime en particulier par la présence de certaines substances non observées à l'extérieur ou par des concentrations nettement plus importantes à l'intérieur. Les polluants visés sont présents à des niveaux quantifiables dans la majorité des logements du parc, la répartition de la pollution chimique organique n'est cependant pas homogène dans le parc avec, selon le polluant, de 5 à 30% des logements présentant des valeurs nettement plus élevées que les concentrations trouvées en moyenne dans le parc.

Ces situations de pollution sont la résultante de la présence de multiples sources de pollution dans ces lieux de vie (matériaux, équipements, mobiliers, produits ménagers, activités humaines, environnement extérieur, etc.) et des conditions d'aération des logements.

C'est sur ce dernier facteur que s'est penché l'OQAI au travers des données collectées sur l'échantillon de 567 logements représentatif des 24 millions de résidences principales en France continentale métropolitaine pour constituer, à l'échelle nationale, un état descriptif le plus complet possible de la ventilation dans les logements :

Des exigences de ventilation qui ont évolué au cours du temps

La moitié du parc de logements a été construite avant 1967, donc **avant les réglementations sur l'aération des logements** instaurant le principe de la ventilation générale et permanente (arrêtés de 1969, 1982).

La ventilation mécanique contrôlée (VMC) et la ventilation naturelle (Vnat) équipent près de 70 % des logements à elles deux, la VMC double flux ne représentant que 1.1% du parc.

La ventilation naturelle équipe des logements anciens et/ou réhabilités. En effet, depuis 1990 la ventilation naturelle a quasiment disparu des constructions neuves de logements. Elle est présente dans 41% des logements collectifs alors qu'elle n'équipe que 29 % des logements individuels.

La VMC est répartie de manière homogène entre les logements individuels 35.7 % et collectifs 34 %. Environ 8% des logements du parc sont construits avant 1968 et ont été réhabilités en installant une VMC ce qui représente 15 % des logements construits avant 1968.

Près de 18 % des logements construits entre 1975 et 1989 ne sont pas conformes aux réglementations en vigueur de 1969 ou de 1982² (équipés en ventilation partielle : moteurs de ventilateurs dans quelques pièces ; ou n'ayant aucun système de ventilation). Ce pourcentage diminue sensiblement après 1989.

Des situations de confinement variées dans les chambres du logement

Pour approcher indirectement les conditions d'aération dans les chambres (partie du logement où le temps passé est le plus important en moyenne), les niveaux de dioxyde de carbone ont été enregistrés. Le CO₂ est libéré par la respiration des occupants et sa concentration dans l'air est le reflet du confinement.

Les chambres montrent des niveaux variables avec moins de 40% des logements présentant des niveaux supérieurs à 1500 ppm de CO₂.

Sur cette base, l'estimation d'un débit de renouvellement d'air équivalent nocturne dans la chambre (toutes situations confondues en termes d'ouverture de porte et de fenêtre) montre des valeurs proches de 18 m³/h à l'échelle du parc. Ce même débit est de 10 m³/h dans les situations où les portes ou les fenêtres sont fermées.

Après 1982, la distribution des débits de renouvellement d'air équivalent nocturne est plus homogène. Ces situations sont également associées à des débits de renouvellement les plus faibles, en lien avec les exigences plus contraignantes de la réglementation.

¹ Arrêté du 22 octobre 1969 relatif à l'aération des logements ; arrêté du 24 mars 1982 concernant les dispositions relatives à l'aération des logements, modifié par arrêté du 28 octobre 1983.

² Ces logements (sauf 1) n'entrent pas dans les exceptions à l'obligation de l'aération générale et permanente prévue dans les arrêtés de 1969 et 1982.

A l'échelle du parc, les différents systèmes de ventilation amènent à des débits de renouvellement d'air équivalents nocturnes dans la chambre identiques, y compris en tenant compte de la seule période de chauffe.

Le rôle important de l'occupant dans l'aération des logements

L'ouverture des fenêtres, quasi systématique hors période de chauffe (94% des occupants déclarent ouvrir leur fenêtre plus d'une demi-heure par jour), est également importante en période de chauffe (49 %).

L'ouverture de la porte et/ou de la fenêtre, dans la chambre, la nuit, améliore le débit de renouvellement d'air équivalent nocturne, l'ouverture de la porte n'ayant pas d'impact significativement différent de l'ouverture de la fenêtre.

Les stratégies de gestion par les individus de l'ouverture de la porte et des fenêtres ne sont pas différentes d'un système de ventilation à l'autre.

La VMC, un système associé à une moindre dispersion des débits mais qui doit gagner en fiabilité

Dans les logements équipés de ventilation mécanique contrôlée, les débits d'air extraits mesurés présentent une grande dispersion d'un logement à l'autre. Pour les logements de 4 pièces par exemple, les valeurs mesurées de débit total minimal - somme des débits minimaux des bouches des pièces de service - vont de 8 à 269 m³/h, avec une moyenne de 85 m³/h et un écart type de 51 m³/h.

La comparaison des débits d'air extraits mesurés dans les logements avec des valeurs de référence³, montre que 56 % des 104 logements⁴ mesurés ont un débit total minimal strictement inférieur au débit de référence. On constate que le débit réduit de référence en cuisine n'est pas atteint dans 46% des cas. Les débits de pointe mesurés en cuisine respectent rarement les niveaux visés (84% de cas mesurés strictement inférieurs à la référence). De même pour les débits mesurés en salles de bain et en WC (63,5 % et 62 % de cas mesurés strictement inférieurs à la référence respectivement).

Parmi les logements dont le débit total minimal mesuré est strictement inférieur à la référence, on ne note pas de différence significative entre l'habitat individuel et l'habitat collectif. En revanche les logements construits entre 1969 et 1982 présentant un taux de débits strictement inférieurs au débit de référence plus important que les autres (logements construits à partir de 1982 ainsi que logements anciens réhabilités en VMC) en termes de débit total minimal d'air extrait mesuré.

Un équilibre à trouver entre qualité d'air et économie d'énergie

Ce premier constat sur les situations d'aération dans les logements va être complété par l'analyse des relations entre les situations de ventilation et la qualité de l'air observée afin d'identifier les situations les plus protectrices en terme d'aération. Les premiers éléments disponibles montrent cependant que la ventilation ne pourra subvenir à elle seule à l'élimination des nombreux polluants observés dans les logements et qu'un effort primordial doit être fait en amont, par la diminution des émissions à la source ou en traitant les contaminations de l'air (filtration, épuration).

Au cœur des objectifs énergétiques visés dans les bâtiments neufs et existants, la gestion de l'air doit réussir le double challenge de préserver la qualité de l'air tout en économisant l'énergie. L'amélioration de l'isolation et de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments et la réduction de l'énergie consacrée au renouvellement de l'air doit ainsi s'opérer en tenant compte de critères de qualité d'air acceptable.

L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) est placé sous la tutelle des Ministères en charge de la Construction, de la Santé, de l'Ecologie avec le concours du CSTB (opérateur technique), de l'ADEME, de l'AFSSET et de l'ANAH. Il produit et rassemble des connaissances sur les polluants présents dans les atmosphères intérieures des différents lieux de vie (logements, écoles, bureaux, lieux de loisirs...) dans le but de fournir aux gestionnaires de risques les éléments directement utiles à l'élaboration de politiques publiques permettant de prévenir ou limiter les risques liés à la pollution de l'air dans les espaces clos. Ses résultats sont également mis à disposition du public et des professionnels concernés (www.air-interieur.org) pour aider à une meilleure compréhension de cette problématique et aider, par l'implication de tous, à l'amélioration la qualité de l'air intérieur

³ Les valeurs des débits des logements construits à partir de 1982 ont été comparées aux valeurs réglementaires de l'arrêté de mars 1982, les logements construits entre 1969 et 1982 ont leurs débits comparés aux exemples de solutions du CSTB de 1971. Le choix a été fait de comparer les débits des logements construits avant 1969 aux valeurs de l'arrêté de 1982 dans l'hypothèse où la réhabilitation avait pour but de tendre vers ces valeurs réglementaires, de plus moins restrictives que celles des exemples de solutions de 1971.

⁴ Attention, 23 de ces 104 logements sont des logements réhabilités en VMC (construits avant 1969) pour lesquels aucune réglementation en vigueur n'existait. On pourrait donc ne pas considérer ces logements lors de l'analyse des ratios du débit total minimal, dans ce cas 58% des 81 logements mesurés ont un débit total minimal non conforme au regard de leur réglementation en vigueur.

TABLES DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION..... | 7 |
| 2. METHODOLOGIE | 7 |
| 3. STATISTIQUES GENERALES SUR LE PARC DE LOGEMENTS..... | 8 |
| 4. TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE VENTILATION..... | 11 |
| 4.1 Description..... | 11 |
| 4.2 Période de fin de construction | 12 |
| 4.3 Synthèse..... | 15 |
| 5. DEBITS D’AIR AUX BOUCHES D’EXTRACTION | 16 |
| 5.1 Mesures | 16 |
| 5.2 Débits aux bouches VMC..... | 17 |
| 5.2.1 Débit par pièce | 17 |
| 5.2.2 Ratios « débit mesuré / débit de référence »..... | 19 |
| 5.3 Ventilation naturelle..... | 32 |
| 5.4 Synthèse..... | 34 |
| 6. ETAT DES ENTREES ET SORTIES D’AIR | 36 |
| 6.1 Résultats..... | 36 |
| 6.2 Lien avec les débits des logements VMC..... | 37 |
| 6.3 Synthèse..... | 38 |
| 7. RENOUELEMENT D’AIR NOCTURNE DE LA CHAMBRE BASE SUR LES MESURES DE CO₂ | 39 |
| 7.1 Distribution des concentrations en dioxyde de carbone | 40 |
| 7.2 Renouveaulement d’air | 41 |
| 7.2.1 Distributions globales..... | 41 |
| 7.2.2 Renouveaulement d’air et périodes de chauffe et d’hors chauffe | 43 |
| 7.2.3 Renouveaulement d’air et type de ventilation..... | 44 |
| 7.2.4 Renouveaulement d’air et logements anciens et récents..... | 47 |
| 7.2.5 Renouveaulement d’air et taux d’occupation..... | 48 |
| 7.3 Synthèse..... | 49 |
| 8. OUVERTURES DES FENETRES | 50 |
| 8.1 Ouverture des fenêtres en période de chauffage et hors période de chauffage..... | 50 |
| 8.2 Ouverture des fenêtres pendant la semaine d’enquête..... | 52 |
| 8.3 Ouverture des fenêtres et systèmes de ventilation..... | 56 |
| 8.4 Ouverture de la porte et systèmes de ventilation..... | 57 |
| 8.5 Combinaison d’ouverture portefenêtre et systèmes de ventilation..... | 58 |
| 8.6 Ouverture et renouvellement d’air nocturne de la chambre | 58 |
| 8.6.1 Ouverture des fenêtres en chambres..... | 58 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 8.6.2 | Ouverture de la porte de la chambre la nuit | 60 |
| 8.6.3 | Combinaison d'ouvertures porte/fenêtre | 61 |
| 8.7 | <i>Synthèse</i> | 62 |
| 9. | CONCLUSIONS | 63 |
| | ANNEXES | 66 |
| | TABLES DES ILLUSTRATIONS | 80 |
| | REFERENCES | 83 |

1. INTRODUCTION

Les conditions d'aération des logements affectent les niveaux de pollution régnant à l'intérieur de ceux-ci ; c'est pourquoi une bonne connaissance des conditions réelles est un important enjeu de la qualité de l'air intérieur.

La campagne nationale dans les logements conduite par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur sur la période 2003-2005 a permis la collecte d'un grand nombre d'informations. Il est ici proposé de valoriser les données sur la ventilation et l'aération des logements afin de fournir des informations utiles aux décideurs et aux acteurs de la construction pour mieux connaître les situations existantes et apporter des éléments utiles pour une évolution des exigences réglementaires dans l'habitat.

L'objectif est à terme de :

- **disposer, à l'échelle nationale, d'un état descriptif le plus complet possible de la ventilation dans les logements,**
- établir les relations entre les situations de ventilation et la qualité de l'air observée,
- analyser les causes conduisant à des situations de sous ventilation et de sur ventilation.

A ce jour, le travail réalisé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment en collaboration avec les membres du groupe de travail « Ventilation/Humidité » et du groupe de travail « Exploitation des données de la campagne nationale Logements » [5] [7] [8] en charge du suivi de ce sujet, répond au premier objectif visé.

Des résultats de statistiques descriptives et inférentielles sont présentés dans un premier temps sur des thèmes généraux entrant en compte dans la sélection de variables connexes à la ventilation, puis sur les résultats relatifs à l'aération proprement dite. L'état du parc de logements français métropolitains est décrit du point de vue des systèmes de ventilation, puis complété par des analyses plus spécifiques sur les débits extraits aux bouches d'extraction d'air vicié, le renouvellement d'air calculé, la fréquence d'ouverture des ouvrants selon les déclarations des occupants.

Ce travail sera complété ultérieurement sur d'autres aspects pour prendre notamment en compte les interactions avec la pollution intérieure.

Le rôle de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des logements n'est pas traité dans la présente étude ; les données disponibles sur ce sujet étant trop sommaires pour en faire une analyse pertinente.

2. METHODOLOGIE

Le travail a été réalisé sur la base des données collectées dans le cadre de la campagne nationale Logements. Cette dernière a permis de faire un état de la qualité de l'air intérieur représentatif de la situation des 24 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale. 567 logements ont été enquêtés se répartissant en 224 logements collectifs et 343 logements individuels, soit 4691 pièces et 1612 individus enquêtés. Ces logements se répartissent géographiquement dans 74 communes, 50 départements et 19 régions administratives.

Les polluants mesurés ont été choisis en fonction de leur impact sur la qualité de l'air ou sur le confort, de leur dangerosité et de leur fréquence d'apparition : monoxyde de carbone, composés organiques volatils, particules, radon, allergènes de chiens, de chats, d'acariens, rayonnement gamma, dioxyde de carbone, température, humidité relative, débit d'air... Pour la plupart, ce sont des paramètres différents de ceux retenus habituellement pour caractériser la qualité de l'air extérieur car ils sont le reflet de la présence de multiples sources potentielles de pollution intérieure : matériaux, équipements, mobilier, produits ménagers, activité humaine, environnement extérieur, etc. Par ailleurs des éléments relatifs à la ventilation ont été renseignés.

L'état descriptif des conditions de ventilation dans les logements français a été réalisé sur les données validées de la campagne nationale Logements. Les données manquantes ont été complétées statistiquement dans le cadre d'un travail spécifique présenté dans l'ANNEXE 5 [13].

Le travail a été effectué à partir des mesures et variables relatives à l'aération. Des informations annexes mais néanmoins importantes ont également été étudiées de façon univariée et croisées avec les variables de ventilation comme par exemple le type de logement seul (individuel/collectif), puis le type de logement croisé avec le système de ventilation. La terminologie et le descriptif des différents systèmes de ventilation considérés dans la campagne nationale Logements sont présentés en ANNEXE 1.

Des variables complémentaires ont par ailleurs été élaborées pour compléter l'exploitation des données : des variables agrégées à partir de mesures en continu (CO₂, température, humidité relative), des variables numériques calculées à partir de mesures (e.g. humidité absolue, indicateurs de renouvellement d'air), des variables qualitatives créées à partir d'autres variables qualitatives (e.g. nombre de pièces principales, nombre de pièces de service, détails de système de ventilation à partir des pièces décrites).

Au total, environ 200 variables brutes et agrégées ont été utilisées pour réaliser le présent travail.

Les méthodes classiques de statistiques exploratoires sont utilisées ici. Des outils de statistiques inférentielles (e.g. analyse de variance) sont également utilisés dans quelques cas.

Le glossaire en ANNEXE 6 explique quelques terminologies statistiques utilisées dans le document.

Enfin, les données ont été étudiées au regard des dispositions réglementaires dont un rappel des principaux textes est présenté en ANNEXE 2.

3. STATISTIQUES GENERALES SUR LE PARC DE LOGEMENTS

L'âge des logements, basé sur leur période de fin de construction, est présenté pour les logements collectifs, individuels et tous confondus dans le Tableau 1. **La classe de fin de construction la plus fréquente (classe modale) est la classe [1871 ; 1915[avec 14.3 % des logements construits pendant cette période.** La médiane extrapolée linéairement est 1967 pour tous les logements confondus.

| Période de fin de construction | Logement Collectif | Logement Individuel | Tout logement |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|
| Avant 1871 | 4.1 | 6.8 | 5.6 |
| De 1871 à 1914 | 9.7 | 17.8 | 14.3 |
| De 1915 à 1948 | 15.3 | 11.7 | 13.3 |
| De 1949 à 1961 | 15.1 | 7.7 | 10.9 |
| De 1962 à 1967 | 11.3 | 3.8 | 7.1 |
| De 1968 à 1974 | 19.3 | 9.6 | 13.8 |
| De 1975 à 1981 | 9.1 | 14.5 | 12.2 |
| De 1982 à 1989 | 7.2 | 12.9 | 10.4 |
| De 1990 à 2003 | 8.9 | 15.1 | 12.4 |
| Somme en colonne | 100 | 100 | 100 |

Tableau 1 : Proportion de logements présentés par période de fin de construction (en % par colonne).

Un paramètre important, entrant notamment dans le cadre de la réglementation sur l'aération des logements, est le nombre de pièces principales du logement. Les "pièces principales" sont définies selon des critères de ventilation, c'est à dire par opposition aux "pièces de service" (Cf. ANNEXE 3). **Le nombre de pièces principales le plus fréquent est de 4 sur l'ensemble des logements** (Figure 3-1). Il s'avère que les logements individuels ont une tendance à être plus grands en termes de nombre de pièces principales : 38.6 % des logements individuels ont 4 pièces principales suivis par 27.4 % qui en ont 5 ; alors que pour les logements collectifs 34 % ont 3 pièces principales puis 26.2 % d'entre eux en ont 2 (Figure 3-2).

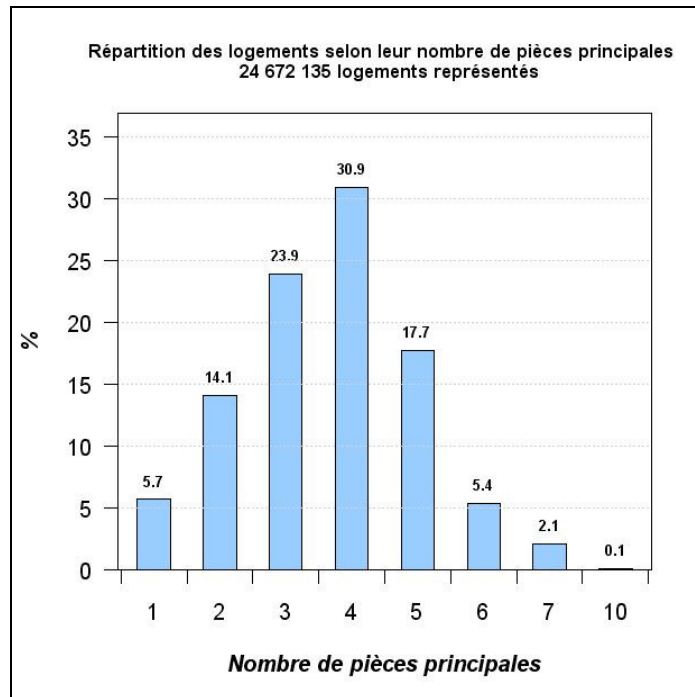


Figure 3-1 : Fréquence des logements par nombre de pièces principales définies pour la ventilation.

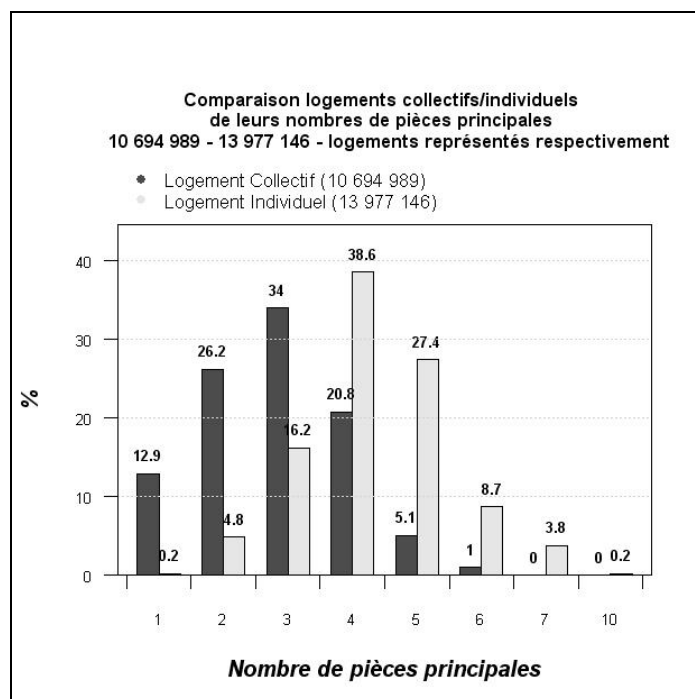


Figure 3-2 : Fréquence des logements par nombre de pièces principales et selon le type de logement.

La **surface du logement en fonction du nombre de pièces principales** a été étudiée en indiquant la surface médiane selon le nombre de pièces. **On peut voir que la surface médiane pour des 4 pièces est de 70 m² pour les logements collectifs alors qu'elle est de 110 m² pour les logements individuels** (Tableau 2).

| Nombre de pièces principales | Nombre de logements collectifs observés dont la surface est renseignée | Surface médiane (m ²) | Intervalle interquartile (Q3-Q1) | Min-Max observé | Nombre de pièces principales | Nombre de logements individuels observés dont la surface est renseignée | Surface médiane (m ²) | Intervalle interquartile (Q3-Q1) | Min-Max observé |
|------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | 25 | 27 | 38 - 18 | 7 - 50 | 1 | 1 | 90 | - | - |
| 2 | 55 | 50 | 65 - 42 | 30 - 140 | 2 | 18 | 70 | 100 - 54 | 30 - 700 |
| 3 | 82 | 70 | 85 - 65 | 42 - 120 | 3 | 54 | 95 | 110 - 80 | 35 - 230 |
| 4 | 44 | 87 | 95 - 78 | 63 - 175 | 4 | 121 | 110 | 130 - 90 | 50 - 270 |
| 5 | 12 | 100 | 150 - 86 | 78 - 150 | 5 | 97 | 140 | 180 - 120 | 65 - 420 |
| 6 | 3 | 150 | 180 - 135 | 135 - 180 | 6 | 32 | 160 | 200 - 140 | 96 - 320 |
| | | | | | 7 | 14 | 240 | 280 - 206 | 135 - 600 |
| | | | | | 10 | 1 | 460 | - | - |

Tableau 2 : Surface médiane (en m²) représentée selon le nombre de pièces principales pour les logements collectifs et individuels.

La taille des logements (en nombre de pièces principales) et le nombre de personnes habitant les logements peuvent être intéressants dans la mesure où la sur-occupation peut générer des problèmes de confinement et d'humidité. On peut voir (Tableau 3) que 2.9 % des logements de 2 pièces sont occupés par plus de 4 personnes ; que 7 % des logements à une pièce sont occupés par 3 personnes. Les couleurs bleu, noir et rouge indiquent respectivement les situations de sous-occupations, d'occupation normale et de sur-occupation. Les situations de sur et sous occupation sont définies à dire d'experts à partir des données d'enquête nationale [14] et de travaux européens [15].

| | Nb de personnes → | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | somme en ligne |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|-------|------|-----|------|-----|----------------|
| Nb de pièces principales | | | | | | | | | | |
| 1 | | 63.8 | 29.2 | 7.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100 |
| 2 | | 51.7 | 38.5 | 7.0 | 1.0 | 1.3 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 100 |
| 3 | | 18.4 | 42.2 | 27.5 | 10.2 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100 |
| 4 | | 12.2 | 30.9 | 15.4 | 32.6 | 6.5 | 2.2 | 0.2 | 0.0 | 100 |
| 5 | | 4.1 | 32.4 | 11.6 | 19.8 | 29.7 | 0.9 | 1.4 | 0.0 | 100 |
| 6 | | 0.0 | 14.6 | 13.7 | 32.2 | 28.8 | 9.0 | 0.0 | 1.7 | 100 |
| 7 | | 0.0 | 19.7 | 10.5 | 11.6 | 39.8 | 6.3 | 12.1 | 0.0 | 100 |
| 10 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100 |

Tableau 3 : Pourcentages de logements ayant un nombre de pièces principales donné occupés par N personnes. Les couleurs bleu, noir et rouge indiquent à dire d'experts les situations de sous-occupation, d'occupation normale et de sur-occupation respectivement.

4. TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE VENTILATION

4.1 DESCRIPTION

Les différents systèmes de ventilation présents dans les logements français sont tout d'abord présentés selon les modalités de réponse à la question relative du questionnaire (Figure 4-1). Dans un second temps une description plus détaillée a été réalisée en partitionnant les systèmes VMC et ventilation naturelle (Figure 4-2).

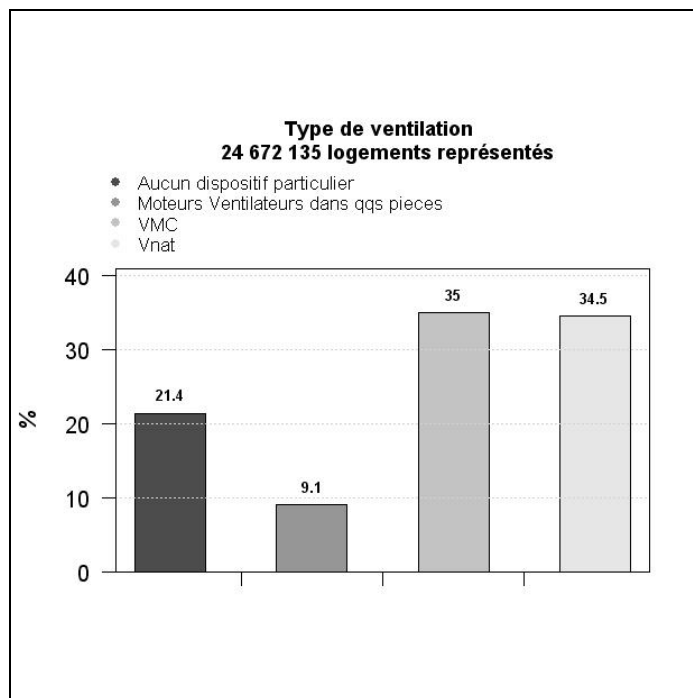


Figure 4-1 : Part des différents systèmes de ventilation dans les logements français.

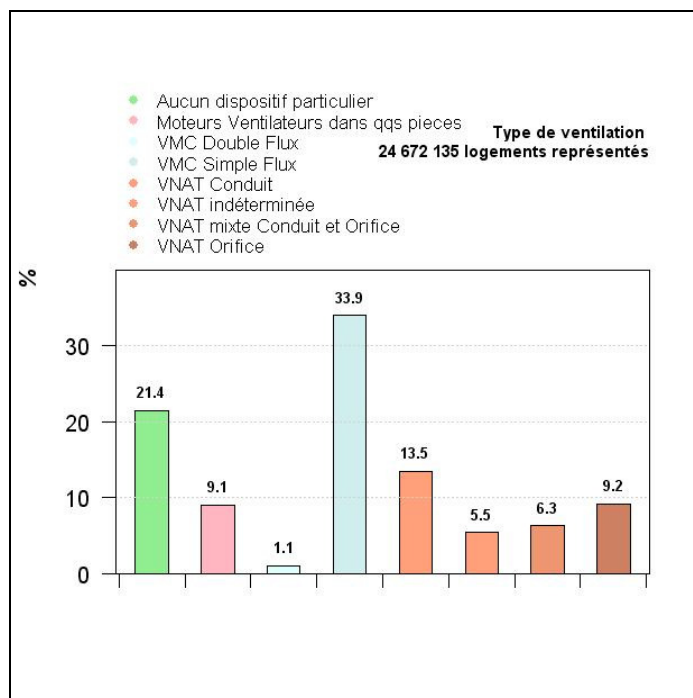


Figure 4-2 : Détails des systèmes VMC et ventilation naturelle dans la description des différents systèmes.

Les différents systèmes de ventilation présentés sur la Figure 4-1 sont basés sur la question suivante :

« Votre logement est aéré au moyen de : »

- Une ventilation mécanique générale (extraction forcée)
- Des moteurs de ventilateurs placés dans quelques pièces
- Des conduits ou des grilles d'aération (ventilation naturelle)
- Aucun dispositif particulier

On notera donc que la typologie présentée ici repose sur les questions posées lors de l'enquête nationale qui n'avait pas pour objectif principal la ventilation des logements. Le détail des informations sur les situations de VMC hygro-réglable ou de ventilation hygro-statique n'est pas disponible.

Les résultats montrent que **la ventilation mécanique contrôlée et la ventilation naturelle ont une part pratiquement égale et représentent à elles deux près de 70% des systèmes présents dans les logements.**

Les détails notamment de la ventilation naturelle sur la Figure 4-2 montrent les situations très variées qui existent en termes de ventilation. Sur ce point il faut noter qu'un système de ventilation est très difficile à déterminer en soi et donc difficile à déterminer par les techniciens enquêteurs lors de la campagne nationale Logements. « VNAT Conduit » indique la part des logements aérés au moyen d'une ventilation naturelle et qui ont dans les pièces concernées des conduits individuels ou collectifs d'extraction. « VNAT orifice » indique la part des logements aérés au moyen d'une ventilation naturelle et qui ont dans les pièces concernées des orifices en façade uniquement. « Vnat mixte » indique la part des logements ayant des pièces avec orifice et des pièces avec conduit. « Vnat indéterminée » est relative aux logements en ventilation naturelle pour lesquels on ne dispose pas d'informations suffisantes en leurs pièces sur les bouches d'amenées d'air et bouches d'extraction.

La part des différents systèmes selon le type de logement a été ensuite étudiée : **le système le plus fréquent pour les logements collectifs est la ventilation naturelle avec 41.2% ; pour les logements individuels c'est la VMC avec 35.7%** (Cf. Figure 4-3).

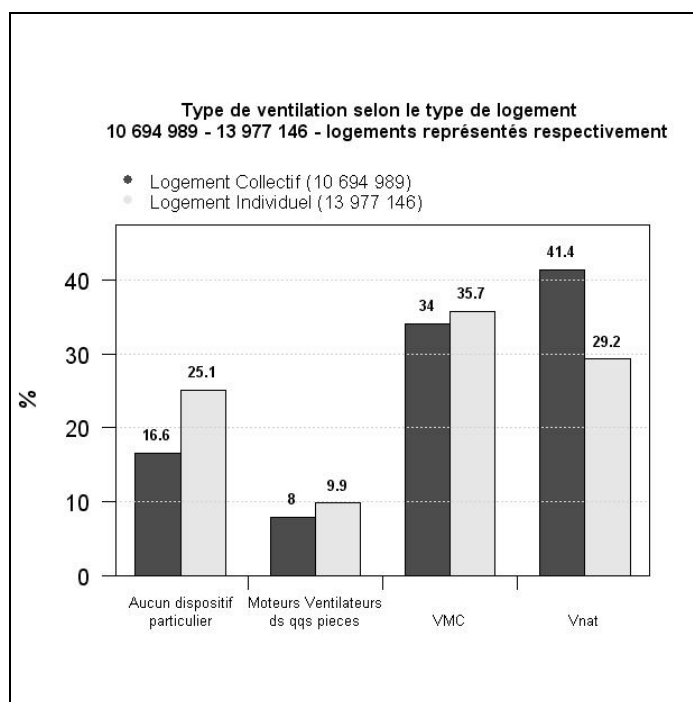


Figure 4-3 : Description des systèmes de ventilation selon le type de logements.

4.2 PERIODE DE FIN DE CONSTRUCTION

Les systèmes de ventilation ont ensuite été croisés avec l'âge de fin de construction des logements. Ceci permet de voir la proportion de logements qui, pour un type de système donné, ont été construits dans une tranche d'âge (Tableau 4). De même cela permet de montrer la proportion de logements qui, pour une tranche d'âges donnée, ont un système de ventilation particulier (Tableau 5).

Les systèmes de ventilation existant dans le parc de logement sont fondamentalement liés aux réglementations depuis 1958. Toutefois il convient de ne pas perdre de vue que ces réglementations ne couvrent que l'habitat neuf et **qu'une partie du parc a été réhabilité et ceci fait que des systèmes de ventilation sont présents dans des tranches d'âge pour lesquelles ces systèmes n'étaient pas encore en place.**

On voit que selon les classes d'âges recensées par la variable relative de la campagne nationale Logements, **30,5 % des logements ayant de la VMC ont été finis de construire après 1990 ; 21,9 % des logements ayant un système de ventilation naturelle ont été construits entre 1968 et 1974 ; et 52,6 % des logements n'ayant aucun dispositif de ventilation ont été construits entre 1871 et 1948.**

Il est intéressant de voir que, **parmi les logements construits après 1990, près de 12 % (9.3 % individuel + 2.5 % collectif) d'entre eux ne disposent d'aucun système de ventilation ou sont ventilés par ventilation partielle (moteurs de ventilateurs dans quelques pièces)**, et ne sont pas règlementaires. Ce constat peut aussi être fait sur les classes 1975-1981 et 1982 – 1989 : près de 18 % des logements construits dans ces deux périodes sont dans la même situation ne respectant pas⁵ le principe de la ventilation générale et permanente (~15.8 % individuel + ~2.2 % collectif).

| Fin de construction | Aucun dispositif | Moteurs de Ventilateurs | VMC | Vnat |
|-------------------------|------------------|-------------------------|------|------|
| Avant 1871 | 9.9 | 14.7 | 1.3 | 4.9 |
| De 1871 à 1914 | 25.8 | 16 | 6 | 15.2 |
| De 1915 à 1948 | 26.8 | 21.4 | 4.9 | 11.3 |
| De 1949 à 1961 | 12.1 | 12.3 | 4.8 | 16 |
| De 1962 à 1967 | 4.5 | 3.2 | 4.9 | 11.9 |
| De 1968 à 1974 | 4.5 | 10.1 | 12.5 | 21.9 |
| De 1975 à 1981 | 6.1 | 9.5 | 18.2 | 10.5 |
| De 1982 à 1989 | 5.4 | 8 | 17 | 7.5 |
| De 1990 à 2003 | 4.8 | 4.9 | 30.5 | 0.9 |
| Somme en colonne | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tableau 4 : Distribution représentée des logements pour chaque type de ventilation en fonction des classes d'âges de fin de construction. En pourcentage par colonne.

| Fin de construction | Aucun dispositif | Moteurs de Ventilateurs | VMC | Vnat | Somme en ligne |
|---------------------|------------------|-------------------------|------|------|----------------|
| Avant 1871 | 37.9 | 23.7 | 8.3 | 30.2 | 100 |
| De 1871 à 1914 | 38.7 | 10.1 | 14.6 | 36.6 | 100 |
| De 1915 à 1948 | 43.2 | 14.6 | 12.9 | 29.2 | 100 |
| De 1949 à 1961 | 23.9 | 10.2 | 15.3 | 50.7 | 100 |
| De 1962 à 1967 | 13.6 | 4.1 | 24.2 | 58.1 | 100 |
| De 1968 à 1974 | 7 | 6.6 | 31.7 | 54.7 | 100 |
| De 1975 à 1981 | 10.8 | 7 | 52.4 | 29.8 | 100 |
| De 1982 à 1989 | 11.2 | 6.9 | 57 | 24.9 | 100 |
| De 1990 à 2003 | 8.3 | 3.5 | 85.8 | 2.4 | 100 |

Tableau 5 : Parts représentées des logements pour chaque classe de fin de construction en fonction des types de ventilation. En pourcentage par lignes.

⁵ 17.8% pour la tranche 1975-1981 et 17.5% pour la tranche 1982-1989. Ces 17.8% et ces 17.5% ne respectent pas les cas particuliers respectifs des arrêtés de 1969 et de 1982 (articles 6).

| Fin de construction | Aucun dispositif | Moteurs de Ventilateurs | VMC | Vnat |
|---------------------|------------------|-------------------------|------|------|
| Avant 1871 | 2.1 | 1.3 | 0.5 | 1.7 |
| De 1871 à 1914 | 5.5 | 1.5 | 2.1 | 5.2 |
| De 1915 à 1948 | 5.7 | 1.9 | 1.7 | 3.9 |
| De 1949 à 1961 | 2.6 | 1.1 | 1.7 | 5.5 |
| De 1962 à 1967 | 1 | 0.3 | 1.7 | 4.1 |
| De 1968 à 1974 | 1 | 0.9 | 4.4 | 7.6 |
| De 1975 à 1981 | 1.3 | 0.9 | 6.4 | 3.6 |
| De 1982 à 1989 | 1.2 | 0.7 | 5.9 | 2.6 |
| De 1990 à 2003 | 1 | 0.4 | 10.7 | 0.3 |

Tableau 6 : Répartition représentée des logements selon les classes formées à la fois par la période de fin de construction et le type de ventilation. En pourcentage des logements totaux.

Le Tableau 6 indique la proportion de logements parmi les 24 millions de résidences principales ayant une double caractéristique « Période de fin de construction / Type de ventilation ». Ce tableau permet notamment de relever que **les logements construits après 1990 et ayant de la VMC sont les logements les plus présents dans le parc national (selon les classes disponibles par la variable relative)**. On peut noter également que **5,5 % du parc national de logements sont des logements construits après 1974 et ne comprenant ni une VMC ni un système de ventilation naturelle**.

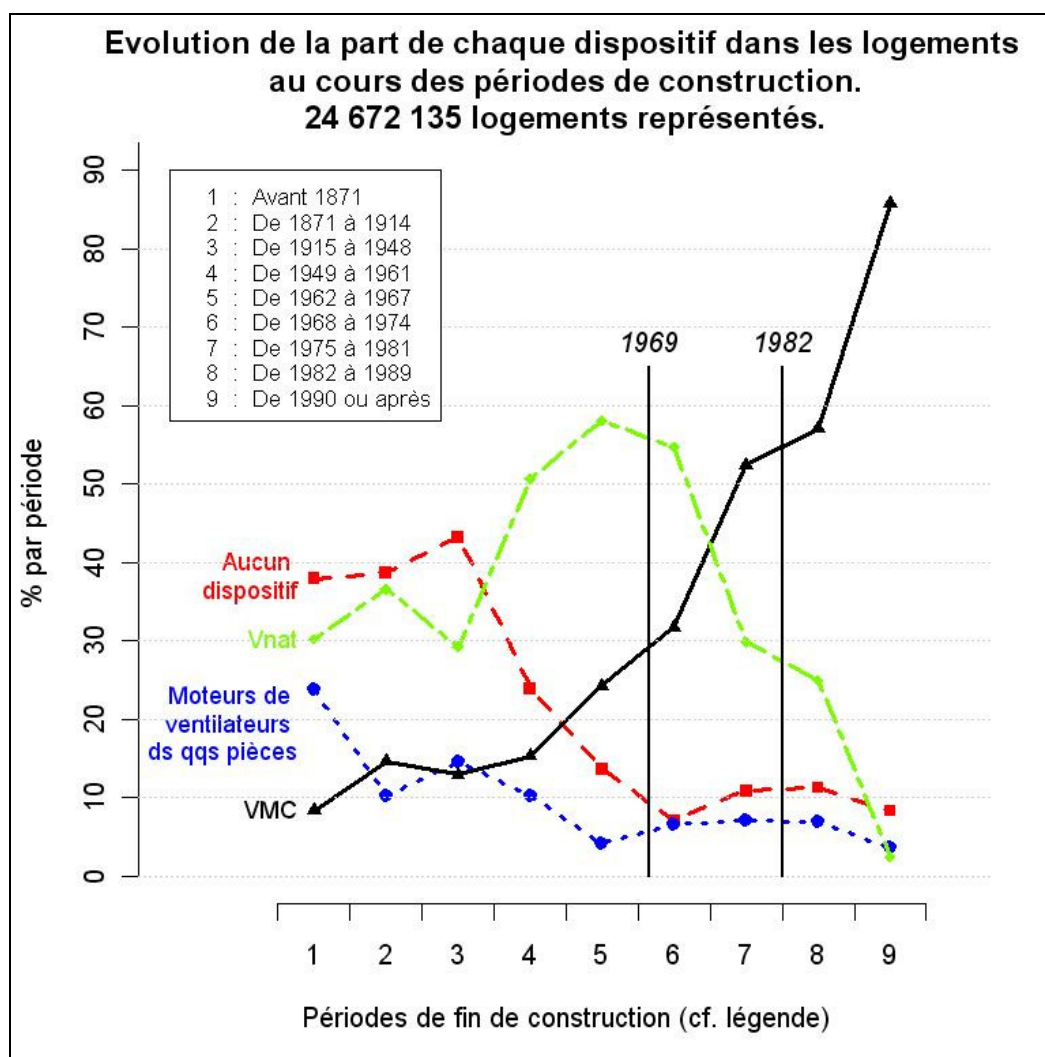


Figure 4-4 : Chiffres du Tableau 5 représentés par courbes. La somme des pourcentages de chaque période est égale à 100 %. La réhabilitation explique la présence de certains systèmes dans des classes d'âges anciens.

4.3 SYNTHÈSE

Le constat suivant peut être fait concernant la description des systèmes de ventilation présents dans le parc de logements français :

- La moitié du parc de logements a été construite avant 1967, donc avant les réglementations sur l'aération des logements instaurant le principe de la ventilation générale et permanente.
- La ventilation mécanique contrôlée et la ventilation naturelle équipent près de 70 % des logements à elles deux.
- La ventilation naturelle équipe des logements anciens et/ou réhabilités contrairement à la VMC. Depuis 1990, la ventilation naturelle a quasiment disparu des constructions neuves de logements.
- Les logements collectifs sont équipés en majeure partie par de la ventilation naturelle, alors que la VMC équipe les logements individuels en plus grande partie.
- Les logements construits après 1990 et équipés de VMC constituent la classe la plus fréquente dans le parc selon les classes d'âges de fin de construction données par la variable relative.
- Parmi les logements construits après 1990, près de 12 % d'entre eux ne disposent d'aucun système de ventilation ou sont ventilés par ventilation partielle (moteurs de ventilateurs dans quelques pièces) et ne sont donc pas réglementaires. Parmi les logements construits dans les périodes 1975-1981 et 1982 – 1989, 18 % d'entre eux (~15.8% individuel + 2.2 % collectif) ne respectent pas le principe de la ventilation générale et permanente.
5,5 % du parc concernent des logements construits après 1974, sans dispositif de ventilation ou munis de moteurs de ventilateurs (ventilation partielle), qui ne sont donc pas conformes aux réglementations de 1969 et 1982 qui préconisent l'obligation de système spécifique de ventilation (naturelle par conduits ou mécanique).

5. DEBITS D'AIR AUX BOUCHES D'EXTRACTION

Les résultats concernant les mesures de débit d'air aux bouches d'extraction de VMC ainsi que les débits mesurés aux grilles d'extraction par conduit à tirage naturel sont présentés ici.

5.1 MESURES

Les débits d'air extraits ont été mesurés aux bouches d'extraction de ventilation mécanique contrôlée et aux bouches d'extraction de ventilation naturelle par conduit dans les pièces de service. Ils ont été mesurés par un cône de débit portatif avec une grille à fils chauds (Figure 5-1). Dans un premier temps les débits relatifs à la VMC ont été étudiés. Les débits d'air extraits en ventilation naturelle sont liés aux conditions météorologiques extérieures au moment de la mesure ; il est donc difficile d'exploiter ces données de façon pertinente. Quelques résultats en ventilation naturelle sont néanmoins présentés dans la suite.

Nous étudions tout d'abord les distributions des débits puis les distributions des débits mesurés divisés par le débit à respecter ; respect que l'on définira ci-après. On se concentrera sur l'étude de ces dernières distributions.

Deux types de débits sont ici présentés : les débits par pièce et les débits totaux. En cuisine, 3 débits sont étudiés : le débit minimal (débit réduit), le débit maximal (débit de pointe) et le débit moyen au sens précisé ci-après. En salle de bain un débit est étudié, si une salle de bain possède un débit réduit et un débit de pointe mesurés, le débit retenu est le débit de pointe, sinon le débit réduit est retenu. Il en est de même pour les WC.

En effet, le débit de pointe en salle de bain et en WC est retenu dans la mesure du possible pour aller dans le sens du « débit extrait pouvant atteindre une certaine valeur » de l'article 3 de l'arrêté du 24 mars 1982. Si un seul débit a été mesuré en ces pièces, le débit pouvant atteindre cette valeur est uniquement le débit réduit.

Les débits moyens sont des débits calculés par la règle des sixièmes ou des douzièmes (règles Th-G 77 et 91) [6] [10] selon la période de fin de construction des logements, ils s'expriment par :

$$Q_{moy} = \begin{cases} a \times Q_{Max} + (1 - a) \times Q_{min} & \text{si 2 débits} \\ Q_{min} & \text{si un seul débit} \end{cases},$$

avec $a = 1/6$ ou $1/12$.

La valeur $a = 1/6$ est associée aux logements dont la fin de construction se situent entre 1968 et 1989. La valeur $a = 1/12$ est associée aux autres logements (Cf. ANNEXE 4).

Deux débits totaux sont étudiés : le débit total minimal et de débit total moyen. Le débit total minimal d'un logement est la somme des débits minimaux de chaque pièce. Le débit total moyen d'un logement est la somme des débits moyens de chaque pièce au sens précisé ci-avant. Un débit total ne peut être calculé que si toutes les pièces où une mesure de débit extrait devait être faite l'a été. Ainsi si une pièce a un débit non mesuré ou un débit mesuré mais non valide, le débit total minimal ou moyen du logement ne peut être calculé.



Figure 5-1 : SWEMAFLOW 233, débitmètre portatif utilisé par les techniciens enquêteurs pour mesurer les débits d'air aux bouches d'extraction.

Il est à noter que la représentativité des mesures est celle des logements et non des pièces. Il n'est à ce titre pas possible d'établir une distribution des débits d'air extraits dans une pièce particulière à l'échelle nationale.

5.2 DEBITS AUX BOUCHES VMC

5.2.1 Débit par pièce

Les distributions des débits observés en cuisine sont présentées dans les Figure 5-2, Figure 5-3 et Figure 5-4. Les Figure 5-5 et Figure 5-6 présentent les distributions des débits extraits observés en salle de bain et en WC respectivement.

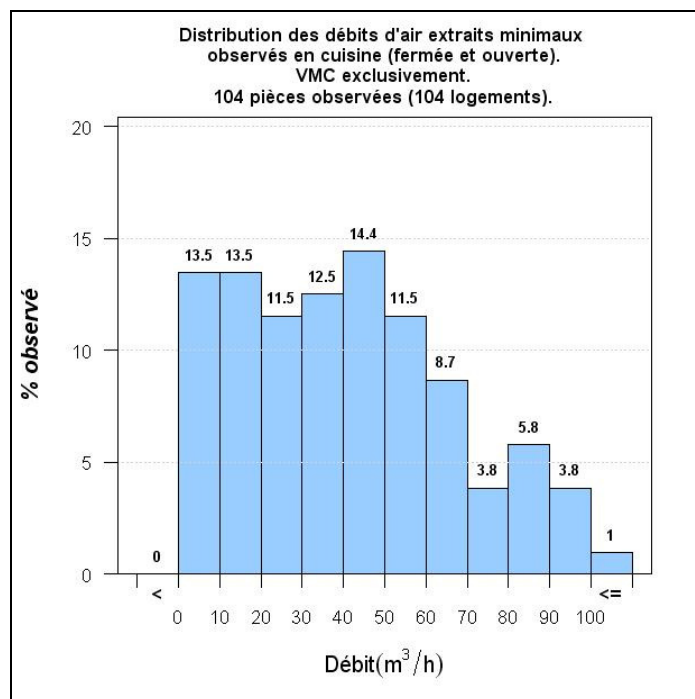


Figure 5-2 : Débits réduits d'air extraits observés en cuisine.

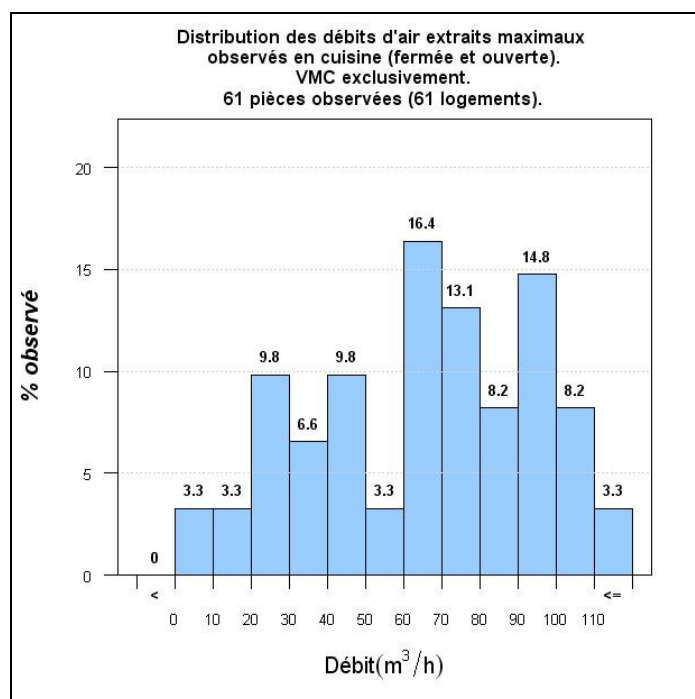


Figure 5-3 : Débits de pointe d'air extraits observés en cuisine.

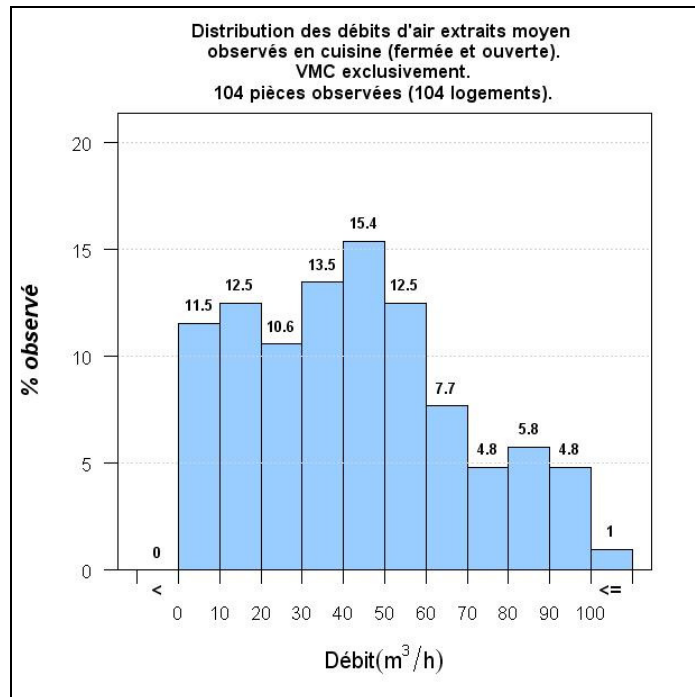


Figure 5-4 : Débits d'air extraits moyens observés en cuisine.

Pour la cuisine, les classes modales sont respectivement pour les débits réduits, les débits de pointe et les débits moyens en cuisine sont 40-50 m³/h, 60-70 m³/h et 40-50 m³/h.

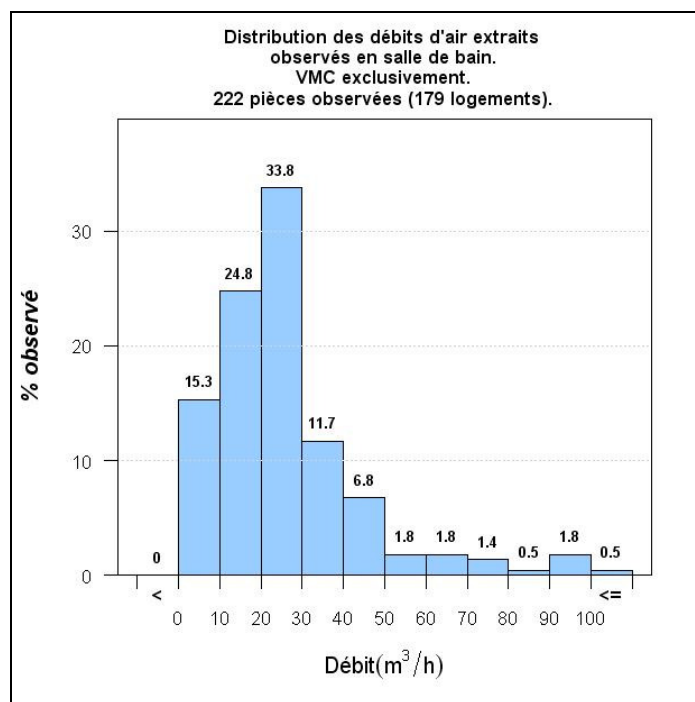


Figure 5-5 : Débits d'air extraits observés en salle de bain.

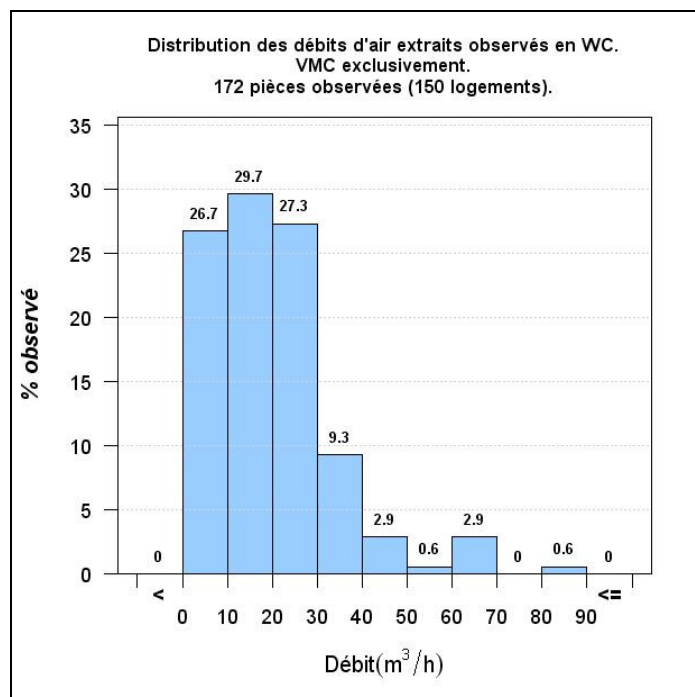


Figure 5-6 : Débits d'air extraits observés en WC.

Les classes modales des débits en salle de bain et en WC sont 20-30 m³/h et 10-20 m³/h respectivement.

Il est nécessaire de compléter l'étude des valeurs de ces distributions par leur considération avec l'année de fin de construction du logement et du nombre de pièces principales. On présente ainsi au paragraphe suivant les valeurs à l'échelle du logement et on ramène ces valeurs à des valeurs de référence notamment les valeurs réglementaires de l'arrêté de mars 1982.

5.2.2 Ratios « débit mesuré / débit de référence »

Les ratios « débit mesuré / débit de référence » ont été ici étudiés.

Le calcul de ces ratios prend en compte :

- la réglementation ou, dans le cas où la réglementation fait défaut, des valeurs de référence choisies conventionnellement associées aux débits des pièces étudiées ou au débit total,
- l'année de fin de construction du logement,
- le nombre de pièces principales
- le facteur a (Cf. 5.1 et ANNEXE 4).

L'ANNEXE 4 présente les modalités de calculs et les valeurs réglementaires (ANNEXE 2) ou de référence considérées. Une présentation numérique ou graphique de ratios permet de synthétiser toutes ces informations à considérer dans l'étude de débit de pièce ou de débit total.

Les informations présentées dans la suite du document ont pour objet d'évaluer les situations observées au regard d'une référence objective qui n'est pas systématiquement réglementaire. Ainsi dans le cas des logements construits après 1982, les ratios comparent des situations existantes à l'arrêté du 24 mars 1982 exprimant des débits extraits à respecter en m³/h. Aucune réglementation spécifique portant sur des débits de ventilation n'étant disponible pour les logements construits antérieurement, les résultats concernant ces logements sont à considérer à titre d'information exclusivement.

La terminologie « réglementaire » a été utilisée exclusivement pour les logements construits à partir de 1982 qui peuvent se référer à l'arrêté du 24 mars 1982. Les terminologies « de référence » ou « référence » sont utilisées pour les logements construits avant 1982 (comparaison aux valeurs de débits conventionnellement choisies) ainsi que pour l'ensemble des situations (logements construits avant et après 1982).

Les distributions graphiques présentent les ratios par classes d'amplitude 0.3 prenant en compte l'incertitude moyenne de l'appareil. La classe 0.85-1.15 est donc centrée en 1 et un débit ne respecte alors pas la valeur de référence s'il est strictement inférieur à 0.85.

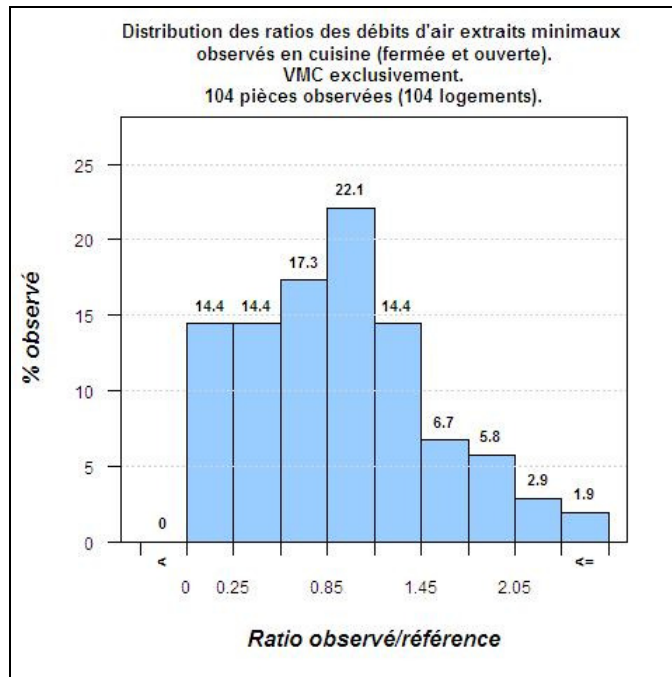


Figure 5-7 : Ratios des débits réduits mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement.

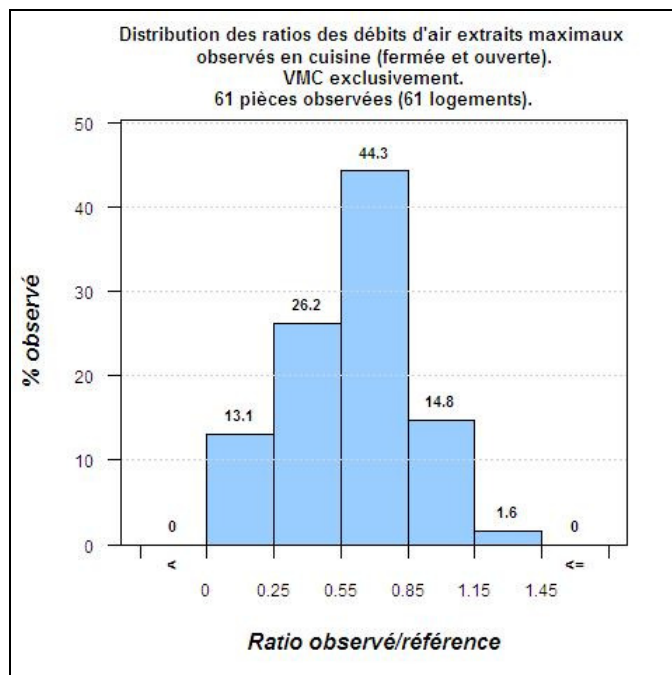


Figure 5-8 : Ratios des débits de pointe mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement.

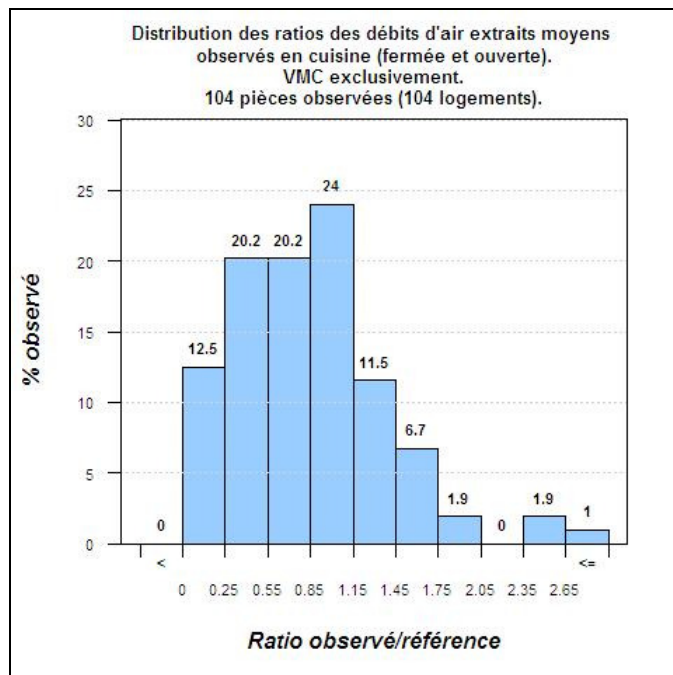


Figure 5-9 : Ratios des débits moyens mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement.

Compte tenu de l'incertitude de mesure de l'appareil, on peut considérer que les ratios au dessus de 0.85 sont relatifs à des débits au moins égaux à la référence. Ainsi 53.8 % des débits réduits mesurés en cuisine sont supérieurs aux valeurs de référence (Figure 5-7), encore 46.2 % des débits réduits mesurés en cuisine ne respectent pas la référence tandis que les débits de pointe en cuisine ne sont respectés que pour 16.4 % des débits mesurés et les débits moyens sont respectés pour 47 % des mesures.

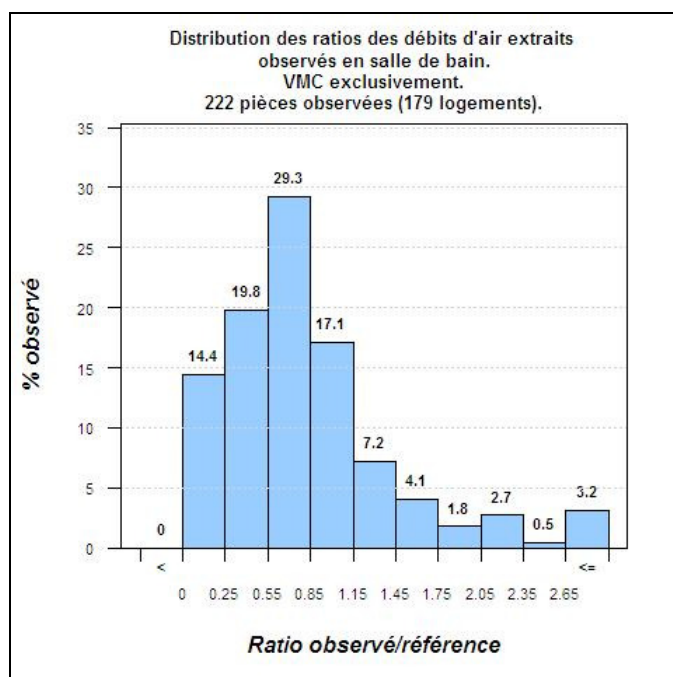


Figure 5-10 : Ratios des débits mesurés en salle de bain par le débit de référence associé à chaque logement.

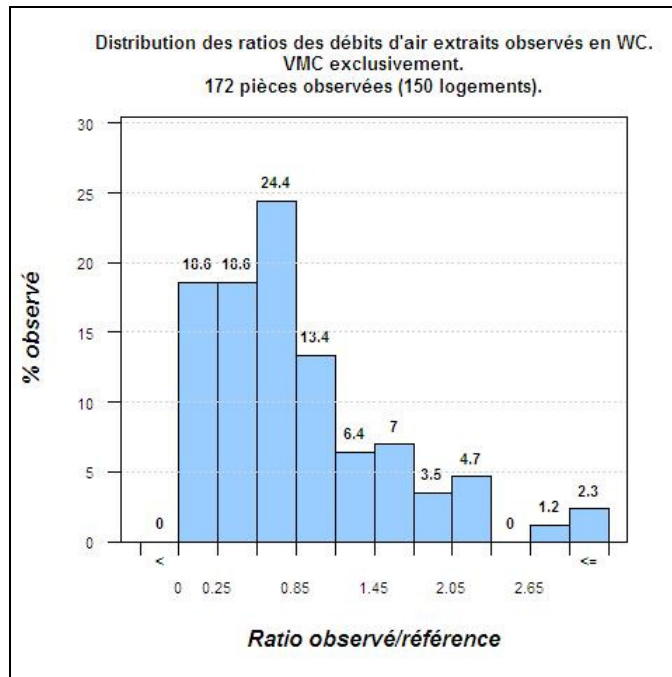


Figure 5-11 : Ratios des débits mesurés en WC par le débit de référence associé à chaque logement.

36,5 % des débits mesurés en salle de bain peuvent atteindre les seuils de référence. 38,4 % des débits mesurés en WC respectent la valeur de référence.

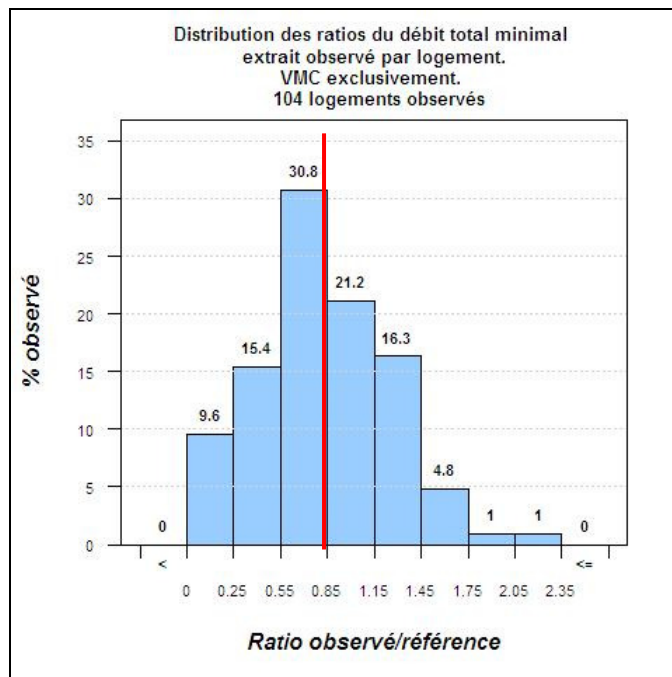


Figure 5-12 : Ratios observés du débit total minimal du logement par le débit total minimal de référence associé à chaque logement.

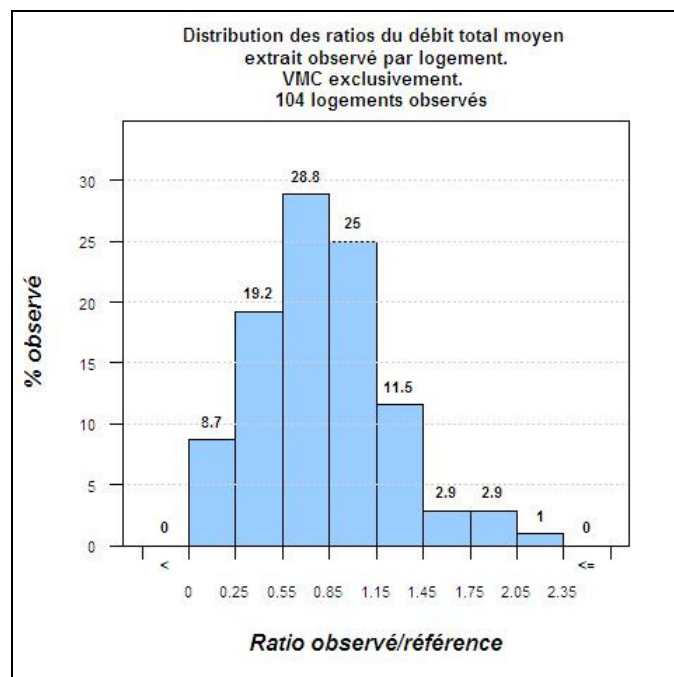


Figure 5-13 : Ratios du débit total moyen du logement par le débit total moyen de référence associé à chaque logement.

Les Figure 5-12 et Figure 5-13 montrent les distributions des ratios des débits totaux. Le Tableau 7 est constituées des distributions numériques observées et reproduite sur les Figure 5-7 à Figure 5-13. Le Tableau 8 indique les distributions des ratios de débit total pondérées ; la pondération tend à rendre les ratios plus faibles. On peut remarquer que seul le ratio des débits minimaux en cuisine a sa médiane dans la première classe 0.85-1.15 relative à des débits supérieurs à la référence. Ce qui signifie, mis à part pour ce ratio, que **plus de 50% des ratios observés indiquent des débits strictement inférieurs à la valeur de référence**. Cette remarque est donc valable pour les débits totaux des logements : 55.8 % des débits en « total minimal » sont strictement inférieurs à la référence et 56.7% pour les débits en « total moyen ».

| TYPE | Effectif observé | Moyenne | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|-------------------------------|------------------|---------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Cuisine - Ratio débit minimal | 104 | 0.93 | 0.64 | 0 | 0.18 | 0.43 | 0.89 | 1.24 | 1.8 | 1.96 | 3.2 |
| Cuisine - Ratio débit moyen | 104 | 0.83 | 0.55 | 0 | 0.16 | 0.41 | 0.81 | 1.08 | 1.51 | 1.74 | 2.77 |
| Cuisine - Ratio débit maximal | 61 | 0.57 | 0.26 | 0 | 0.23 | 0.37 | 0.61 | 0.73 | 0.88 | 0.93 | 1.18 |
| Salle de bain - Ratio débit | 222 | 0.83 | 0.67 | 0 | 0 | 0.4 | 0.77 | 1.03 | 1.53 | 2.27 | 3.43 |
| WC - Ratio débit | 172 | 0.87 | 0.76 | 0 | 0 | 0.37 | 0.73 | 1.16 | 1.87 | 2.17 | 4.2 |
| TOTAL - Ratio débit minimal | 104 | 0.81 | 0.44 | 0 | 0.26 | 0.52 | 0.76 | 1.09 | 1.37 | 1.48 | 2.24 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 104 | 0.79 | 0.44 | 0 | 0.28 | 0.51 | 0.76 | 1.06 | 1.29 | 1.49 | 2.31 |

Tableau 7 : Distributions observées des différents ratios calculés.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| TOTAL - Ratio débit minimal | 104 | 0.77 | 0.48 | 0 | 0.09 | 0.47 | 0.72 | 1.11 | 1.36 | 1.48 | 2.24 | 4 209 564 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 104 | 0.76 | 0.49 | 0 | 0.08 | 0.44 | 0.69 | 1.05 | 1.29 | 1.52 | 2.31 | 4 209 564 |

Tableau 8 : Distributions représentées des ratios calculés de débit total.

Le tableau ci-dessous résume la part des débits observés strictement inférieurs à la valeur de référence.

| Cuisine Débit minimal | Cuisine Débit maximal | Cuisine Débit moyen | Salle de Bain | WC | Débit total minimal | Débit total moyen |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------|-------|---------------------|-------------------|
| 46.1% | 83.6% | 52.9% | 63.5% | 61.6% | 55.8% | 56.7% |

Tableau 9 : Pourcentage de débits observés ne respectant pas les valeurs de référence par type de débits mesurés. Toutes périodes de fin de construction confondues.

5.2.2.1 Logements collectifs / Logements individuels

On s'intéresse aux débits totaux issus des VMC des logements collectifs et des logements individuels séparément, pour toutes les périodes de fin de construction confondues. **Ce paragraphe ne doit ainsi être considéré qu'à titre informatif (Cf. ANNEXE 4).** Les Figure 5-14 et Figure 5-15 présentent les ratios du débit total minimal et du débit total moyen respectivement selon le type de logement. On peut remarquer que les distributions respectives des ratios semblent approcher une loi Normale pour les 2 types de logement.

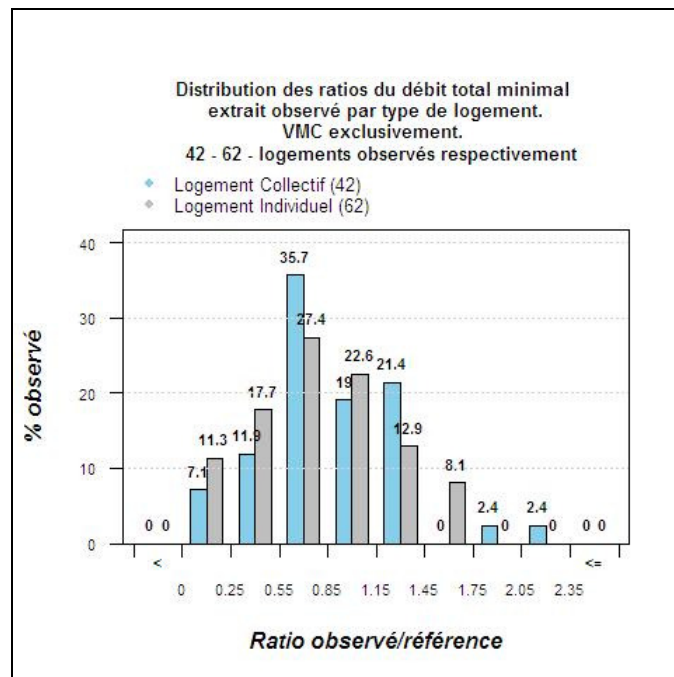


Figure 5-14 : Ratios observés du débit total minimal par le débit total minimal de référence par type de logement.

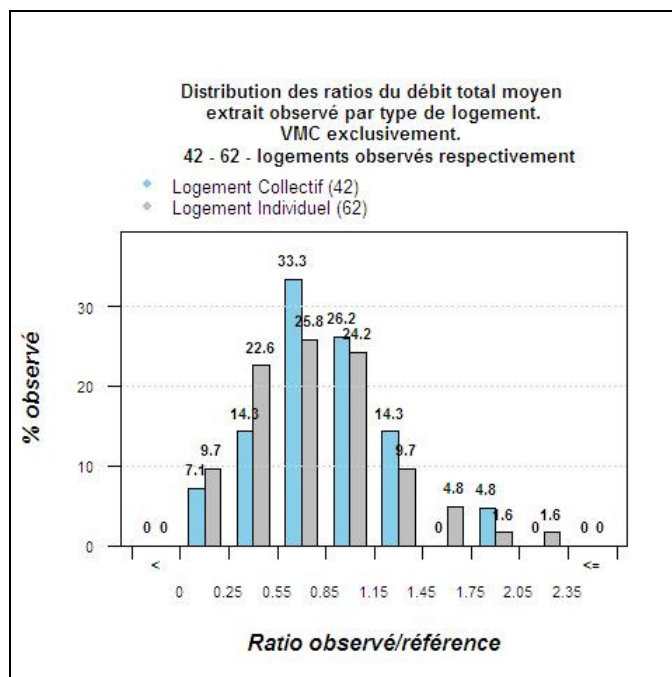


Figure 5-15 : Ratios observés du débit total moyen par le débit total moyen de référence par type de logement.

Les distributions numériques correspondant aux Figure 5-14 et Figure 5-15 sont montrées dans le Tableau 10.

| Type logement | TYPE | Effectif observé | Moyenne | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|---------------------|-----------------------------|------------------|---------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Logement Collectif | TOTAL - Ratio débit minimal | 42 | 0.86 | 0.46 | 0 | 0.28 | 0.63 | 0.8 | 1.19 | 1.34 | 1.37 | 2.24 |
| Logement Individuel | TOTAL - Ratio débit minimal | 62 | 0.78 | 0.43 | 0 | 0.18 | 0.45 | 0.74 | 1.08 | 1.4 | 1.48 | 1.73 |
| Logement Collectif | TOTAL - Ratio débit moyen | 42 | 0.8 | 0.41 | 0 | 0.28 | 0.57 | 0.74 | 1.1 | 1.22 | 1.29 | 1.99 |
| Logement Individuel | TOTAL - Ratio débit moyen | 62 | 0.79 | 0.46 | 0 | 0.29 | 0.46 | 0.77 | 1.05 | 1.38 | 1.49 | 2.31 |

Tableau 10 : Ratios des débits observés « total minimal par logement » et « total moyen par logement » par type de logement.

| Type logement | TYPE | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|---------------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| Logement Collectif | TOTAL - Ratio débit minimal | 42 | 0.8 | 0.47 | 0 | 0.1 | 0.48 | 0.78 | 1.04 | 1.33 | 1.36 | 2.24 | 2013025 |
| Logement Individuel | TOTAL - Ratio débit minimal | 62 | 0.75 | 0.48 | 0 | 0.08 | 0.38 | 0.68 | 1.11 | 1.47 | 1.55 | 1.73 | 2196538 |
| Logement Collectif | TOTAL - Ratio débit moyen | 42 | 0.74 | 0.42 | 0 | 0.09 | 0.5 | 0.7 | 0.98 | 1.2 | 1.29 | 1.99 | 2013025 |
| Logement Individuel | TOTAL - Ratio débit moyen | 62 | 0.77 | 0.54 | 0 | 0.07 | 0.38 | 0.67 | 1.07 | 1.49 | 1.92 | 2.31 | 2196538 |

Tableau 11 : Ratios des débits représentés « total minimal par logement » et « total moyen par logement » par type de logement.

Les médianes et les moyennes des logements individuels et collectifs sont proches pour les 2 types de ratio « débit total minimal » et « débit total moyen », que ce soit sur l'échantillon observé (Tableau 10) ou représenté (Tableau 11).

On peut considérer alors la proportion de ratios de débit total observé strictement inférieurs à 0.85 i.e. les ratios relatifs à des débits strictement inférieurs à la référence pour les logements collectifs et de même pour les logements individuels. On peut faire appel aux statistiques inférentielles et utiliser un test du χ^2 (khi 2) de comparaison d'échantillons [3] pour savoir si, pour les ratios de débit total minimal et moyen, le pourcentage de débits en logement individuel strictement inférieurs à la référence (respectivement supérieurs) est

significativement différent ou non du pourcentage de débits en logement collectif strictement inférieurs à la référence (respectivement supérieurs).

Pour le débit total observé minimal, 54.7 % des débits sont strictement inférieurs à la valeur de référence en logement collectif et 56.4 % en logement individuel. Pour le débit total observé moyen, 54.7 % des débits sont strictement inférieurs à la valeur de référence en logement collectif et 58.1% en logement individuel. Il s'agit donc pour le premier test (ratio débit total observé minimal) de savoir si le pourcentage $p_1 = 54.7\%$ est significativement différent du pourcentage $p_2 = 56.4\%$ (au seuil $\alpha = 5\%$, $H_0 : p_1 = p_2 = p$, $H_1 : p_1 \neq p_2$). De manière analogue pour le second test (ratio débit total observé moyen).

La distance du χ^2 calculée pour le premier test vaut 0.03, pour le second test elle vaut 0.11. Ces 2 valeurs sont à rapprocher de la valeur 3.84 qui est la valeur critique du χ^2 avec un degré de liberté pour $\alpha = 0.05$. On conclut pour les 2 tests au non rejet de l'hypothèse nulle H_0 . En d'autres termes le débit total minimal observé par logement respecte la valeur de référence (ou non respecté) dans le même ordre de proportion dans les logements collectifs et dans les logements individuels. Le constat est le même pour le débit total moyen par logement.

5.2.2.2 Périodes de fin de construction et réglementation

On s'intéresse ici au débit total minimal et au débit total moyen par logement des logements construits après 1982 dans un premier temps, puis des logements construits entre 1969 et 1982, et enfin avant 1969, relativement à ces 2 années de mise en place du principe de ventilation générale et permanente. Il faut signaler que l'expression « logements construits entre 1969 et 1982 » n'est pas rigoureuse et est, et sera un abus de langage. En effet la première classe de fin de construction, relative à ces logements, dont on dispose est en réalité [1968, 1974 [; il s'agit donc des logements construits à partir de 1968 et avant 1974. N'ayant aucun moyen permettant de différencier les logements construits entre 1968 et 1969 des autres logements de cette classe, on fait l'hypothèse que ces logements n'interviendront que très peu dans les résultats.

On rappelle de nouveau que le respect de la réglementation ne peut être fait officiellement que pour les logements construits après 1982, année à laquelle l'arrêté du 24 mars apparaît et donne des valeurs de débits extraits à respecter exprimés en m^3/h . De ce fait les comparaisons des débits des logements construits pendant les deux autres périodes, à savoir entre 1969 et 1989, et avant 1969, faites à partir de débits « pseudo-réglementaires » ne sont qu'indicatives.

Les débits de référence utilisés pour les logements construits entre 1969 et 1989 sont les débits issus des exemples solutions de 1971 du CSTB [9]. Pour les logements réhabilités en VMC datant d'avant 1969, le choix délibéré a été fait de comparer leurs débits aux valeurs de la réglementation de mars 1982 (Cf. ANNEXE 4 pour les détails).

De plus, il est important de noter que les dispositifs individuels de réglage pouvant permettre de réduire les débits (e.g. les dispositifs hygro-réglables), réglementés notamment par l'article 4 de l'arrêté de mars 1982 et modifié en octobre 1983, n'étant pas identifiable dans la campagne nationale Logements, les résultats suivant tendent alors à surestimer la part des débits non conformes.

5.2.2.2.1 A partir de 1982

Les Figure 5-16, Figure 5-17 et le Tableau 12 présentent les résultats. Le Tableau 12 contient de plus les résultats relatifs aux pièces non représentés graphiquement. Le Tableau 13 indique les résultats en débit total utilisant la pondération.

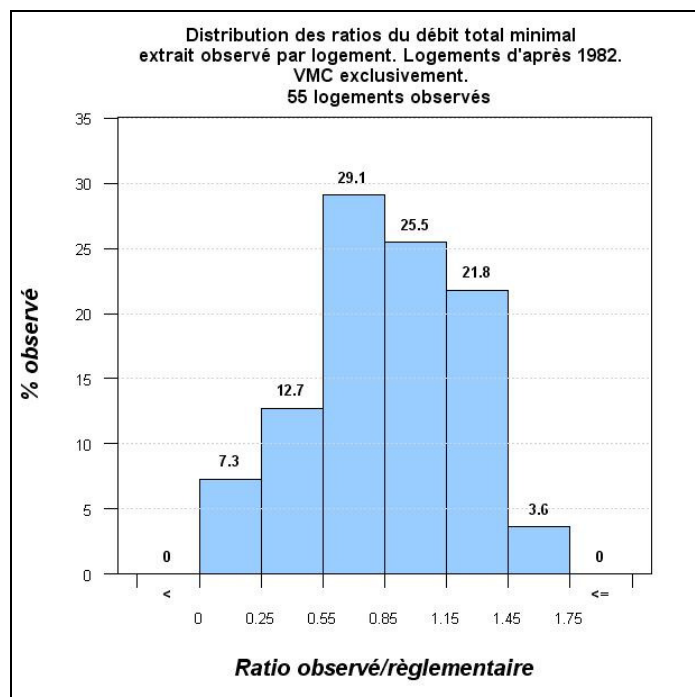


Figure 5-16 : Ratios observés du débit total minimal par le débit total minimal réglementaire en vigueur pour les logements construits à partir de 1982.

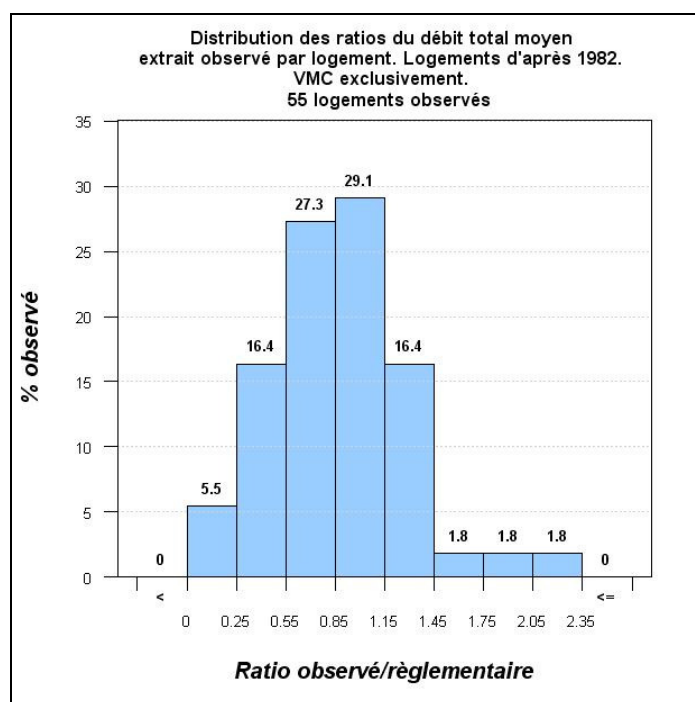


Figure 5-17 : Ratios observés du débit total moyen par le débit total moyen réglementaire en vigueur pour les logements construits à partir de 1982.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|-------------------------------|------------------|---------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cuisine - Ratio débit minimal | 55 | 0.85 | 0.56 | 0 | 0.18 | 0.4 | 0.84 | 1.22 | 1.56 | 1.89 | 2.29 |
| Cuisine - Ratio débit moyen | 55 | 0.79 | 0.53 | 0 | 0.17 | 0.38 | 0.76 | 1.06 | 1.44 | 1.74 | 2.56 |
| Cuisine - Ratio débit maximal | 33 | 0.53 | 0.26 | 0 | 0.22 | 0.32 | 0.54 | 0.73 | 0.88 | 0.89 | 1 |
| Salle de bain - Ratio débit | 116 | 0.89 | 0.64 | 0 | 0.3 | 0.57 | 0.8 | 1.05 | 1.53 | 2.27 | 3.3 |
| WC - Ratio débit | 96 | 0.9 | 0.73 | 0 | 0 | 0.47 | 0.76 | 1.23 | 1.93 | 2.2 | 4 |
| TOTAL - Ratio débit minimal | 55 | 0.85 | 0.39 | 0.09 | 0.3 | 0.6 | 0.87 | 1.18 | 1.37 | 1.43 | 1.73 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 55 | 0.85 | 0.43 | 0.08 | 0.29 | 0.57 | 0.86 | 1.14 | 1.29 | 1.52 | 2.31 |

Tableau 12 : Distributions observées des différents types de ratios.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| TOTAL - Ratio débit minimal | 55 | 0.85 | 0.42 | 0.09 | 0.3 | 0.56 | 0.83 | 1.22 | 1.4 | 1.47 | 1.73 | 1 998 584 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 55 | 0.86 | 0.5 | 0.08 | 0.27 | 0.54 | 0.82 | 1.16 | 1.52 | 1.92 | 2.31 | 1 998 584 |

Tableau 13 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement.

Le sous-échantillon contient 55 logements. On observe que 49.1% des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total minimal et 49.2 % pour le débit moyen observé (Figure 5-16 et Figure 5-17). La différence entre les médianes des ratios observées et pondérées n'est que de 0.04 et 0.05 respectivement.

De façon annexe on peut remarquer que les médianes des ratios des débits relatifs aux salles de bain et WC subissent une augmentation substantielle chacune puisqu'elles passent de 0.47 à 0.8 et de 0.46 à 0.76 respectivement entre les 2 périodes de construction.

Rappelons de nouveau que parmi ces logements certains d'entre eux sont munis de bouches hygroréglables mais les données de la campagne nationale Logements ne permettent pas de quantifier cette proportion. On peut donc relativiser une part des débits non règlementaires de ces logements.

5.2.2.2 Entre 1969 et 1982

Les Figure 5-18, Figure 5-19 et le Tableau 14 présentent les résultats. Le Tableau 14 contient de plus les résultats relatifs aux pièces non représentés graphiquement. Le Tableau 15 indique les résultats en débit total utilisant la pondération. Noter que le sous échantillon d'étude est faible en taille. Les débits choisis comme valeurs de référence sont les débits issus des exemples solutions de 1971 du CSTB [9] (Cf. ANNEXE 4) ; les résultats ici ne sont donc donnés qu'à titre d'information.

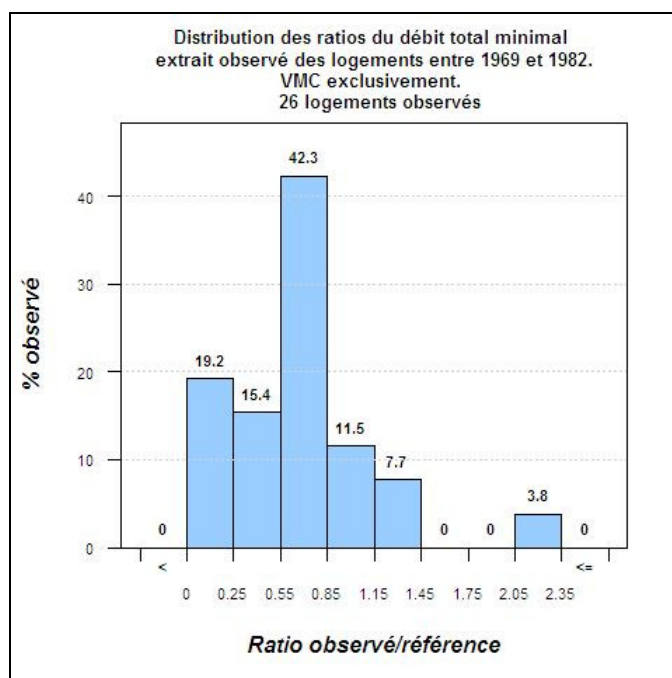


Figure 5-18 : Ratios observés du débit total minimal par le débit de référence pour les logements construits entre 1969 et 1982.

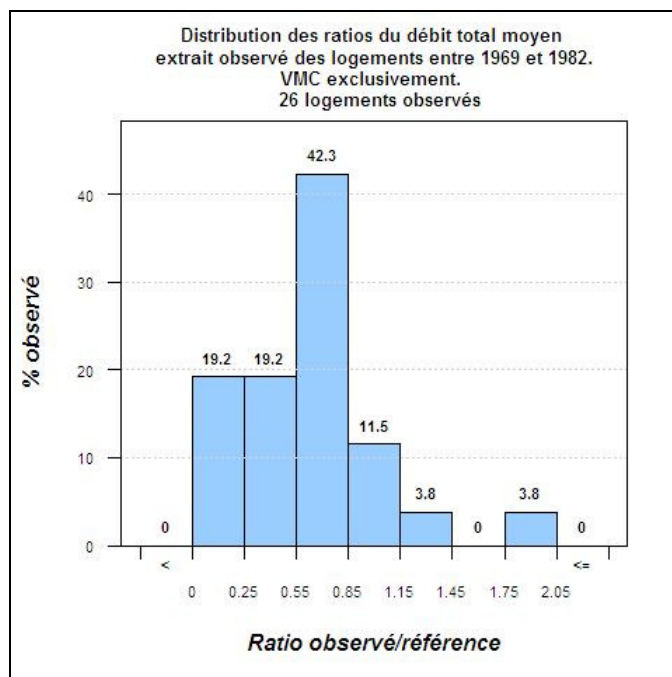


Figure 5-19 : Ratios observés du débit total moyen par le débit de référence pour les logements construits entre 1969 et 1982.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|-------------------------------|------------------|---------|------------|-----|------|-------|------|------|------|------|------|
| Cuisine - Ratio débit minimal | 29 | 0.93 | 0.74 | 0 | 0 | 0.49 | 0.89 | 1.2 | 1.93 | 2.2 | 3.17 |
| Cuisine - Ratio débit moyen | 29 | 0.78 | 0.56 | 0 | 0 | 0.49 | 0.75 | 1 | 1.55 | 1.65 | 2.38 |
| Cuisine - Ratio débit maximal | 16 | 0.59 | 0.27 | 0 | 0.27 | 0.405 | 0.61 | 0.75 | 0.86 | 1.14 | 1.14 |
| Salle de bain - Ratio débit | 51 | 0.63 | 0.62 | 0 | 0 | 0.23 | 0.47 | 1 | 1.27 | 1.53 | 3.43 |
| WC - Ratio débit | 36 | 0.65 | 0.66 | 0 | 0 | 0.135 | 0.46 | 0.95 | 1.5 | 2.13 | 2.7 |
| TOTAL - Ratio débit minimal | 26 | 0.66 | 0.49 | 0 | 0 | 0.32 | 0.68 | 0.82 | 1.23 | 1.34 | 2.24 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 26 | 0.62 | 0.43 | 0 | 0.07 | 0.32 | 0.64 | 0.8 | 1.1 | 1.2 | 1.99 |

Tableau 14 : Distributions observées des différents types de ratios.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| TOTAL - Ratio débit minimal | 26 | 0.63 | 0.52 | 0 | 0 | 0.1 | 0.68 | 0.82 | 1.34 | 1.34 | 2.24 | 1 336 879 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 26 | 0.59 | 0.46 | 0 | 0.07 | 0.09 | 0.63 | 0.8 | 1.2 | 1.2 | 1.99 | 1 336 879 |

Tableau 15 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement.

Il faut noter tout d'abord que l'on dispose de peu de logements (26) dans le sous-échantillon mais que le concept même de débit total nécessite de réaliser la mesure d'un débit à chaque bouche, ce qui *in situ* est techniquement parfois délicat et conduit comme ici à un sous échantillon faible.

On observe que 76.9 % des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total minimal observé et 80.7 % des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total moyen observé (Figure 5-18 et Figure 5-19). La pondération ne change que très peu les distributions numériques. Du fait qu'aucune réglementation exprimant des débits en m³/h n'existait pour les logements construits entre 1969 et 1982, les résultats ici ne sont qu'informatifs.

Le Tableau 14 qui contient de façon annexe les débits relatifs à la salle de bain et aux WC, indique des résultats pour ces débits de qualité analogue que pour le débit total : les médianes respectives des ratios sont de 0.47 et 0.46, leur percentile d'ordre 75 % est égal à 1 et 0.95 respectivement. Pour les débits en cuisines les médianes et percentiles d'ordre 75 % sont de même grandeur que ceux du Tableau 7.

Les pourcentages $p_1 = 76.9$ et $q_1 = 80.7$ sont à rapprocher des valeurs des logements construits après 1982, soient $p_2 = 49.1$ et $q_2 = 49.2$. De prime abord, ces proportions indiquent une amélioration substantielles des

débits totaux observés entre les logements de 1969-1982 et ceux d'après 1982 i.e. des ratios plus de proches de 1.

Si on fait de nouveau appel aux statistiques de tests de manière analogue de ce qui a été fait à la fin du paragraphe 5.2.2.1 pour comparer les pourcentages p_1 et p_2 , et pour comparer les pourcentages q_1 et q_2 , on obtient des distances du χ^2 égales à 5.6 et 7.3 respectivement à comparer à la valeur 3.84 qui est la valeur critique du χ^2 à un degré de liberté pour $\alpha = 0.05$.

On conclut au rejet, pour les deux tests, de l'hypothèse nulle d'égalité des proportions. En d'autres termes on conclut à une amélioration significative des débits totaux observés entre les deux périodes de construction au regard de la réglementation en vigueur pour les logements construits après 1982 et au regard des débits choisis comme valeurs de référence pour les logements construits entre 1969 et 1982.

5.2.2.2.3 Logements VMC réhabilités (avant 1969)

On considère ici le troisième groupe de logements munis de VMC : les logements achevés avant 1969. Le choix a été de comparer leurs débits aux valeurs de conformité de l'arrêté de 1982 (ANNEXE 4).

Rappelons l'abus de langage en l'expression « avant 1969 » : les classes d'âges dont on dispose permettent d'étudier les logements construits avant 1968 en réalité.

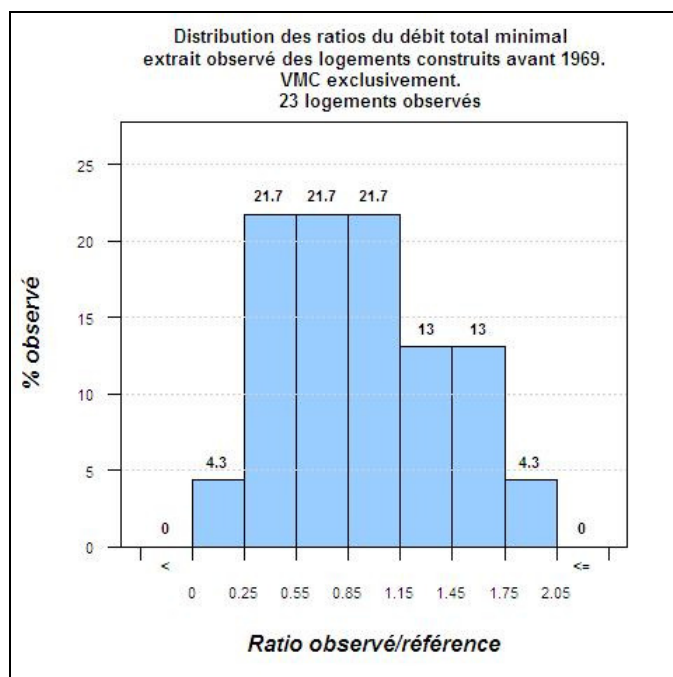


Figure 5-20 : Ratios observés du débit total minimal par le débit de référence concernant les logements construits avant 1969.

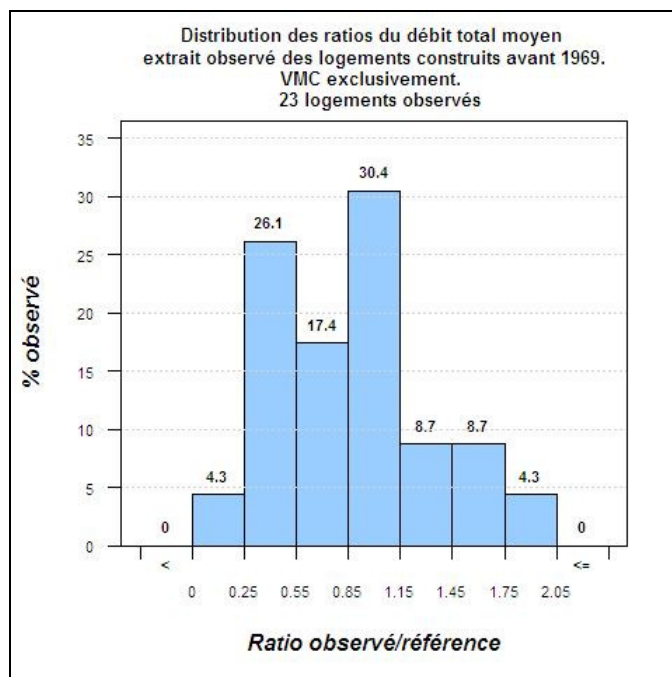


Figure 5-21 : Ratios observés du débit total moyen par le débit de référence concernant les logements construits avant 1969.

Ici la pondération a un impact fort sur les valeurs des moyennes et des médianes des ratios en débit total.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|-------------------------------|------------------|---------|------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Cuisine - Ratio débit minimal | 20 | 1.13 | 0.69 | 0 | 0.4 | 0.71 | 1.07 | 1.38 | 1.835 | 2.65 | 3.2 |
| Cuisine - Ratio débit moyen | 20 | 1.01 | 0.59 | 0 | 0.35 | 0.71 | 0.95 | 1.24 | 1.625 | 2.32 | 2.77 |
| Cuisine - Ratio débit maximal | 12 | 0.66 | 0.27 | 0.21 | 0.23 | 0.6 | 0.63 | 0.81 | 0.93 | 1.18 | 1.18 |
| Salle de bain - Ratio débit | 55 | 0.89 | 0.75 | 0 | 0 | 0.4 | 0.77 | 1.13 | 1.83 | 2.37 | 3.3 |
| WC - Ratio débit | 40 | 0.97 | 0.89 | 0 | 0 | 0.37 | 0.73 | 1.36 | 1.9 | 2.66 | 4.2 |
| TOTAL - Ratio débit minimal | 23 | 0.9 | 0.47 | 0 | 0.38 | 0.5 | 0.91 | 1.22 | 1.55 | 1.57 | 1.92 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 23 | 0.85 | 0.44 | 0 | 0.36 | 0.5 | 0.85 | 1.14 | 1.47 | 1.49 | 1.78 |

Tableau 16 : Distributions observées des différents types de ratios.

| TYPE | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| TOTAL - Ratio débit minimal | 23 | 0.8 | 0.46 | 0 | 0.32 | 0.47 | 0.68 | 1.19 | 1.48 | 1.55 | 1.92 | 874 100 |
| TOTAL - Ratio débit moyen | 23 | 0.77 | 0.43 | 0 | 0.3 | 0.44 | 0.75 | 1.11 | 1.38 | 1.47 | 1.78 | 874 100 |

Tableau 17 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement.

47.7 % (respectivement 47.8 %) des ratios du débit total minimal (respectivement moyen) correspondent à des débits observés strictement inférieurs à la valeur de référence. Ces pourcentages sont à comparer aux valeurs analogues pour les logements construits entre 1969 et 1982 et ceux construits à partir de 1982. On remarque que ces pourcentages sont proches de ceux des logements construits après 1982. Si on fait un test comparatif comme précédemment entre ces 2 périodes on obtient des distances du χ^2 égales à 0.01 toutes deux. On conclut que les logements réhabilités et les logements construits à partir de 1982 respectent (ou ne respectent pas) dans le même ordre de proportion les débits de l'arrêté de mars 1982. En revanche on conclut à une différence significative au seuil $\alpha = 0.05$ des proportions de débits strictement inférieurs à la référence entre les débits totaux (minimal et moyen) mesurés dans les logements réhabilités en VMC et les logements achevés entre 1969 et 1982, ces derniers ayant des débits respectant mieux la valeur de référence.

5.3 VENTILATION NATURELLE

Sont présentées ici les données de débits d'air extrait aux bouches d'extraction d'air vicié à conduit individuel ou collectif. Les pièces des logements aérées par ventilation naturelle à grilles hautes et basses n'ont pas de mesure de débit d'air extrait. Il est difficile d'exploiter ces données de façon approfondie et de donner des résultats sensés et fiables. Nous présentons donc ici une simple « photographie » des situations mesurées au moment de la campagne d'enquêtes et les informations données ici ne sont qu'indicatives puisque des mesures ponctuelles de débits ne sont pas représentatives du fonctionnement des systèmes de ventilation naturelle et ce qui demanderait plusieurs mesures pour différentes conditions météorologiques ce qui n'était pas l'objet de la campagne nationale Logements.

Le Tableau 18 présente les données de ventilation naturelle. Il fournit les débits mesurés dans 49 logements en cuisine, en salle de bain, en WC et le débit total minimal, somme des débits mesurés dans les pièces de service. « NPP » est le nombre de pièces principales (Cf. ANNEXE 3), « NB étages » le nombre d'étage du bâtiment, « N° étage », le numéro de l'étage du logement, « TeMin », « TeMax » et « TeMoy » sont respectivement les températures minimale, maximale et moyenne extérieure du premier jour d'enquête de chaque logement (température extérieure de la station météo la plus proche du lieu d'enquête), jour où en théorie les techniciens enquêteurs réalisaient les mesures de débits d'air extraits.

| Id | Cuisine | Salle d'eau | WC | Débit total minimal | Type logement | NPP | Nb étages | N° étage | TeMin | TeMax | TeMoy |
|----|---------|-------------|----|---------------------|---------------------|-----|-----------|----------|-------|-------|-------|
| 1 | | 0 | 0 | 0 | Logement Individuel | 4 | NA | 0 | -2.1 | 0.5 | -1.5 |
| 2 | 0 | | | 0 | Logement Collectif | 1 | 2 | 1 | -1.6 | 6.7 | 2.2 |
| 3 | 10 | | | 10 | Logement Collectif | 3 | 1 | 1 | 2.2 | 3.8 | 2.6 |
| 4 | 7 | | | 7 | Logement Individuel | 3 | 0 | 0 | 0.4 | 7.7 | 3.1 |
| 5 | | 0 | | 0 | Logement Individuel | 3 | NA | 1 | -2.1 | 10.3 | 3.3 |
| 6 | 28 | | | 28 | Logement Individuel | 2 | 2 | 1 | 2.6 | 6.1 | 4 |
| 7 | 0 | 0 | | 0 | Logement Individuel | 5 | 1 | 0 | 2 | 6.1 | 4.2 |
| 8 | 40 | 5 | | 50 | Logement Individuel | 5 | 1 | 0 | 2.2 | 9.7 | 4.3 |
| 9 | | 0 | 0 | 0 | Logement Individuel | 7 | 0 | 0 | 3.8 | 8.4 | 4.5 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | Logement Collectif | 3 | 4 | 1 | 3.6 | 7.2 | 5.7 |
| 11 | | 0 | 0 | 0 | Logement Collectif | 4 | 2 | 1 | 5.3 | 7.1 | 6 |
| 12 | 8 | NA | NA | NA | Logement Individuel | 5 | 1 | 0 | 1.4 | 12.4 | 6.1 |
| 13 | 0 | NA | NA | NA | Logement Collectif | 3 | 10 | 1 | 4.9 | 7.7 | 6.2 |
| 14 | 0 | | | 8 | Logement Individuel | 2 | 0 | 0 | 5.9 | 10.4 | 6.6 |
| 15 | 125 | NA | NA | NA | Logement Collectif | 2 | 3 | 0 | 4.1 | 9.1 | 7.2 |
| 16 | 0 | 0 | | 0 | Logement Collectif | 4 | 1 | 0 | 4.3 | 10.6 | 7.6 |
| 17 | 17 | | | 17 | Logement Collectif | 2 | NA | 1 | 2.7 | 12.1 | 7.7 |
| 18 | 12 | 0 | 0 | 20 | Logement Individuel | 6 | 1 | 0 | 4.7 | 11.7 | 8.2 |
| 19 | | NA | 0 | NA | Logement Collectif | 3 | 10 | 7 | 3.2 | 14 | 8.3 |
| 20 | | | 15 | 15 | Logement Collectif | 3 | NA | 2 | 5.8 | 13 | 8.3 |
| 21 | 9 | | | 9 | Logement Individuel | 4 | 1 | 0 | 7.3 | 9.7 | 8.8 |
| 22 | NA | 0 | 15 | NA | Logement Collectif | 3 | 1 | 1 | 4.7 | 13 | 9.3 |
| 23 | 8 | | | 8 | Logement Collectif | 3 | 3 | 3 | 5.9 | 14.3 | 9.4 |
| 24 | | 35 | 42 | 77 | Logement Collectif | 4 | 12 | 12 | 6.5 | 14.2 | 9.4 |
| 25 | | 0 | 0 | 0 | Logement Collectif | 2 | 0 | 0 | 7.9 | 13 | 9.4 |
| 26 | 20 | 12 | | 32 | Logement Collectif | 1 | 2 | 2 | 3.3 | 18 | 10.1 |
| 27 | 0 | 35 | 28 | 63 | Logement Collectif | 3 | 7 | 2 | 3.6 | 16.7 | 10.6 |
| 28 | 0 | | | 0 | Logement Individuel | 4 | 1 | 0 | 9.2 | 11.6 | 10.8 |
| 29 | NA | 0 | 9 | NA | Logement Collectif | 3 | 2 | 2 | 7.1 | 14.9 | 10.9 |
| 30 | NA | 9 | 14 | NA | Logement Individuel | 4 | 1 | 0 | 5.9 | 16.7 | 11 |
| 31 | | | 10 | 10 | Logement Individuel | 3 | 1 | 0 | 8.3 | 17.7 | 11.1 |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | Logement Individuel | 6 | 3 | 0 | 0.2 | 18.9 | 11.2 |
| 33 | 0 | 19 | | 19 | Logement Individuel | 5 | 1 | 0 | 9 | 13 | 11.5 |
| 34 | 0 | 37 | 8 | 45 | Logement Collectif | 4 | 16 | 6 | 7.4 | 16.2 | 11.8 |
| 35 | 18 | 15 | 24 | 57 | Logement Collectif | 2 | 9 | 3 | 9.2 | 15.7 | 12.1 |
| 36 | | 0 | NA | NA | Logement Individuel | 4 | 1 | 0 | 8.4 | 21.8 | 14.9 |

| Id | Cuisine | Salle d'eau | WC | Débit total minimal | Type logement | NPP | Nb étages | N° étage | TeMin | TeMax | TeMoy |
|----|---------|-------------|----|---------------------|---------------------|-----|-----------|----------|-------|-------|-------|
| 37 | 30 | | | 30 | Logement Collectif | 2 | 2 | 2 | 12.9 | 19.7 | 14.9 |
| 38 | 0 | 0 | | 0 | Logement Individuel | 3 | 0 | 0 | 13.4 | 17.9 | 15 |
| 39 | | 0 | | 0 | Logement Individuel | 5 | NA | 1 | 9.6 | 21.7 | 15.7 |
| 40 | | 0 | NA | NA | Logement Individuel | 5 | 1 | 0 | 15.1 | 17.8 | 15.8 |
| 41 | 27 | 15 | | 42 | Logement Collectif | 1 | 10 | 5 | 13.5 | 20.2 | 16 |
| 42 | 30 | NA | NA | NA | Logement Collectif | 3 | NA | 1 | 10.3 | 20.9 | 17 |
| 43 | 50 | | | 50 | Logement Collectif | 3 | 5 | 4 | 12.2 | 21.3 | 17.4 |
| 44 | 15 | 28 | NA | NA | Logement Collectif | 4 | 1 | 1 | 13.8 | 21.1 | 17.4 |
| 45 | | 0 | 25 | 25 | Logement Individuel | 4 | 1 | 0 | 17 | 21.5 | 18.5 |
| 46 | 33 | | | 33 | Logement Collectif | 3 | 4 | 3 | 16.3 | 23.8 | 18.6 |
| 47 | 8 | 9 | | 17 | Logement Collectif | 1 | 9 | 4 | 14.9 | 25.5 | 19.6 |
| 48 | | | 0 | 0 | Logement Individuel | 6 | 2 | 1 | 13.5 | 29.5 | 21.5 |
| 49 | | 0 | 0 | 0 | Logement Collectif | 3 | 3 | 2 | 16.8 | 28.3 | 22.4 |

Tableau 18 : Données de la campagne nationale Logements disponibles sur les débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduit. Les débits sont donnés en m³/h. Le tableau est trié par ordre croissant de température extérieure moyenne (TeMoy). NPP = Nombre de Pièces Principales. NA = Not Available (non disponible).

On constate que beaucoup de débits sont nuls (Cf. aussi le Tableau 19). Il y a de même un grand nombre de « NA » pour « Not Available » (non disponible), cela signifie que la mesure n'a pu être réalisée ou que le débit mesuré n'est pas valide. Les cases vides indiquent qu'il n'y avait pas lieu de faire une mesure parce qu'il n'y avait pas de bouche d'extraction dans la pièce ou parce qu'il n'y avait pas de bouches à conduit. Cela montre de nouveau la grande hétérogénéité des types de système de ventilation dans les logements : certaines pièces ont des conduits, d'autres ont des grilles ou rien du tout ; cela montre donc aussi la difficulté pour identifier ces systèmes et classer les logements.

| Statistique | Cuisine | Salle d'eau | WC | Débit total min |
|---------------------------|---------|-------------|------|-----------------|
| Nb. d'observations | 49 | 49 | 49 | 49 |
| Nb. de valeurs manquantes | 18 | 20 | 29 | 11 |
| Minimum | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Maximum | 125.0 | 37.0 | 42.0 | 77.0 |
| Effectif du minimum | 30 | 38 | 39 | 26 |
| Effectif du maximum | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Amplitude | 125.0 | 37.0 | 42.0 | 77.0 |
| 1er Quartile | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Médiane | 8.0 | 0.0 | 4.0 | 9.5 |
| 3ème Quartile | 23.5 | 12.0 | 15.0 | 29.5 |
| Moyenne | 16.0 | 7.6 | 9.5 | 17.7 |
| Écart-type (n-1) | 24.5 | 12.1 | 12.2 | 21.1 |

Tableau 19 : Statistiques descriptives résumant les valeurs de débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduit.

Les débits mesurés sont mis au regard de la température extérieure (cette dernière étant mesurée à la station météo la plus proche) puisque les débits sont en partie fonction de cette dernière. La visualisation des débits du Tableau 18 montre que, même en conditions hivernales, peu de débits respecteraient la valeur réglementaire (en prenant à titre indicatif les valeurs de l'arrêté de mars 1982 pour des *conditions climatiques moyennes d'hiver*). Certaines valeurs élevées de débits d'air mesurés aux bouches d'extraction ne peuvent s'expliquer par les conditions de température extérieure et sont probablement dues au mode de fonctionnement du système de ventilation : ventilation par conduits à tirage naturel avec assistance mécanique. Mais c'est une information dont on ne dispose pas. Relativement aux mesures de débits, cela sous-entend plusieurs problèmes :

- Est-ce que les débits mesurés ont des valeurs si faibles parce que les systèmes en ventilation naturelle par conduits ne sont pas en bon état ou parce que mesurer un débit en ventilation naturelle de façon ponctuelle ne permet pas de statuer sur le respect de la réglementation ?

- Comment mettre en œuvre ou diagnostiquer un système de ventilation naturelle par conduit au regard des débits conformes en *conditions climatiques moyennes d'hiver* ?

La difficulté de pouvoir avoir des conclusions en ventilation naturelle doit faire rappeler que :

- La campagne nationale Logements n'a pas été une campagne dédiée à la ventilation et donc que l'on ne peut disposer d'informations sur certains points, notamment en ventilation naturelle.
- Le fait d'obtenir un constat plus exhaustif sur l'état descriptif des débits en VMC, que sur les débits en ventilation naturelle, est dû uniquement aux données disponibles elles-mêmes ; il ne s'agit en aucun cas de privilégier la description d'un système de ventilation plutôt qu'un autre dans le parc de logements français métropolitains.
- Une campagne dédiée à la ventilation serait nécessaire afin d'obtenir des résultats complets notamment en ventilation naturelle. On a constaté qu'il est difficile d'identifier le système de ventilation d'un logement vu la grande hétérogénéité des situations existantes sur le terrain, qu'il est difficile de collecter des informations sur les débits en ventilation naturelle, qu'il est difficile par une simple mesure ponctuelle aux bouches à tirage naturel de conclure sur le respect de la réglementation de ces débits, que l'on ne dispose pas d'informations utiles par exemple sur l'assistance du tirage.

5.4 SYNTHÈSE

L'étude des débits d'air extrait aux bouches VMC permet de retenir que :

- La comparaison à des valeurs de référence doit être considérée différemment selon la période de construction et la disponibilité des références réglementaires : seuls les logements construits après 1982 ont une réglementation en vigueur exprimant des débits à respecter en m³/h ; la comparaison à des valeurs de référence pour les autres périodes de construction ne doit être utilisée qu'à titre d'information.
- Dans les logements équipés de ventilation mécanique contrôlée, les débits d'air extraits mesurés présentent une importante dispersion d'un logement à l'autre.
- Les classes modales sont respectivement pour les débits réduits, les débits de pointe et les débits moyens en cuisine 40-50 m³/h, 60-70 m³/h et 40-50 m³/h.
- Les classes modales des débits en salle de bain et en WC sont 20-30 m³/h et 10-20 m³/h respectivement.
- En cuisine, 46.2% des débits réduits mesurés ne respectent pas la valeur de référence. Les débits de pointe ne sont supérieurs à la référence que pour 16.4% des débits mesurés et les débits moyens sont supérieurs à la valeur de référence pour 47% des mesures.
- 36.5% des débits mesurés en salle de bain peuvent atteindre les seuils de référence. 38.4% des débits mesurés en WC respectent la valeur de référence.
- Dans les 104 logements mesurés, 55.8% des débits en « total minimal » sont strictement inférieurs à la référence et 56.7% pour les débits en « total moyen ».
- Parmi les logements dont le débit minimal mesuré est inférieur au débit de référence, on ne note pas de différence significative entre l'habitat individuel et l'habitat collectif.
- Pour les logements munis de VMC dont la fin de construction se situe entre 1969 et 1982 : 76.9% des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total minimal observé et 80.7% des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total moyen observé (sous-échantillon de 26 logements).
- Pour les logements munis de VMC dont la fin de construction se situe à partir de 1982 : 49.1% des ratios indiquent un débit total minimal non réglementaire et 49.2% pour le débit moyen observé (sous-échantillon de 55 logements).
- On conclut à une amélioration significative des débits totaux observés entre les 2 périodes de construction (1969-1982 et après 1982) au regard des valeurs de référence choisies respectivement.
- Pour les logements réhabilités en VMC dont la fin de construction se situe avant 1969 : 47.7 % (resp. 47.8 %) des ratios du débit total minimal (resp. moyen) correspondent à des débits observés strictement inférieurs à la référence.

- On conclut que les logements réhabilités et les logements construits à partir de 1982 respectent (ou ne respectent pas) dans le même ordre de grandeur les débits conformes de l'arrêté de mars 1982. En revanche, on conclut à une différence significative au seuil $\alpha = 0.05$ des proportions de débits strictement inférieurs au débit de référence entre les débits totaux (minimal et moyen) mesurés dans les logements réhabilités en VMC et les logements achevés entre 1969 et 1982.
- Une part des débits non réglementaire après 1982 peut être relativisée par la présence (non quantifiable) de bouches hygroréglables.

L'étude limitée des débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduits permet de retenir que :

- Beaucoup de débits mesurés sont nuls ou n'ont pu être mesurés, mais il convient de rappeler qu'une mesure ponctuelle en ventilation naturelle ne permet pas de statuer sur le respect de la réglementation.
- Il est difficile de typifier un système de ventilation, notamment naturel.
- Sur la base des mesures disponibles, les débits de ventilation naturelle sont dispersés et respectent peu les débits de référence.
- Seule une campagne dédiée à la ventilation naturelle permettrait de juger de l'efficacité d'un système de ventilation naturelle à partir de la réglementation en vigueur, les données de la campagne nationale Logements ne le permettant pas. En effet, la campagne nationale Logements n'avait pas pour objectif une analyse détaillée de la ventilation des logements : une telle étude aurait nécessité une méthode de choix des logements à enquêter très différente et un protocole de mesures spécifique.
- Le fait d'obtenir un constat plus exhaustif sur l'état descriptif des débits en VMC, que sur les débits en ventilation naturelle, est dû uniquement aux données disponibles elles-mêmes ; il ne s'agit en aucun cas de privilégier la description d'un système de ventilation plutôt qu'un autre dans le parc de logements français métropolitains.

6. ETAT DES ENTREES ET SORTIES D'AIR

6.1 RESULTATS

Pour chaque pièce recensée, les bouches d'extraction d'air vicié et les entrées d'air neuf ont été relevées, lorsqu'elles existaient, ainsi que leur état. 1477 bouches d'amenées d'air et 1290 bouches d'extraction ont été recensées à travers les 567 enquêtes de logements. L'état d'une bouche a été noté avec les modalités « Bon », « Mauvais (encrassée) », « Masquée par un meuble » et « Obturée ». Les résultats sont présentés avec Tableau 20 et Tableau 21.

| Amenée d'air neuf | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 1281 | 86.7 |
| Encrassée | 83 | 5.6 |
| Masquée par un meuble | 29 | 2.0 |
| Obturée | 84 | 5.7 |

Tableau 20 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 567 logements enquêtés, tout système de ventilation confondu.

| Sortie d'air vicié | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 1097 | 85.0 |
| Encrassée | 139 | 10.8 |
| Masquée par un meuble | 10 | 0.8 |
| Obturée | 44 | 3.4 |

Tableau 21 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 567 logements enquêtés, tout système de ventilation confondu.

On constate qu'environ 86 % des bouches, entrées ou sorties, sont en bon état. Les bouches encrassées sont 2 fois plus fréquentes pour les extractions d'air que pour les amenées d'air neuf.

Nous nous intéressons maintenant aux bouches d'amenée et d'extraction d'air pour les logements munis d'une VMC. Il y a 780 amenées d'air et 745 bouches d'extraction qui ont été recensées parmi ces logements. Les résultats sont les suivants :

| Amenée d'air neuf | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 709 | 90.9 |
| Encrassée | 38 | 4.9 |
| Masquée par un meuble | 4 | 0.5 |
| Obturée | 29 | 3.7 |

Tableau 22 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 211 logements enquêtés munis de VMC.

| Sortie d'air vicié | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 641 | 86.1 |
| Encrassée | 85 | 11.4 |
| Masquée par un meuble | 4 | 0.5 |
| Obturée | 15 | 2.0 |

Tableau 23 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 211 logements enquêtés munis de VMC.

Les bouches d'extraction VMC ont été relevées en bon état pour 86.1 % d'entre elles, et encrassées à 11.4 %.

En ce qui concerne la ventilation naturelle (grilles et conduits tout confondu) il y a 447 amenées d'air et 393 bouches d'extraction qui ont été recensées parmi ces logements. Les résultats sont les suivants :

| Amenée d'air neuf | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 364 | 81.4 |
| Encrassée | 29 | 6.5 |
| Masquée par un meuble | 21 | 4.7 |
| Obturée | 33 | 7.4 |

Tableau 24 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle.

| Sortie d'air vicié | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 319 | 81.2 |
| Encrassée | 43 | 10.9 |
| Masquée par un meuble | 6 | 1.5 |
| Obturée | 25 | 6.4 |

Tableau 25 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle.

| Sortie d'air vicié | Nombre d'observations | Pourcentage |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Bon état | 184 | 77.6 |
| Encrassée | 33 | 13.9 |
| Masquée par un meuble | 4 | 1.7 |
| Obturée | 16 | 6.8 |

Tableau 26 : État des bouches d'extraction d'air vicié par conduit à tirage naturel recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle.

L'état des bouches des logements munis de ventilation naturelle (par conduits ou par grilles hautes et basses) est voisin de l'état des bouches des logements munis de VMC. On note cependant que la proportion de bouches en bon état des logements munis de ventilation naturelle, entrées d'air comme sorties d'air, est en deçà de la proportion des bouches en bon état des logements munis de VMC. Cette tendance se poursuit si on observe par le Tableau 26 uniquement les extractions d'air vicié par conduits à tirage naturel.

6.2 LIEN AVEC LES DEBITS DES LOGEMENTS VMC

Nous avons vu au paragraphe 5.2.2 que 55.8 % des 104 logements, soient 58 logements, dont le débit total minimal avait été mesuré avaient ce même débit qui était strictement inférieur à la valeur de référence. Si on s'intéresse à l'état de leurs bouches d'extraction d'air vicié mécanique, on note que 27.6 % de ces logements ont au moins une de leurs bouches qui n'a pas été signalée en « bon état » (contre 26.1% pour les logements ayant un débit total minimal supérieur à la référence). Sans qu'une relation de cause à effet puisse être montrée, cela peut être une des raisons des débits strictement inférieurs au débit de référence. Notons que 11 des 58 logements sont des logements réhabilités en VMC i.e. construits avant 1969 et munis de VMC.

De plus on constate que parmi les logements ayant un débit total minimal strictement inférieur à la valeur de référence, certains d'entre eux ne possèdent pas de bouche d'extraction dans une ou des pièces de service, notamment en cuisine : 27.6 % des logements à débit total minimal strictement inférieur à la valeur de référence n'ont pas de bouches en cuisine (contre 4.3% pour les logements à débit total supérieur à la référence). De même 12.1% des logements à débit total minimal strictement inférieur à la valeur de référence n'ont pas de bouches en salle de bain (contre 6.2 % pour les logements à débit supérieur à la référence) et le même pourcentage de logements n'ont pas de bouches d'extraction en WC (contre 10.4 % pour les logements à débit supérieur à la référence). De manière synthétique, il y a 36.2% des logements à débit total minimal strictement inférieur à la valeur de référence pour lesquels au moins une de leurs pièces de service n'a pas de bouche d'extraction (contre 16.6 % pour les logements à débit total minimal supérieur à la référence).

On peut encore souligner le fait que 6.9 % des logements à débit total minimal strictement inférieur à la valeur de référence ont un débit nul. L'arrêt total (volontaire ou panne) du groupe VMC contribue donc à la présence de débits strictement inférieurs au débit de référence.

A cela on peut penser que les éléments suivants jouent un rôle très probable dans le fait d'avoir un débit total minimal ne respectant pas la référence :

- Le dysfonctionnement du groupe VMC (non vérifiable avec les données de la campagne nationale Logements).
- La pose d'un groupe VMC et/ou de bouches non adaptés à la surface du logement et à la pièce respectivement (non vérifiable avec les données de la campagne nationale Logements).

6.3 SYNTHÈSE

L'étude de l'état des entrées et sortie d'air permet de retenir que :

- 86.7 % des bouches d'amenée d'air des logements enquêtés sont en bon état, 90.9% des bouches d'amenées d'air pour les logements munis de VMC le sont et 81.4 % pour les logements munis de ventilation naturelle par conduit ou par grilles hautes et basses.
- 85 % des bouches d'extraction d'air vicié des logements enquêtés sont en bon état, 86.1% des bouches d'extraction pour les logements munis de VMC le sont, 81.2 % des bouches pour les logements munis de ventilation naturelle par conduit ou par grilles hautes et basses le sont, et 77.6 % des bouches des logements munis de ventilation naturelle par conduit le sont.
- Plus de 70 % des débits d'air extraits minimaux strictement inférieurs à la valeur de référence au niveau du logement pourraient être en partie expliqués par le fait d'avoir au moins une bouche d'extraction qui n'est pas en bon état, par le fait qu'il manque des bouches d'extractions dans certaines pièces de service, par le fait que le groupe VMC est arrêté totalement.

7. RENOUELEMENT D'AIR NOCTURNE DE LA CHAMBRE BASE SUR LES MESURES DE CO₂

Pour apprécier les conditions d'aération des mesures de concentrations en dioxyde de carbone (CO₂) ont été réalisées en continu dans une chambre de chaque logement ; le CO₂ étant un indicateur du niveau de confinement de l'air intérieur et donc de la qualité de l'aération ou de la ventilation de la chambre [5] [7] [8]. Deux indicateurs du débit de renouvellement d'air ont été construits et discutés au sein du Groupe de Travail Ventilation. Ces indicateurs reposent sur l'équation de bilan de masse de la concentration en CO₂ en régime établi : la concentration en CO₂ est égale au débit de production de CO₂ divisé par le débit de renouvellement d'air. La production de CO₂ étant liée à l'activité métabolique, on peut estimer la production sous réserve qu'il y ait présence humaine dans la pièce expérimentée. Les calculs sont uniquement faits à partir des mesures de CO₂ faites dans la pièce principale de sommeil, communément appelée « chambre des parents ». Ce débit calculé au niveau de cette seule pièce ne préjuge pas du débit de renouvellement d'air de l'ensemble du logement. Se pose en effet le problème de la représentativité au niveau du logement de ce débit d'air.

La production métabolique de CO₂ d'un individu dépend de son niveau d'activité et de sa surface corporelle. Cependant il n'est pas possible d'obtenir précisément la surface corporelle des individus de la chambre des parents puisque la taille et la masse des individus n'ont pas été relevées. La pièce expérimentée est une pièce de sommeil car la chambre est la pièce où en théorie on passe le plus de temps avec une activité métabolique relativement stable qui est le sommeil. Ainsi la production métabolique en CO₂ est fixée à 0.011 m³/h en moyenne par personne correspondant à une activité de sommeil et à une surface corporelle de 1.8 m² (individu de 1.70 m et 80 kg).

Les indicateurs utilisés se basent sur une moyenne des 60 plus grandes valeurs de l'enregistrement de CO₂, sur la semaine d'enquête pour le premier indicateur, sur les périodes 1h00 – 5h10 de la semaine pour le second indicateur. La formule générale du débit (m³/h) est la suivante :

$$RA_j = \frac{0.011 \times Nb_{personnes}}{C_{int}^j - C_{ext}}$$

Si $j = 'm'$, RA_m est le premier indicateur et correspond à un renouvellement d'air dit « moyen », si $j = 'n'$ on obtient le second indicateur RA_n correspondant à un renouvellement d'air dit « nocturne ». Les deux formules ne diffèrent que par le terme C_{int}^j qui est la moyenne respective des 60 plus grandes valeurs. Pour le premier indicateur, l'hypothèse est que les 60 plus grandes valeurs sur la semaine d'enquête sont des valeurs nocturnes. Cependant il y a une probabilité non nulle que ce ne soit pas le cas, ce qui induit une erreur au regard de la valeur 0.011 correspondant à une activité nocturne ainsi qu'au regard du nombre de personnes dans la chambre des parents puisque c'est le nombre de personnes dans cette chambre la nuit qui est considéré.

C'est pourquoi le second indicateur est conservé au détriment du premier. Les premiers résultats sur le renouvellement d'air sont exposés avec les deux indicateurs pour ensuite ne considérer que le second.

C_{ext} est la concentration extérieure généralement voisine de 400 ppm. Compte tenu que le CO₂ à l'extérieur du logement n'a pas été mesuré, il a été décidé de retenir comme valeur de CO₂ extérieure la valeur minimale en CO₂ dans la chambre rencontrée sur la semaine d'enquête. On suppose en effet qu'à un moment donné de la semaine d'enquête, la concentration intérieure sera voisine de la concentration extérieure. Dans certains cas, il n'est pas possible d'accepter l'hypothèse valeur minimale de $C_{int} = C_{ext}$, soit parce que la valeur minimale de la concentration intérieure est toujours trop élevée (cas des logements très étanches), soit parce qu'elle est trop faible (à cause des incertitudes de mesure). Il a été admis dans ces cas de retenir comme valeur de C_{ext} la valeur 400 ppm.

Pour être rigoureux et précis nous parlons ici de renouvellement d'air **nocturne équivalent** en la chambre expérimentée [7]. En effet l'air de la chambre peut être brassé avec l'air du reste du logement (par exemple si la porte de la chambre reste ouverte la nuit) ce qui implique que la concentration en CO₂ de la chambre résulte à la fois du CO₂ venant de l'extérieur et du CO₂ venant du reste du logement. On ne peut pas parler ici de renouvellement d'air extérieur. C'est pourquoi nous parlons de renouvellement d'air **équivalent**. **Nous avons donc à faire ici à un indicateur de renouvellement d'air par air neuf et par dilution.**

Cette méthode simple basée sur le CO₂ métabolique pour évaluer le renouvellement d'air a été testé dans différentes configurations afin d'en apprécier sa pertinence [16].

7.1 DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE

Les indicateurs du renouvellement d'air étant basés sur le dioxyde carbone, le Tableau 27 présente les distributions du CO₂ pour les 2 critères d'agrégation et pour la valeur minimale utilisée dans les calculs. Les distributions sont visualisables graphiquement avec les Figure 7-1, Figure 7-2 et Figure 7-3. Les distributions des deux critères semblent être Log-Normales. La classe modale pour le critère moyenne entre 1H et 5H10 est la classe 500-1000 ppm et sa médiane est de 1193 ppm ; 62.5 % des valeurs sont inférieurs à 1500 ppm de CO₂. La classe modale pour l'autre critère est la classe 1000-1500 ppm et sa médiane est de 1442 ppm. Pour la valeur minimale de CO₂ sur la semaine d'enquête, la classe modale est la classe 350-400 ppm et sa médiane est de 360 ppm.

| Quantité | Effectif observé | Moyenne pondérée | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|------------------------------------|------------------|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| CO ₂ sup moyen nocturne | 499 | 1465 | 290 | 608 | 878 | 1193 | 1802 | 2637 | 3244 | 5883 | 21 565 286 |
| CO ₂ sup moyen | 499 | 1752 | 334 | 730 | 1043 | 1442 | 2150 | 3241 | 3938 | 6000 | 21 565 286 |
| CO ₂ minimal | 490 | 362 | 259 | 313 | 334 | 360 | 384 | 421 | 442 | 510 | 21 265 719 |

Tableau 27 : Distributions des différentes valeurs agrégées de CO₂ utilisées dans les calculs des renouvellements d'air (en ppm).

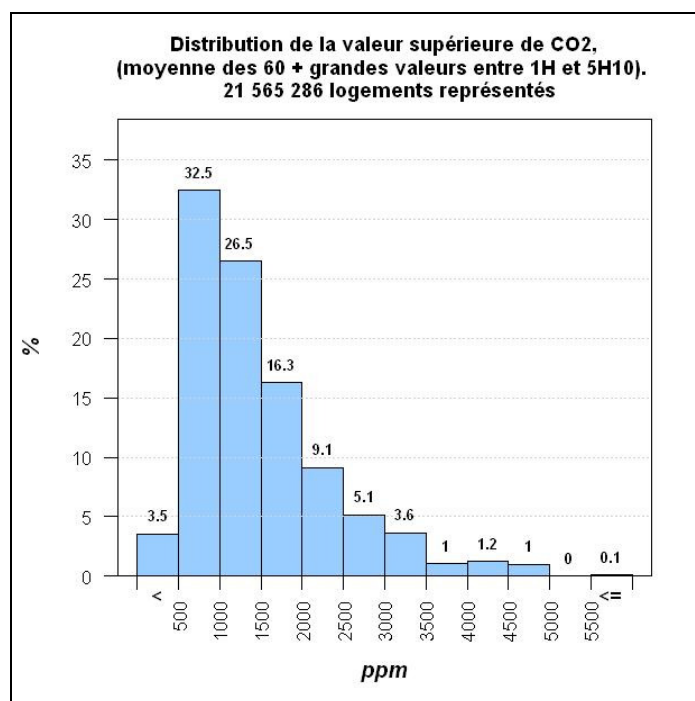


Figure 7-1 : Distribution de la valeur de CO₂, moyenne des 60 plus grandes valeurs de l'enregistrement sur la semaine comprises entre 1H et 5H10. Valeurs utilisées pour l'indicateur RAn.

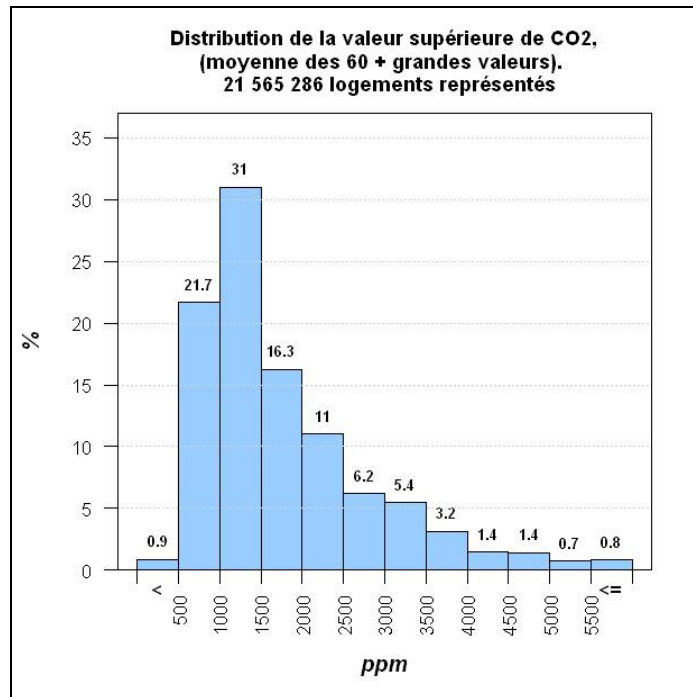


Figure 7-2 : Distribution de la valeur de CO₂, moyenne des 60 plus grandes valeurs de l'enregistrement sur la semaine. Valeurs utilisées pour l'indicateur RAM.

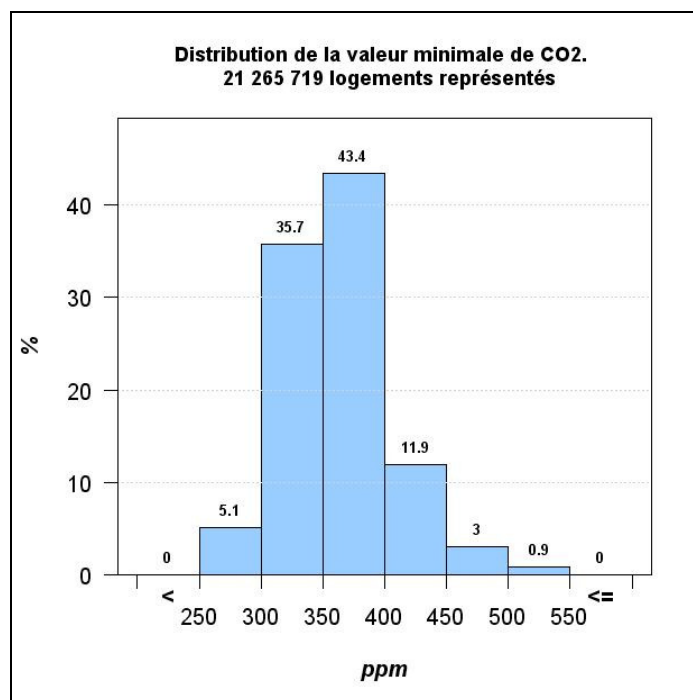


Figure 7-3 : Distributions des valeurs minimales de CO₂ de l'enregistrement sur la semaine d'enquête. Valeurs utilisées pour les 2 indicateurs RA_n et RA_m.

7.2 RENOUELEMENT D'AIR

7.2.1 Distributions globales

A partir des valeurs de dioxyde de carbone, les débits de renouvellements d'air nocturne équivalent en chambre des parents sont calculés. Le Tableau 28, la Figure 7-4, la Figure 7-5 et la Figure 7-6 présentent les distributions. La présentation en 5 classes a été décidée en GT Ventilation.

Observons que l'on a toujours $RA_m \leq RA_n$, ceci peut être vu par considérations ensemblistes puisque si y appartient à l'ensemble des 60 plus grandes valeurs entre 1H00 et 5H10 alors y appartient à l'ensemble des 60

plus grandes valeurs sur la semaine d'enquête et donc $C_{int}^n \leq C_{int}^m$. La médiane pour le renouvellement dit moyen est de 15 m³/h et de 18 m³/h pour le renouvellement dit nocturne.

| Quantité | Effectif observé | Moyenne pondérée | MIN | P 10 | P 25 | P 50 | P 75 | P 90 | P 95 | MAX | Effectif représenté |
|----------|------------------|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|---------------------|
| RAn | 447 | 27.4 | 1 | 7 | 10 | 18 | 32 | 53 | 88 | 212 | 19 311 051 |
| Ram | 447 | 19.8 | 1 | 5 | 8 | 15 | 25 | 41 | 51 | 142 | 19 311 051 |

Tableau 28 : Distributions représentées des deux indicateurs (m³/h).

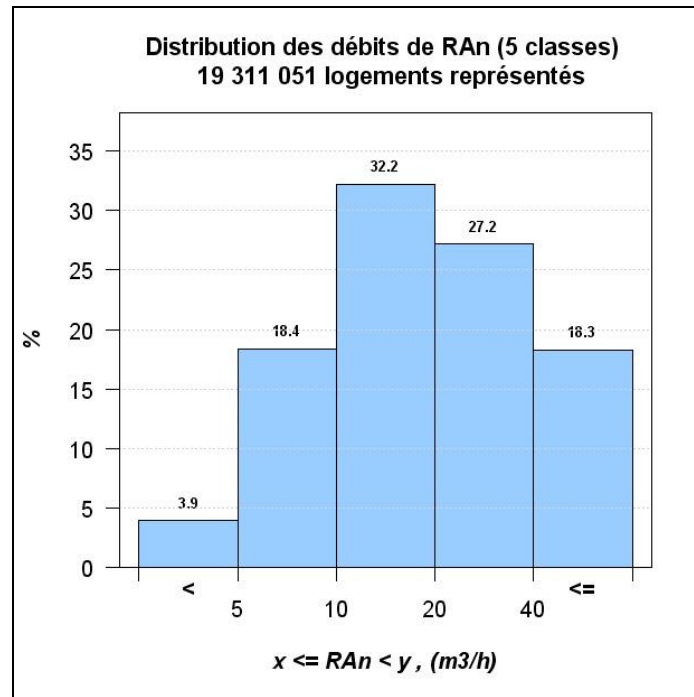


Figure 7-4 : Distribution des débits de renouvellement d'air dit « nocturne » basé sur le CO₂.

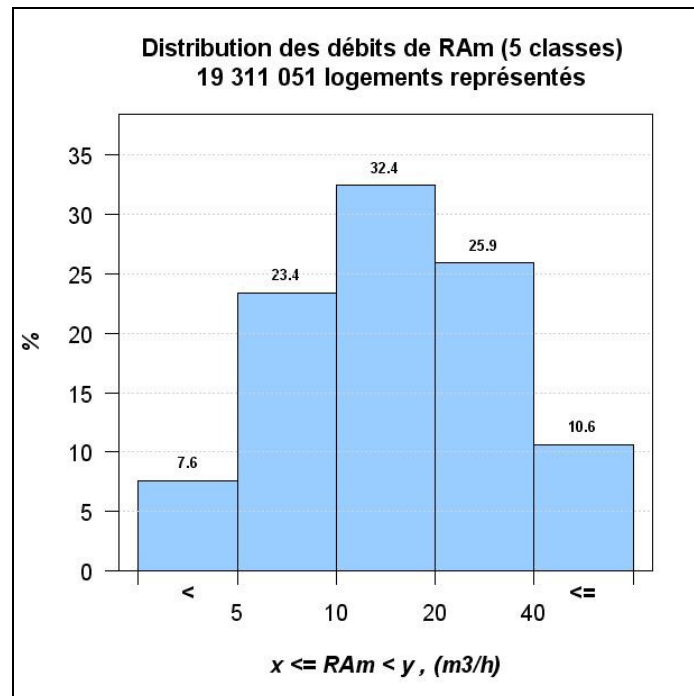


Figure 7-5 : Distribution des débits de renouvellement d'air dit « moyen » basé sur le CO₂.

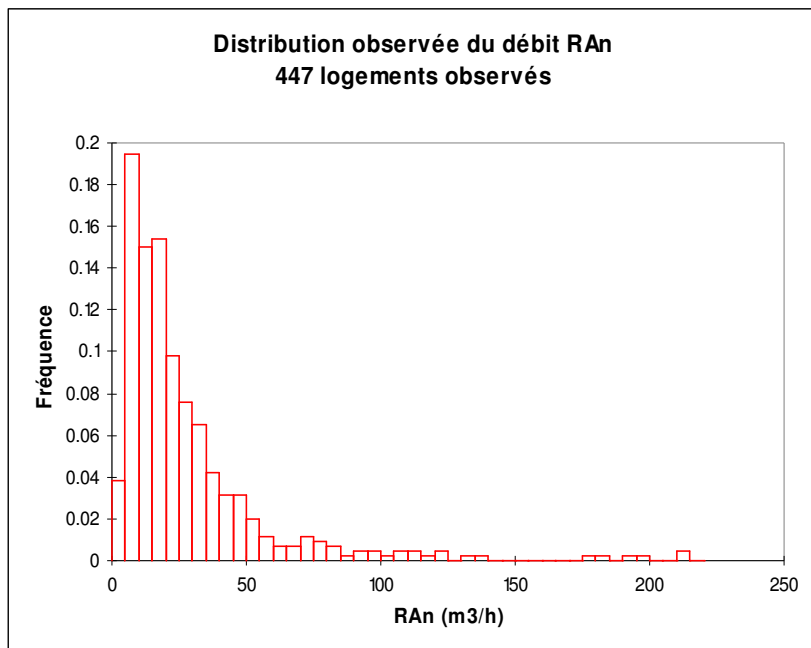


Figure 7-6 : Distribution observée des débits de renouvellement d’air dit « nocturne » basé sur le CO₂ en réduisant l’amplitude de classes afin d’avoir une vue de la forme de la distribution.

Seul le RAn est utilisé dans la suite du présent rapport. Les débits élevés peuvent s’expliquer en partie par des situations de non chauffage (Cf. paragraphe suivant).

7.2.2 Renouvellement d’air et périodes de chauffe et d’hors chauffe

Si on observe les distributions des débits de renouvellement d’air au regard des situations de chauffe ou d’hors chauffe du logement pendant la semaine d’enquête (Figure 7-7), on peut voir que les forts débits ($\geq 40\text{m}^3/\text{h}$) sont environ en proportion double pour les logements en situation d’hors chauffe par rapport aux logements en situation de chauffe (ceci pour les 2 indicateurs de renouvellement d’air). Ces différences peuvent probablement s’expliquer par des comportements d’ouverture des fenêtres différents.

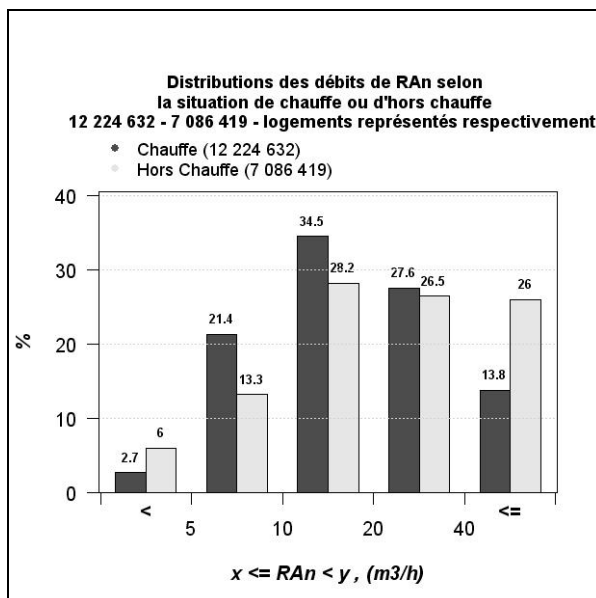


Figure 7-7 : Débits des renouvellements d’air nocturne RAn et en fonction de la situation de chauffe ou d’hors chauffe des logements pendant la semaine d’enquête.

On peut effectuer un test non paramétrique (la distribution du RAn n’est pas Gaussienne cf. Figure 7-9) pour comparer les 2 échantillons. L’hypothèse nulle est « les deux échantillons RAn proviennent de la même population » contre l’hypothèse alternative « les débits RAn sont plus grands en situation d’hors chauffe qu’en situation de chauffe ». Le test utilisé ici est le test de Wilcoxon [1] [4] (voir aussi les paragraphes 7.2.3 et 7.2.4 suivant), la valeur de sa statistique est de 37922.5 et la p-value du test unilatéral est de 0.0001. Le test est donc

significatif à 5 %, on rejette donc l'hypothèse d'homogénéité des deux populations pour accepter le fait que les débits RAn en situation d'hors chauffe sont plus élevés qu'en situation de chauffe.

7.2.3 Renouvellement d'air et type de ventilation

Le Tableau 29 expose les distributions de renouvellement d'air nocturne de la chambre par type de ventilation sur l'échantillon redressé. En revanche, la Figure 7-8 permet de voir ces mêmes distributions sur l'échantillon observé. En effet pour comparer de façon rigoureuse les moyennes des débits de renouvellement d'air des 4 types de ventilation nous devons faire appel aux statistiques inférentielles. Nous souhaitons savoir si en moyenne les débits des 4 types de ventilation sont différents ; une analyse de variance est donc réalisée, technique qui n'admet pas de pondération.

| Type ventilation | Effectif observé | Moyenne Pondérée | Écart Type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|---------------------|
| Aucun dispositif particulier | 94 | 32.9 | 33.1 | 4 | 7 | 10 | 25 | 42 | 88 | 100 | 210 | 4 289 564 |
| Moteurs Ventilateurs dans qqs pièces | 46 | 25.3 | 23.5 | 3 | 7 | 10 | 18 | 33 | 46 | 81 | 119 | 2 062 046 |
| VMC | 169 | 22.7 | 22.3 | 3 | 6 | 9 | 17 | 28 | 46 | 54 | 196 | 6 843 581 |
| Vnat | 138 | 29.6 | 32.7 | 1 | 7 | 12 | 19 | 35 | 60 | 79 | 212 | 6 115 862 |

Tableau 29 : Distribution représentée du renouvellement d'air nocturne pour chaque type de ventilation (m³/h)

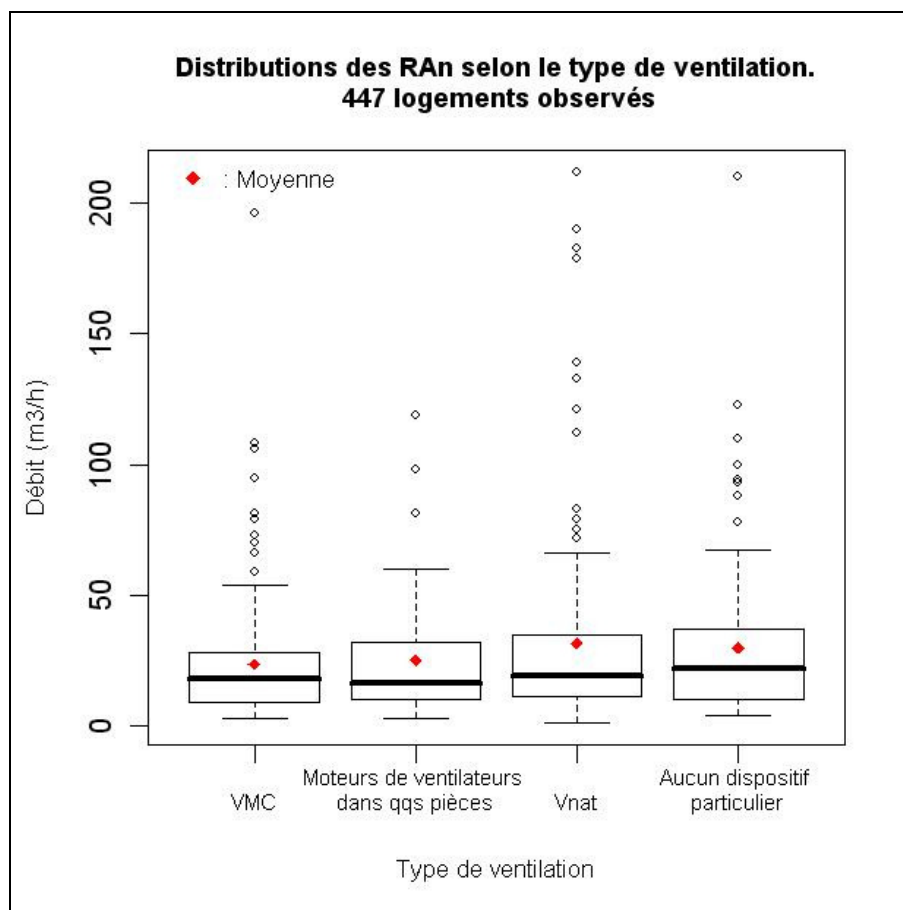


Figure 7-8 : Distributions observées des débits de renouvellement d'air par type de ventilation pour l'ensemble de l'échantillon.

Les distributions des débits n'étant pas Gaussiennes pour les quatre types de système de ventilation (Figure 7-9), nous utilisons un test de comparaison non paramétrique basé sur la somme des rangs : le test de Kruskal-Wallis [1] [4] qui teste l'hypothèse que tous les échantillons proviennent de populations identiques et est partiellement sensible aux différences de tendance centrale. Les résultats de ce test indiquent que l'on ne peut pas rejeter au seuil 5% l'hypothèse que les 4 échantillons viennent tous de la même population (statistique de KW = 3.907, ddl = 3, p-value=0.2716). **On ne note donc pas de différences statistiquement significatives sur les débits RAn en fonction des types de ventilation, toutes situations confondues.**

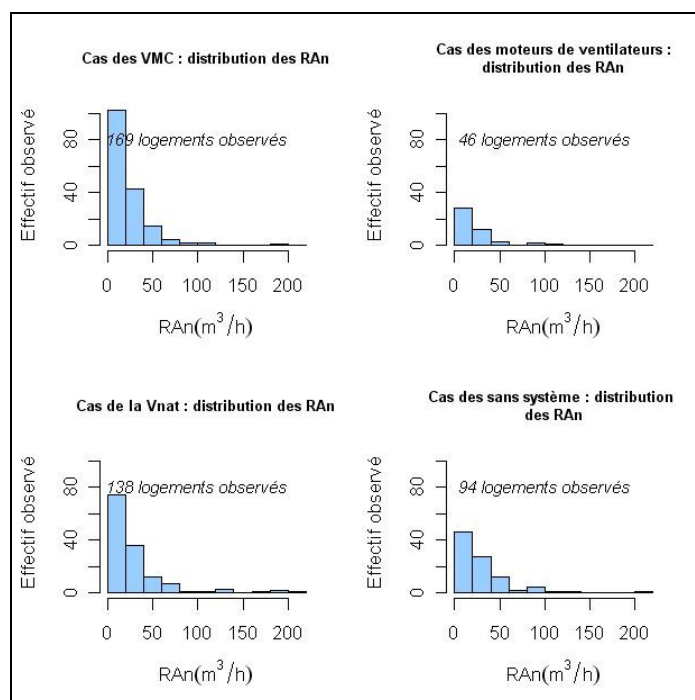


Figure 7-9 : Formes des distributions observées des débits RAn pour les 4 types de système de ventilation.

Pour être plus rigoureux, nous faisons la même analyse que précédemment mais en ne considérant que les logements qui chauffent pendant la semaine d'enquête (conditions d'hiver) et qui ont les fenêtres fermées en chambre la nuit (Cf. aussi 8.6) pour ne pas perturber l'action du système de ventilation. Les Tableau 30 et Tableau 31 présentent les distributions observées et représentées respectivement par type de ventilation pour la situation de chauffage et d'ouverture de fenêtre considérée. La Figure 7-10 montre les distributions observées sous forme de boîtes à moustaches.

| Type ventilation | Effectif observé | Moyenne | Écart Type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX |
|--------------------------------------|------------------|---------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| Aucun dispositif particulier | 56 | 21.7 | 21.3 | 4 | 7 | 8 | 12.5 | 27 | 42 | 78 | 110 |
| Moteurs Ventilateurs dans qqs pièces | 28 | 23.4 | 19.3 | 6 | 9 | 10.5 | 17 | 29 | 46 | 60 | 98 |
| VMC | 103 | 20.5 | 23.9 | 3 | 6 | 8 | 14 | 24 | 40 | 50 | 196 |
| Vnat | 80 | 26 | 29 | 1 | 6 | 10.5 | 18.5 | 31 | 54.5 | 73.5 | 212 |

Tableau 30 : Distribution observée du renouvellement d'air nocturne (m3/h) pour chaque type de ventilation, pour les logements chauffant pendant la semaine d'enquête et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit.

| Type ventilation | Effectif observé | Moyenne Pondérée | Écart Type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|---------------------|
| Aucun dispositif particulier | 56 | 23.9 | 24.2 | 4 | 7 | 8 | 17 | 28 | 42 | 93 | 110 | 2 368 277 |
| Moteurs Ventilateurs dans qqs pièces | 28 | 22.1 | 14.5 | 6 | 10 | 11 | 18 | 30 | 37 | 46 | 98 | 1 181 133 |
| VMC | 103 | 20.6 | 23.9 | 3 | 5 | 8 | 15 | 22 | 40 | 54 | 196 | 3 916 418 |
| Vnat | 80 | 24.9 | 23.5 | 1 | 7 | 11 | 17 | 34 | 51 | 60 | 212 | 3 400 241 |

Tableau 31 : Distribution représentée du renouvellement d'air nocturne (m3/h) pour chaque type de ventilation, pour les logements chauffant pendant la semaine d'enquête et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit.

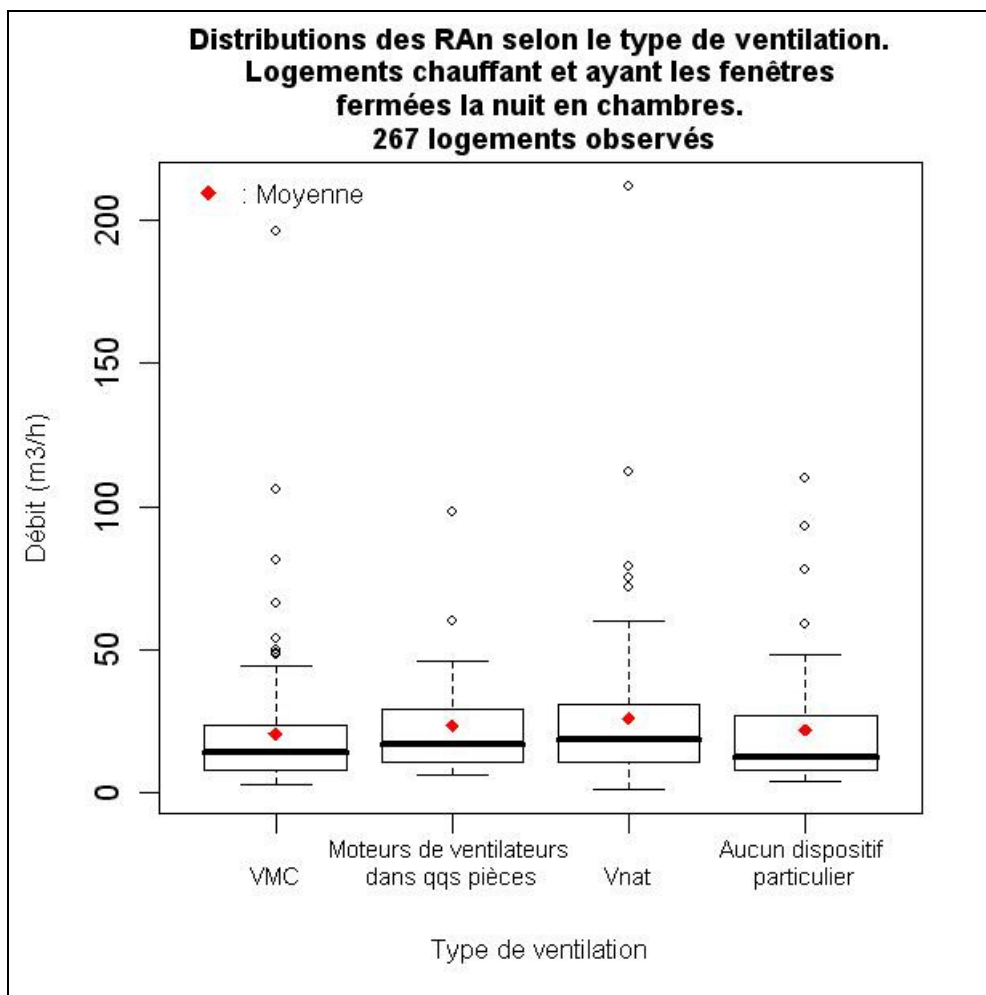


Figure 7-10 : Distributions observées des débits de renouvellement d'air par type de ventilation pour les logements chauffés et ayant les fenêtres fermées en chambre.

De nouveau un test de Kruskal-Wallis a été effectué pour savoir si les débits de renouvellement d'air nocturne équivalents sont différents selon les systèmes de ventilation ; le test de Kruskal-Wallis indique en effet comme précédemment que l'on ne peut pas rejeter l'hypothèse que les 4 échantillons viennent tous de la même population (statistique de KW = 4.65, ddl = 3, p-value=0.199) au seuil 5%. En d'autres termes **on ne note pas de différences statistiquement significatives sur les débits RAn en fonction des types de ventilation pour les logements chauffés et ayant les fenêtres fermées en chambre.**

Ce même test est effectué sur les logements collectifs (89 logements) et les logements individuels (178 logements) séparément, la conclusion reste inchangée pour les deux types de logements (statistique de KW = 4.21, ddl = 3, p-value=0.239 pour les logements collectifs et KW = 1.44, ddl = 3, p-value=0.698 pour les logements individuels).

En complément de la situation de chauffage des logements et de la situation de fermeture de la fenêtre de la chambre la nuit, on peut n'observer parmi ce sous échantillon que les logements ayant la porte de la chambre expérimentée fermée la nuit. Si on réalise un nouveau test de Kruskal-Wallis, la conclusion est la même (KW = 1.704, ddl= 3, p-value = 0.636) indiquant donc que les 4 échantillons de RAn proviennent de la même population. A noter que le sous échantillon d'étude est encore plus mince (128 logements observés : 58 en VMC, 15 en moteur de ventilateur, 30 en ventilation naturelle et 25 sans système).

Ainsi, en l'état des choses observées, cela laisse à penser que le renouvellement d'air dû à la perméabilité à l'air l'emporterait sur le renouvellement d'air dû au système et que le poids du système et le poids de la perméabilité de l'enveloppe à l'air ne seraient pas les mêmes dans le rôle joué dans le renouvellement d'air.

7.2.4 Renouvellement d'air et logements anciens et récents

Le débit de renouvellement d'air « nocturne » est analysé en fonction de l'année de fin de construction des logements. Le Tableau 32 montre les distributions selon la période de fin de construction à l'échelle nationale.

On ne remarque pas de phénomène très particulier au niveau des médianes par exemple ; on peut voir simplement que les cinq plus fortes médianes concernent les logements d'avant 1974. On peut conjecturer - en examinant les médianes - que les logements à partir de 1975 semblent avoir des débits de renouvellement d'air plus faibles. On peut remarquer de plus que les valeurs maximales de débits de renouvellement d'air pour les logements d'après 1975 ne dépassent pas 108 m³/h alors que pour les logements plus anciens, des débits de plus de 180 m³/h sont atteints pour 4 périodes de construction (1871-1914, 1915-1948, 1962-1967 et 1968-1974).

| Période fin de construction | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|---------------------|
| Avant 1871 | 33 | 32.1 | 18.3 | 4 | 8 | 18 | 30 | 44 | 59 | 60 | 67 | 843 009 |
| De 1871 à 1914 | 64 | 33.1 | 37.7 | 1 | 8 | 14 | 19 | 38 | 88 | 123 | 196 | 2 693 760 |
| De 1915 à 1948 | 54 | 32.5 | 37.7 | 3 | 7 | 10 | 24 | 37 | 83 | 95 | 210 | 2 948 583 |
| De 1949 à 1961 | 40 | 23.9 | 22.2 | 3 | 5 | 11 | 18 | 24 | 49 | 66 | 121 | 2 081 054 |
| De 1962 à 1967 | 37 | 27.5 | 31.5 | 5 | 8 | 12 | 17 | 33 | 52 | 78 | 212 | 1 311 886 |
| De 1968 à 1974 | 49 | 29.9 | 31.3 | 2 | 6 | 9 | 23 | 37 | 72 | 100 | 183 | 2 453 197 |
| De 1975 à 1981 | 46 | 23.1 | 19.6 | 3 | 5 | 10 | 17 | 30 | 48 | 60 | 106 | 2 322 819 |
| De 1982 à 1989 | 53 | 28.2 | 25 | 5 | 7 | 9 | 16 | 42 | 72 | 81 | 108 | 2 224 556 |
| De 1990 à 2003 | 71 | 17.4 | 10.3 | 3 | 5 | 9 | 16 | 23 | 30 | 36 | 50 | 2 432 188 |

Tableau 32 : Distributions représentées du renouvellement d'air nocturne pour chaque période de fin de construction des logements.

Il s'agit donc de vérifier cette hypothèse par analyses statistiques. La première question est de déterminer à partir de quelle date on discrimine les logements « anciens » des logements « récents » avec les périodes à disposition. L'inconvénient majeur d'un choix de seuil est que ce choix peut affecter les statistiques de chaque classe retenue.

En conséquence, on choisit de discriminer les logements en 3 groupes avec les dates de réglementation fréquemment utilisées pour les analyses : 1969 et 1982 (en réalité on utilise 1968 au lieu de 1969 cf. 5.2.2.2). On construit donc plutôt 3 classes de logements « des plus anciens au plus récents ».

Nous considérons comme au paragraphe précédent le sous échantillon de logements qui chauffent pendant la semaine d'enquête et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit (Cf. aussi 8.6). La Figure 7-11 montre les 3 distributions observées de débits RAn pour ces logements, elle est dans le sens de la conjecture faite précédemment. En effet plus les logements sont récents plus les médianes sont petites. On remarque aussi un phénomène de décroissance quant aux valeurs maximales des outliers.

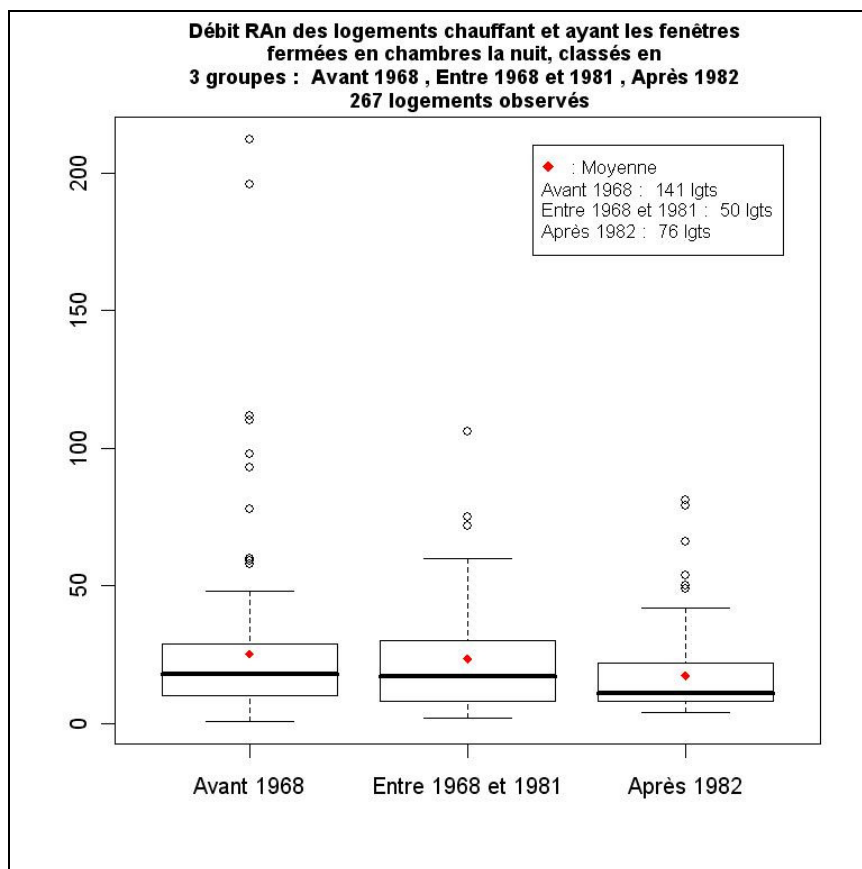


Figure 7-11 : Distributions observées du renouvellement d'air nocturne pour les 3 périodes choisies de fin de construction. 267 logements observés.

En réalisant à nouveau un test non paramétrique testant l'hypothèse « Les échantillons proviennent de la même population », on obtient une statistique de Kruskal-Wallis $KW = 9.72$, $ddl = 2$ et $p\text{-value} = 0.0077$. On rejette donc l'hypothèse d'homogénéité des échantillons. Si on regarde où se situent les différences [1, p. 241-242] [4, p. 137-140], on obtient qu'une seule différence significative avec la paire « Avant 1968 – Après 1982 ». Cependant si on fait trois tests unilatéraux de Wilcoxon (qui est un cas particulier du test de Kruskal-Wallis pour 2 groupes), en testant « Les 2 échantillons proviennent de la même population » contre « Le groupe de logements plus récents a des débits plus faibles », on obtient les p-values suivantes :

- Avant 1968 / Entre 1968 et 1982 : $p\text{-value} = 0.3068$
- Avant 1968 / Après 1982 : $p\text{-value} = 0.00067$
- Entre 1968 et 1982 / Après 1982 : $p\text{-value} = 0.05344$

On remarque donc que l'on est très proche de la significativité à 5% entre les groupes « Entre 1968 et 1982 » et « Après 1982 » (la comparaison multiple de Kruskal-Wallis affichait aussi une significativité proche : seuil critique = 33.6, différence absolue = 29.3). On peut donc raisonnable dire que la conjecture est vérifiée : **les logements récents ont des débits de renouvellement d'air plus faibles que les logements anciens.**

7.2.5 Renouvellement d'air et taux d'occupation

A partir du classement fait en 3 catégories conventionnellement selon Tableau 3 page 10, la Figure 7-12 présente les distributions des débits de renouvellement d'air dit nocturne des logements qui chauffent pendant leur semaine d'enquête, selon le taux d'occupation. Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis comparant les 3 échantillons conclut au non-rejet de l'hypothèse d'homogénéité des 3 populations au seuil 5% ($KW = 3.2439$, $ddl = 2$, $p\text{-value} = 0.1975$).

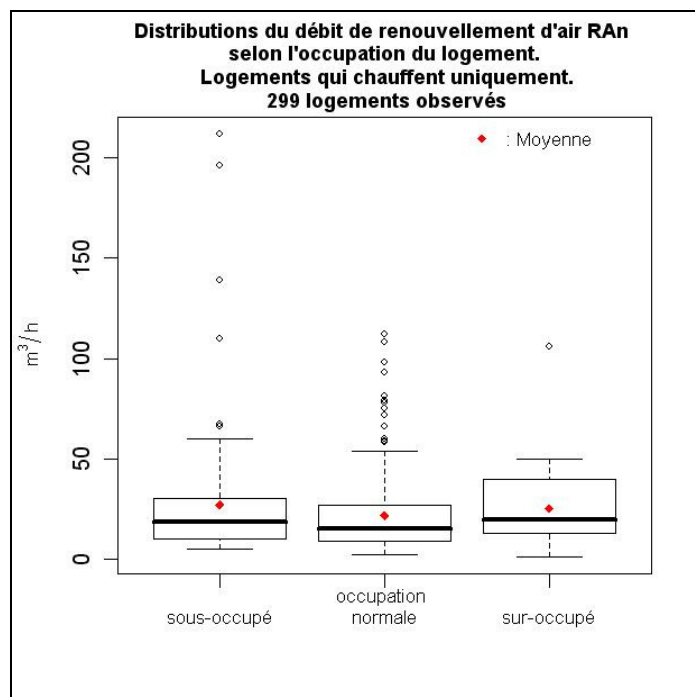


Figure 7-12 : Distributions observées du débit de renouvellement d'air RAn des logements chauffant pendant leur semaine d'enquête, en fonction du taux d'occupation des logements.

7.3 SYNTHÈSE

Les renouvellements d'air présentés ici sont des renouvellements d'air relatifs à la chambre dans laquelle la mesure de dioxyde de carbone a été réalisée. Le critère retenu correspond à un renouvellement nocturne, lors de la présence d'occupants émetteur de dioxyde de carbone. On parle ici de débit de renouvellement d'air nocturne équivalent en chambre des parents : il intègre l'entrée d'air neuf extérieur au logement et une dilution par apport d'air intérieur en provenance des pièces voisines. Si on se limite dans un premier temps à l'analyse descriptive du renouvellement d'air on peut retenir que :

- Il existe une grande hétérogénéité des niveaux de renouvellement d'air nocturne dans les chambres.
- Le débit RAn dépend de la perméabilité du logement, du système de ventilation, de l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit et des ouvertures de fenêtres dans cette même pièce.
- Le débit de renouvellement d'air nocturne médian de la chambre est de 18 m³/h à l'échelle du parc et la classe 10-20 m³/h est la classe modale représentant près d'un tiers du parc.
- Dans moins de 4% du parc de logements, le débit de renouvellement d'air nocturne de la chambre est inférieur à 5 m³/h ; en revanche, il est supérieur à 40 m³/h dans près de 20% du parc.
- Les débits de renouvellement d'air sont plus forts en période de chauffe que hors chauffe.
- Le premier test montre que les débits de renouvellement d'air dans la chambre ne sont pas significativement différents selon les systèmes de ventilation ; toutes situations de chauffage et d'ouverture de fenêtres confondues.
- Le second test montre que les débits de renouvellement d'air dans la chambre ne sont pas significativement différents selon les systèmes de ventilation ; ceci pour les logements en situation de chauffe et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit pendant la semaine d'enquête. Le résultat reste le même si l'on se restreint de façon supplémentaire aux situations de porte fermée.
- Les débits de renouvellement d'air sont plus faibles dans les logements récents.
- Les débits de renouvellement d'air ne sont pas significativement différents selon le taux d'occupation des logements.

Certains de ces résultats sont directement liés aux conditions d'aération de la chambre au moment de la mesure. Ces dernières sont étudiées dans le chapitre suivant.

8. OUVERTURES DES FENETRES

8.1 OUVERTURE DES FENETRES EN PERIODE DE CHAUFFAGE ET HORS PERIODE DE CHAUFFAGE

Il a été demandé aux occupants des logements enquêtés combien de temps **en général** les fenêtres de la cuisine, de la salle d'eau, du séjour, des chambres et des autres pièces étaient ouvertes en période de chauffage et hors saison de chauffage et ce quel que soit le moment de la journée (pas de distinction jour/nuit). Il ne s'agit pas ici du comportement précis de l'enquêté pendant la semaine d'étude.

Les différentes modalités étaient « rarement ou jamais », « moins d'une demi-heure par jour », « plus d'une demi-heure par jour ». Les Figure 8-1 et Figure 8-2 contiennent une barre supplémentaire « non concerné », elle indique la part des logements n'ayant pas la pièce en question ou n'ayant pas de menuiseries dans la pièce concernée. **A noter que 30.9% des logements ne peuvent pas aérer par ouverture de fenêtres leur salle de bain (salle d'eau) soit parce qu'ils n'ont pas de salle de bain (1.5%), soit parce que leur salle de bain n'ont pas d'ouvrant (29.4%).** Il faut donc prendre garde à l'interprétation, en effet si on ne considère que les logements ayant le moyen d'ouvrir en salle de bain, alors il y a 29.5% des logements qui aèrent plus d'une demi-heure par jour en période de chauffage et non plus 20.4%.

Nous pouvons voir l'impact net du chauffage sur le comportement à l'ouverture des fenêtres, **la majeure partie des logements déclare ouvrir plus d'une demi-heure par jour leurs pièces lorsqu'ils ne chauffent pas.**

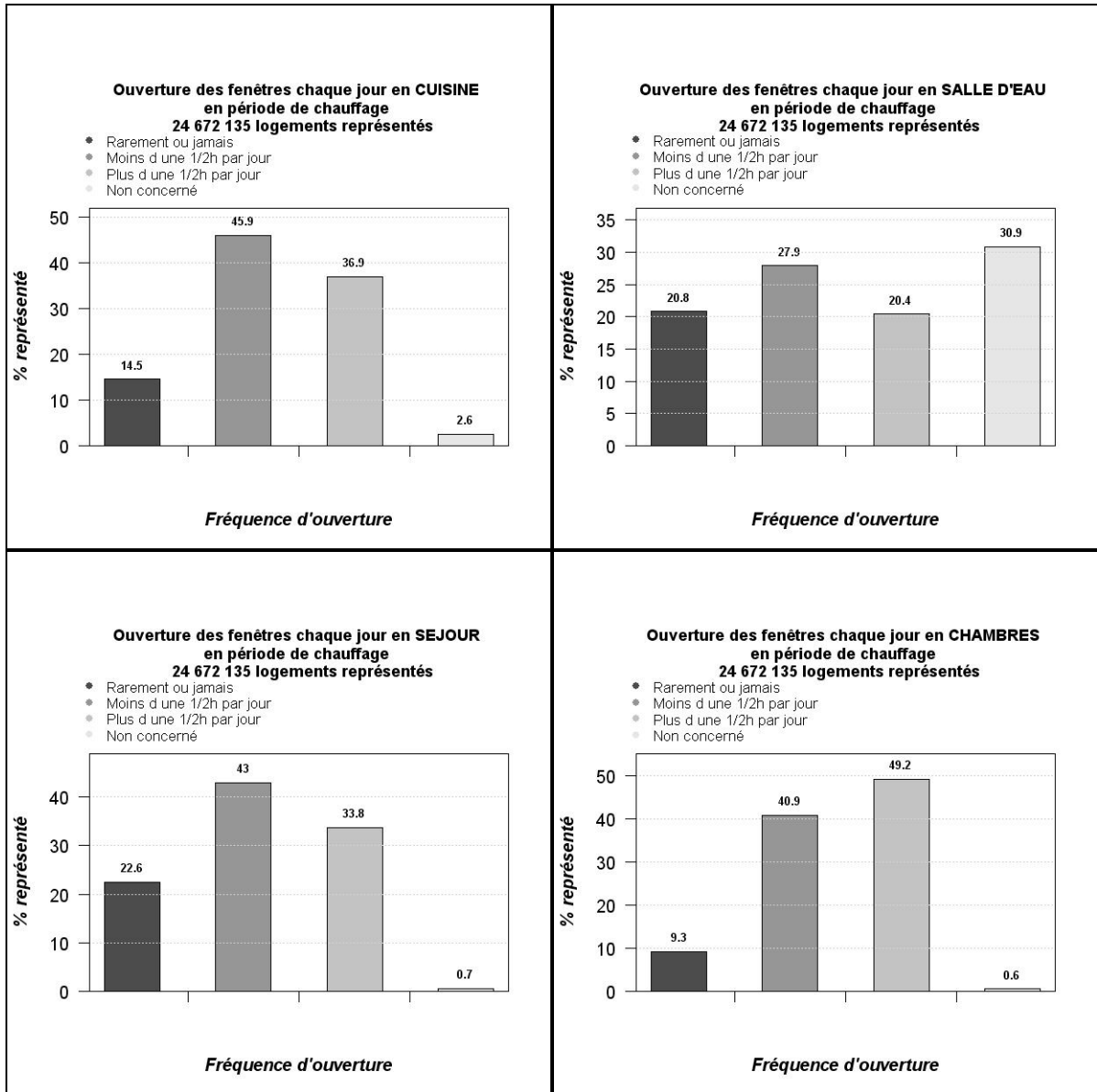


Figure 8-1 : Fréquences d'ouverture des fenêtres en période de chauffage des logements français par pièce.

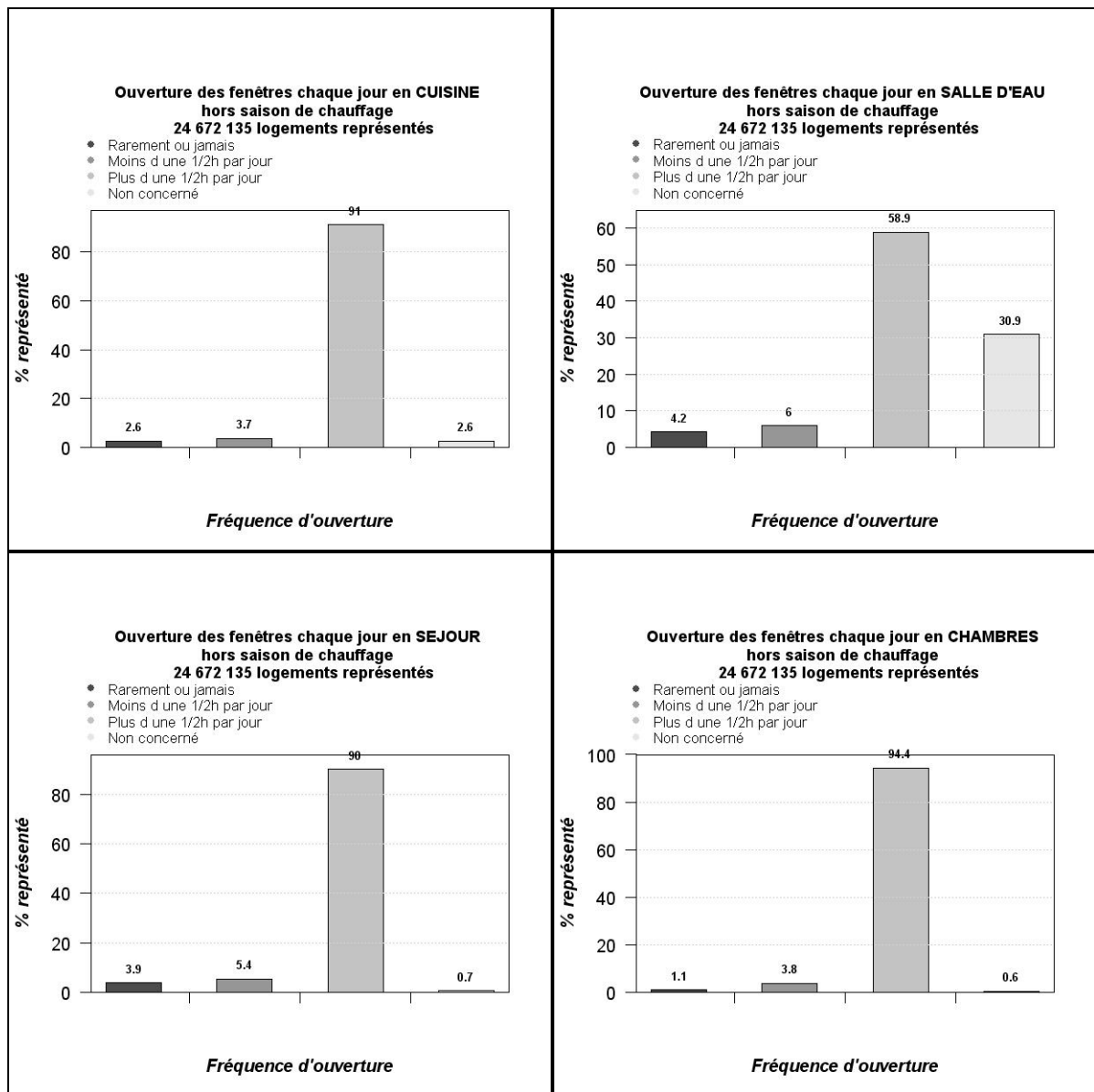


Figure 8-2 : Fréquences d'ouverture des fenêtres hors saison de chauffage des logements français par pièce.

8.2 OUVERTURE DES FENETRES PENDANT LA SEMAINE D'ENQUETE

Il est important de connaître l'aération du logement par ouverture de fenêtre pendant **la semaine d'enquête** car elle est étroitement liée au renouvellement d'air du logement et aux concentrations de polluants notamment.

Il a été demandé aux occupants des logements enquêtés combien de temps les fenêtres de la cuisine, de la salle d'eau, du séjour, des chambres et des autres pièces étaient ouvertes le jour et la nuit pendant la semaine d'enquête.

Il sera plus intéressant d'utiliser les informations données par les Figure 8-3 et Figure 8-4 avec les informations sur le renouvellement d'air ou sur la multipollution par exemple, plutôt que de les considérer de façon univariée.

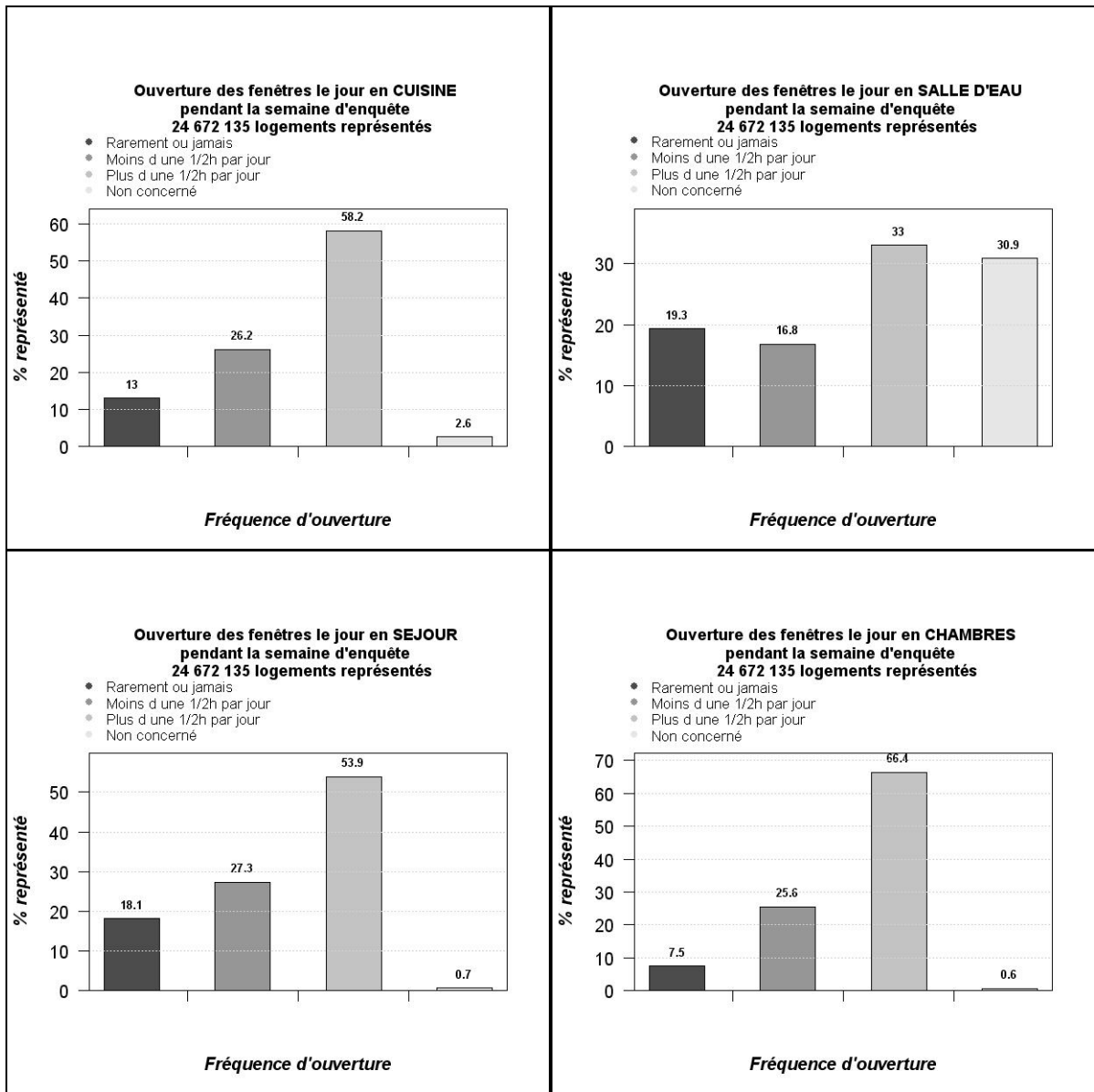


Figure 8-3 : Fréquences d'ouverture des fenêtres le jour pendant la semaine d'enquête par pièce.

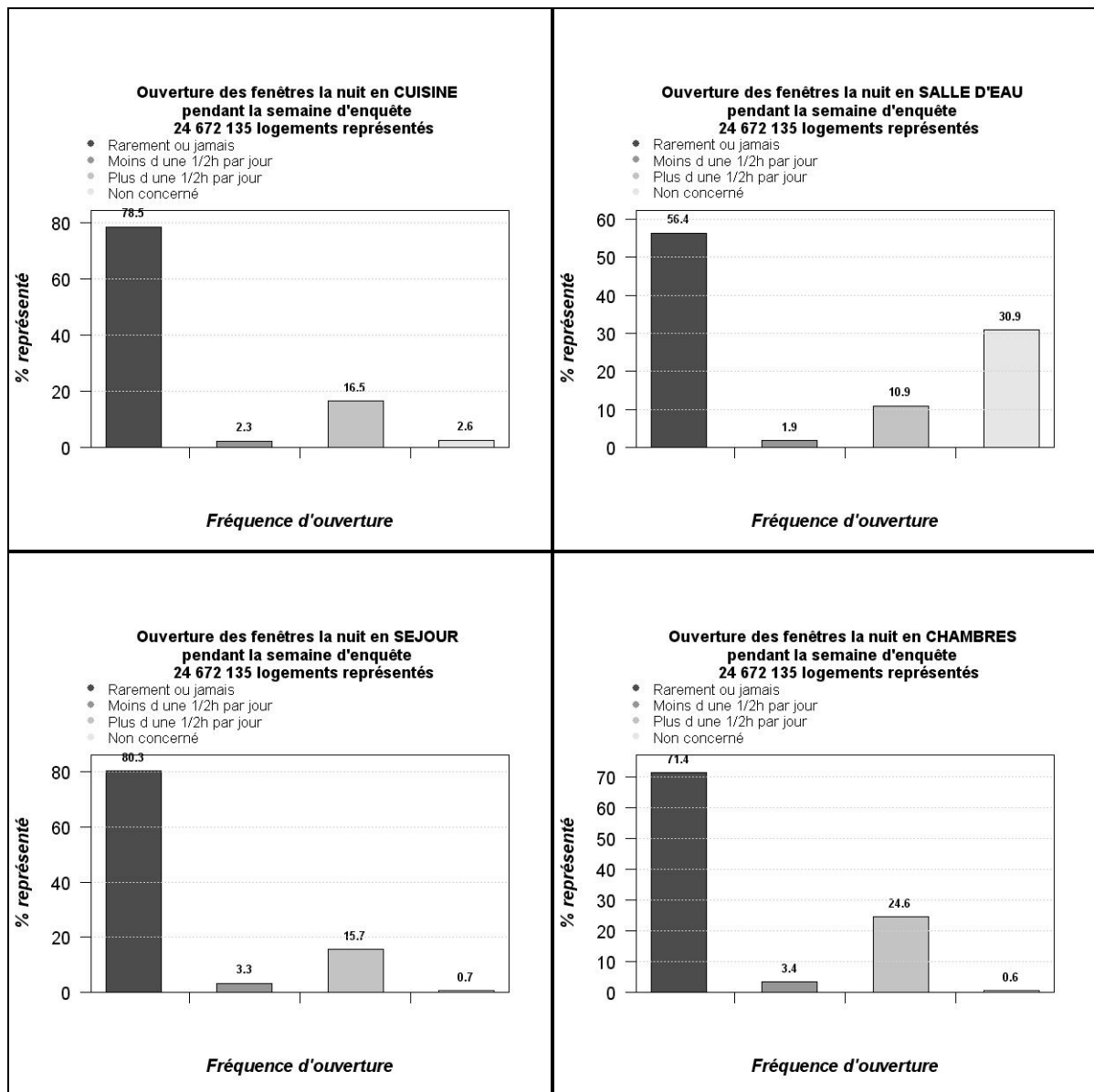


Figure 8-4 : Fréquences d'ouverture des fenêtres la nuit pendant la semaine d'enquête par pièce.

Les questionnaires de la campagne nationale Logements permettent de savoir si les occupants enquêtés chauffaient ou ne chauffaient pas leur logement pendant leur semaine d'enquête. Les Figure 8-5 et Figure 8-6 montrent des figures similaires aux deux précédentes mais en séparant les logements enquêtés qui étaient chauffés ou non pendant la semaine d'enquête. Il ne s'agit donc pas ici de période conventionnelle calendaire de chauffe ou d'hors chauffe mais de véritables situations de chauffage ou d'hors chauffage lors des périodes d'enquêtes.

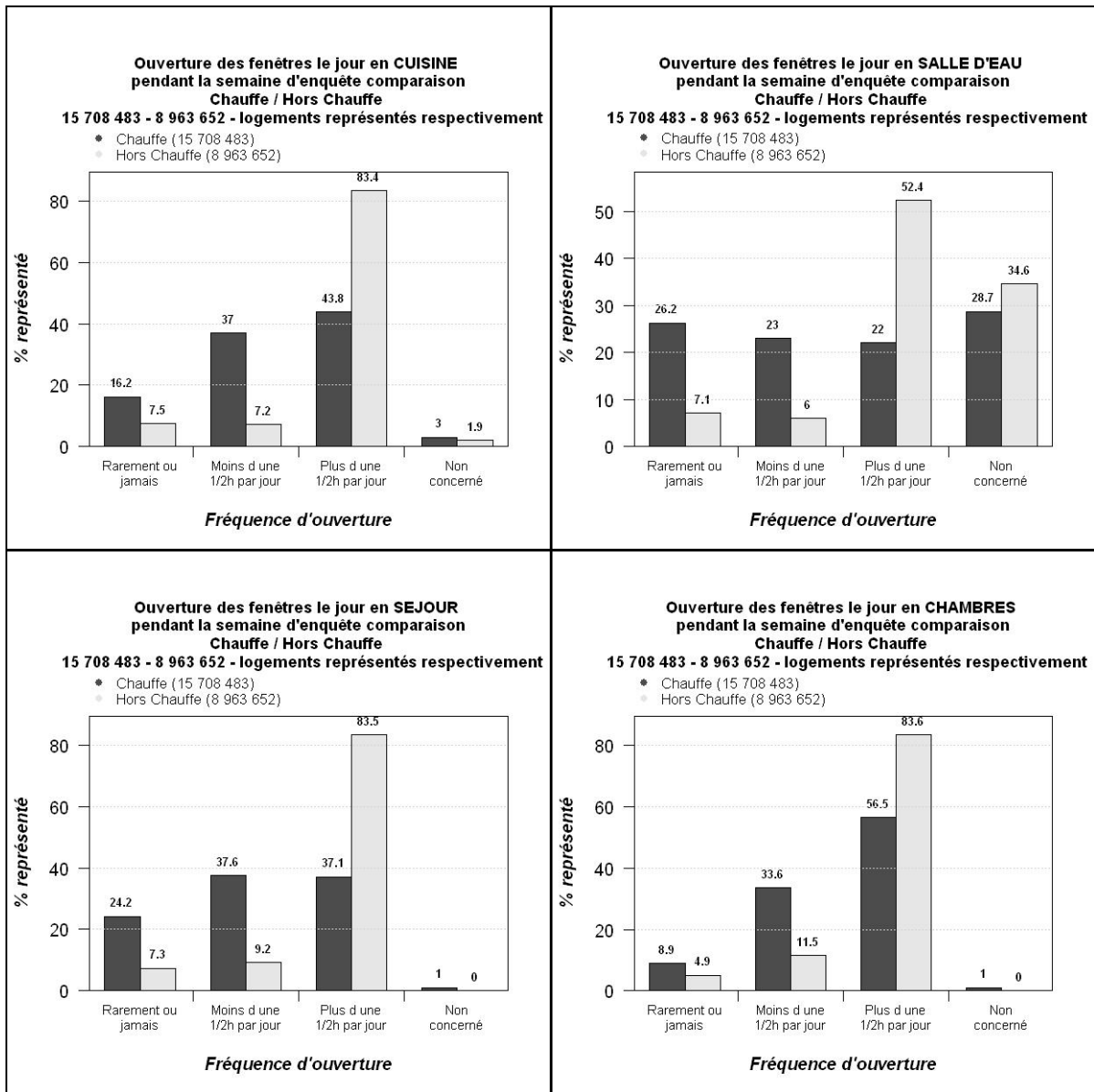
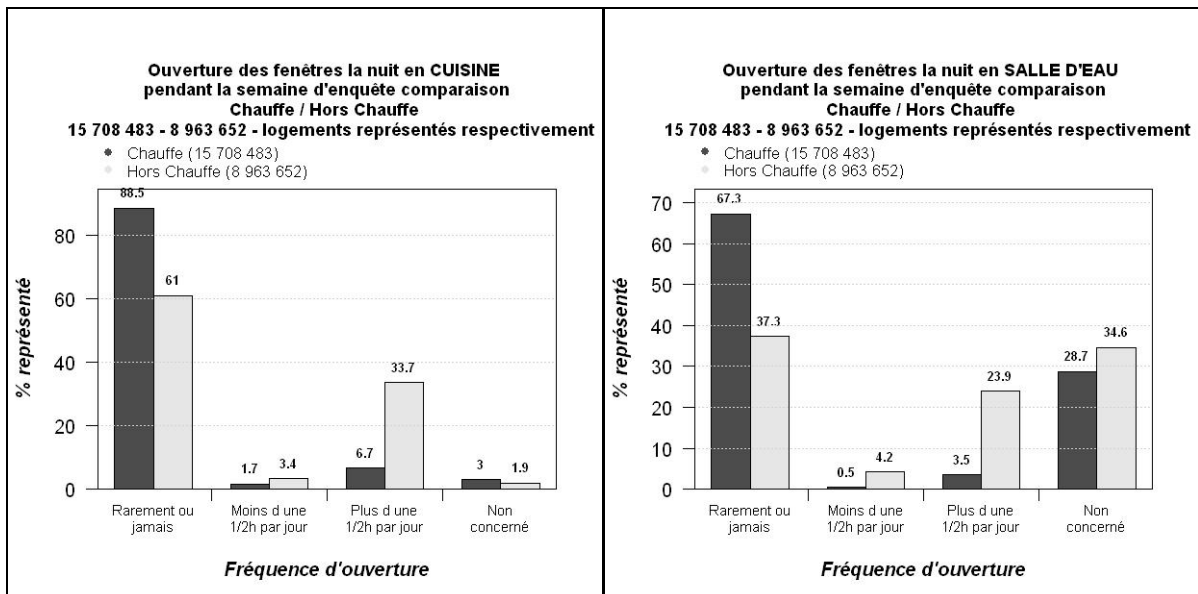


Figure 8-5 : Fréquences d'ouverture des fenêtres le jour pendant la semaine d'enquête par pièce en séparant les logements qui chauffaient ou pas pendant leur semaine d'enquête.



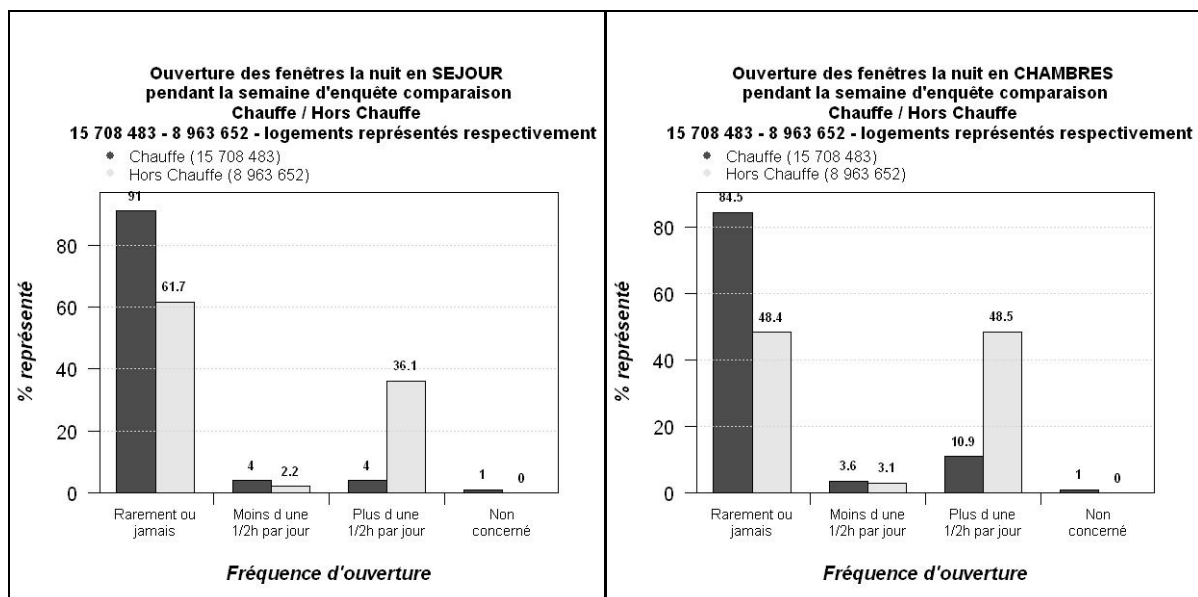


Figure 8-6 : Fréquences d'ouverture des fenêtres la nuit pendant la semaine d'enquête par pièce séparant les logements qui chauffaient ou pas pendant leur semaine d'enquête.

On peut rapprocher visuellement les « barres noires » de la Figure 8-5 des barres de la Figure 8-1 et les « barres claires » de la Figure 8-5 des barres de la Figure 8-2 pour voir si les personnes déclarent une même gestion des fenêtres pendant une période en général (chauffage ou hors chauffage) et pendant leur semaine d'enquête et donc une situation de chauffage ou d'hors chauffage avérée. Il est rassurant de voir que les proportions entre les figures sont voisines. Ce point est traité plus en détails dans le paragraphe suivant notamment à travers le Tableau 34.

8.3 OUVERTURE DES FENETRES ET SYSTEMES DE VENTILATION

Nous nous intéressons ici à la fréquence d'ouverture des fenêtres en chambres et au système de ventilation. La question principale est : « *Ouvre-t-on plus les fenêtres lorsque l'on n'a pas de système de ventilation ?* ».

Nous nous basons sur 2 modalités d'ouvertures « NON » et « OUI » correspondant à « rarement ou jamais » ou à « -1/2 heure par jour » pour la première et à « +1/2 heure par jour » pour la seconde dans le cadre des réponses aux questions du type « Ouvrez-vous les fenêtres... ». Pour les modalités relatives aux systèmes de ventilation et si l'on considère uniquement la question principale posée, on peut utiliser les 2 modalités « Sans système » et « Avec système », cette dernière regroupant les VMC, la ventilation naturelle et la ventilation partielle (cf. 4.1). Si on souhaite faire une analyse plus large, on peut considérer les 4 modalités de systèmes décrits en 4.1.

Il y a 4 variables dans les questionnaires de la campagne nationale Logements qui décrivent l'ouverture des fenêtres en chambres aux dires des occupants ; elles sont décrites dans les 2 paragraphes précédents. La solution la plus simple dans un premier temps est de ne pas faire de choix parmi ces 4 possibilités afin de répondre à la question principale. Si des différentes conclusions apparaissent, un choix devra être fait.

Les tables de contingence pour chacune des 4 variables sont présentées dans le Tableau 33. La colonne « p-value » donne la p-value du test du χ^2 testant l'hypothèse nulle « Les échantillons proviennent de la même population ».

| Ouvrez-vous en chambres : | SYSTÈME | NON | OUI | p-value |
|--------------------------------------|---------|-------------|-------------|---------|
| En période de chauffage | AVEC | 235 (52.2%) | 215 (47.8%) | 0.98 |
| En période de chauffage | SANS | 61 (52.1%) | 56 (47.9%) | |
| Hors période de chauffage | AVEC | 27 | 423 | 0.47 |
| Hors période de chauffage | SANS | 5 | 112 | |
| Le jour pendant la semaine d'enquête | AVEC | 157 | 293 | 0.22 |
| Le jour pendant la semaine d'enquête | SANS | 48 | 69 | |
| La nuit pendant la semaine d'enquête | AVEC | 352 | 98 | 0.28 |
| La nuit pendant la semaine d'enquête | SANS | 86 | 31 | |

Tableau 33 : Effectifs observés de logements en fonction de la présence d'un système de ventilation et en fonction de l'ouverture des fenêtres en chambres. Test du χ^2 . 567 logements.

La conclusion de chaque test est la même : nous ne rejetons pas l'hypothèse que les échantillons proviennent de la même population. En d'autres termes **le comportement à l'ouverture des fenêtres en chambre n'est pas lié au système de ventilation.**

Si on ne considère que la variable « le jour pendant la semaine d'enquête » et que l'on ne conserve que le sous-échantillon des 386 logements qui chauffent pendant cette même semaine, le test du χ^2 aboutit à la même conclusion (p-value = 0.34). Cependant il est intéressant de comparer les proportions de logements de ce sous-échantillon aux proportions des 2 premières lignes du Tableau 33. Ces chiffres ne sont pas rigoureusement comparables car d'une part un des échantillons est un sous-échantillon de l'autre, et d'autre part pour l'échantillon total il s'agit de répondre à une question relative à toute une période de chauffage, alors que pour le sous-échantillon il s'agit de répondre à une question relative à une semaine de chauffage. Néanmoins il est raisonnable de penser que ces chiffres ne devraient pas être trop éloignés car les situations sont proches. On constate avec le Tableau 34 que les proportions ne sont pas très différentes de celles du tableau précédent, ce qui montre notamment une cohérence dans les données exploitées. Cependant ces faibles différences n'empêchent pas d'affecter de manière substantielle la statistique du χ^2 , la conclusion pour le sous-échantillon est alors moins catégorique que pour l'échantillon observé total.

| Ouvrez-vous en chambres : | SYSTÈME | NON | OUI | p-value |
|--|---------|-------------|-------------|---------|
| Le jour pendant la semaine d'enquête <i>(Logements en chauffe uniquement)</i> | AVEC | 135 (44.1%) | 171 (55.2%) | 0.34 |
| Le jour pendant la semaine d'enquête <i>(Logements en chauffe uniquement)</i> | SANS | 40 (50%) | 40 (50%) | |

Tableau 34 : Table de contingence sur le sous-échantillon de logements chauffant pendant la semaine d'enquête. 386 logements observés.

Si on considère les 4 systèmes de ventilation au lieu de « Avec » et « Sans », et que l'on teste l'hypothèse « Les échantillons proviennent de la même population », on obtient des résultats analogues et donc la même conclusion sur l'ouverture de fenêtres et les systèmes de ventilation.

8.4 OUVERTURE DE LA PORTE ET SYSTEMES DE VENTILATION

Le comportement à l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête selon les systèmes de ventilation est étudié. La table de contingence relative est le Tableau 35.

| SYSTÈME | Fermée | Ouverte ou entrebâillée |
|------------------------------------|--------|-------------------------|
| Aucun dispositif | 38 | 79 |
| Moteurs ventilateurs ds qqs pièces | 21 | 31 |
| VMC | 83 | 128 |
| Vnat | 53 | 134 |

Tableau 35 : Effectifs de logements observés par systèmes de ventilation et selon le comportement à l'ouverture de la porte la nuit de la chambre expérimentée pendant la semaine d'enquête. 567 logements observés.

Le test de l'hypothèse nulle « Les échantillons proviennent de la même population » donne une distance du χ^2 valant 6.33, 3 degrés de liberté et une p-value égale à 0.0963. Nous ne rejetons donc pas au seuil 5% l'hypothèse

nulle. En d'autres termes le comportement à l'ouverture de la porte la nuit n'est pas lié au système de ventilation sur les 567 logements observés.

8.5 COMBINAISON D'OUVERTURE PORTE/FENETRE ET SYSTEMES DE VENTILATION

Il s'agit de regarder les effets du système de ventilation sur les combinaisons d'ouverture porte et fenêtre la nuit dans la chambre pendant la semaine d'enquête. A la vue des résultats des deux précédents paragraphes, un résultat différent n'est pas attendu. Les effectifs sont présentés dans le Tableau 36.

| SYSTÈME | Porte fermée et fenêtre fermée | Porte fermée et fenêtre ouverte | Porte ouverte et fenêtre fermée | Porte ouverte et fenêtre ouverte |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Aucun dispositif | 29 | 9 | 57 | 22 |
| Moteurs ventilateurs ds qqs pièces | 17 | 4 | 23 | 8 |
| VMC | 65 | 18 | 101 | 27 |
| Vnat | 41 | 12 | 105 | 29 |

Tableau 36 : Effectifs de logements observés par systèmes de ventilation et selon le comportement à l'ouverture de la porte et des fenêtres la nuit en chambre expérimentée pendant la semaine d'enquête. 567 logements observés.

Le test du χ^2 est loin d'être significatif ($d2 = 8.13$, $ddl = 9$, $p\text{-value} = 0.52$) : l'hypothèse d'homogénéité des échantillons n'est pas rejetée.

8.6 OUVERTURE ET RENOUELEMENT D'AIR NOCTURNE DE LA CHAMBRE

8.6.1 Ouverture des fenêtres en chambres

Les débits de renouvellement d'air sur critère RAn ont été mis au regard des réponses à l'ouverture des fenêtres la nuit pendant la semaine d'enquête en chambres. De plus ces débits ont été mis au regard de l'information sur l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête. Des analyses de variances ont été effectuées pour voir si les débits sont significativement différents selon la fréquence d'ouverture. L'objectif est d'observer l'impact sur le renouvellement d'air par l'ouverture de porte ou de fenêtre. Le Tableau 37 présente les distributions des débits sur l'échantillon redressé alors que la Figure 8-7 présente graphiquement les distributions sur l'échantillon observé.

| Fréquence Ouverture | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|---------------------------|------------------|------------------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|---------------------|
| Moins d une 1/2h par jour | 14 | 14.6 | 14.6 | 3 | 6 | 6 | 8 | 17 | 45 | 51 | 51 | 690 418 |
| Plus d une 1/2h par jour | 107 | 41.9 | 40.2 | 3 | 11 | 16 | 28 | 49 | 100 | 123 | 210 | 4 880 514 |
| Rarement ou jamais | 326 | 22.9 | 21.9 | 1 | 7 | 9 | 17 | 28 | 42 | 60 | 212 | 13 740 119 |

Tableau 37 : Distributions représentées des débits RAn par groupe de fréquence d'ouverture de fenêtre en chambres la nuit.

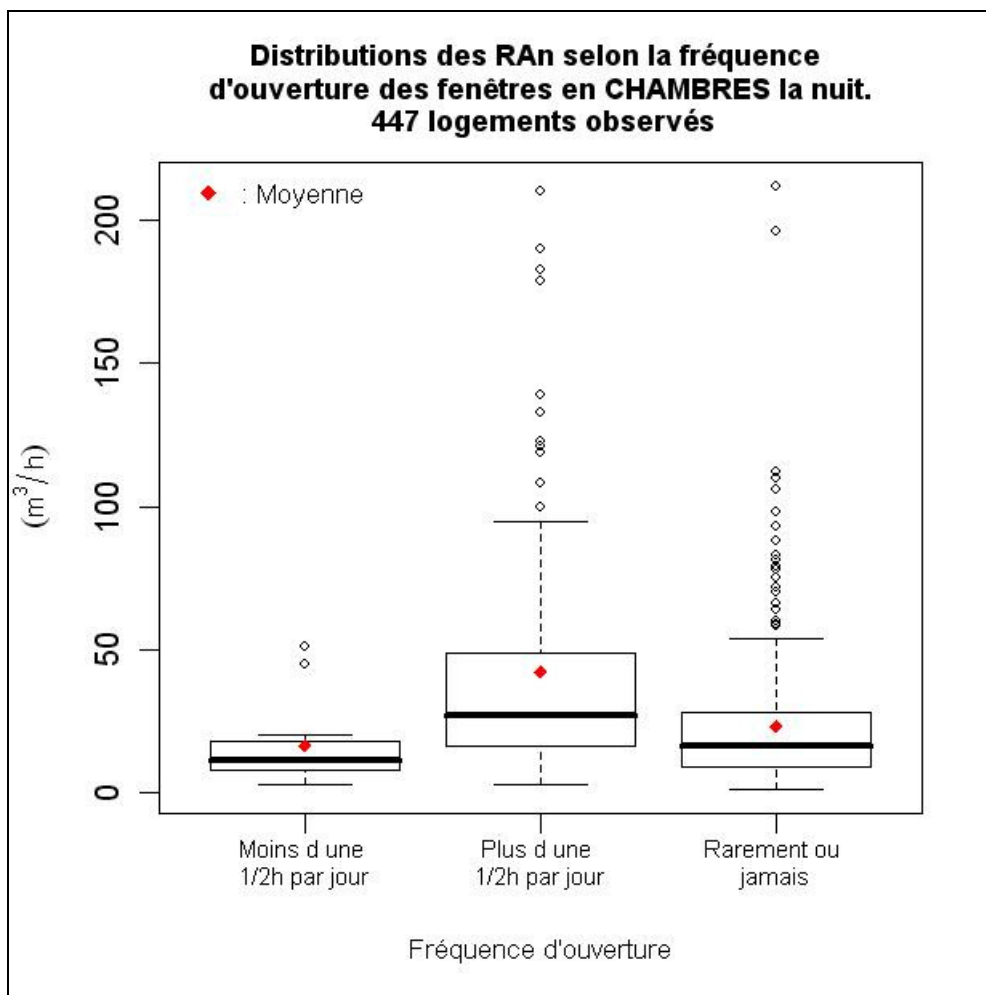


Figure 8-7 : Distributions observée des débits RAn selon la fréquence d'ouverture des fenêtres en chambres la nuit.

Les boîtes à moustaches (Figure 8-7) ou la distribution numérique des RAn (Tableau 37) ont tendance à montrer que la classe « + 1/2h / jour » a une distribution décalée vers de plus forte valeur que les autres classes. La classe « rarement ou jamais » a des RAn qui semblent plus forts que ceux de la classe « moins d'une 1/2h / jour », ce qui n'est à priori pas très logique mais on va voir que ces deux classes peuvent être confondues.

Les distributions observées des débits RAn n'étant pas Gaussiennes (Figure 8-8) un test de Kruskal-Wallis a été effectué. Les résultats de ce test indiquent un rejet de l'hypothèse que les 3 échantillons viennent tous de la même population au seuil 5% (statistique de KW = 33.81, ddl = 2, p-value=4.55.10⁻⁸). Pour connaître où se situent les différences, une comparaison multiple a été faite. Elle montre des différences significatives entre les paires « (+ 1/2h / jour) x (rarement ou jamais) » et « (+ 1/2h / jour) x (-1/2h / jour) » ; il n'y a pas de différence significative pour l'autre paire, on peut alors conjecturer que les RAn des classes « rarement ou jamais » et « -1/2h / jour » appartiendraient à la même distribution ; les personnes interrogées auraient donc répondu l'une ou l'autre pour exprimer plus ou moins la même chose. Ceci va nous permettre de considérer 2 modalités de réponse au lieu de 3, à savoir fenêtres « ouvertes » et « fermées ».

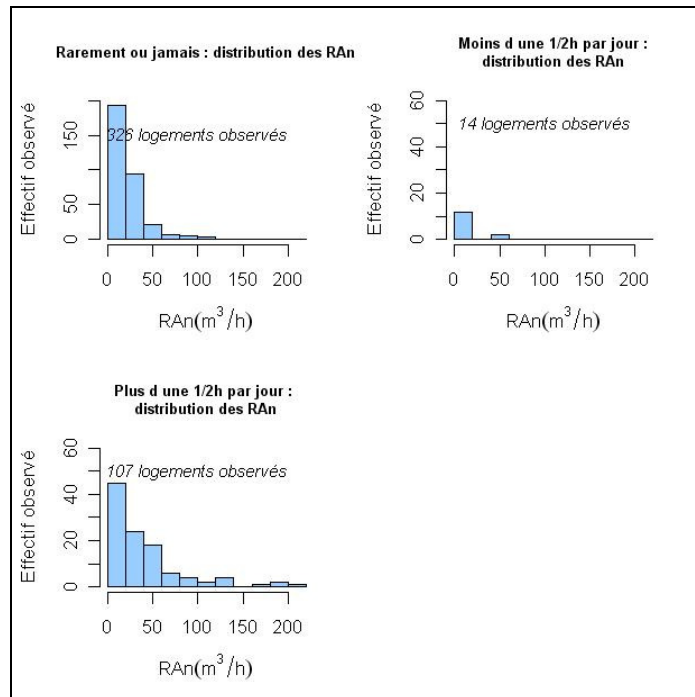


Figure 8-8 : Formes des distributions observées des débits par fréquence d’ouverture de fenêtres en chambre la nuit pendant la semaine d’enquête.

8.6.2 Ouverture de la porte de la chambre la nuit

L’effet de l’ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit sur les débits RAn est analysée. La Figure 8-9 montre que lorsque la porte est ouverte ou entrebâillée les débits entre 20 et 40 m³/h sont presque en double proportion par rapport à ceux en porte fermée. De même pour les débits les plus forts (≥ 40 m³/h) la proportion avec la porte fermée est 5 fois moins importante qu’avec la porte ouverte. Plus généralement, les classes à plus fortes fréquences en situation de porte ouverte se situent vers les plus forts débits, et les classes à plus fortes fréquences en situation de porte fermée se situent vers les plus faibles débits.

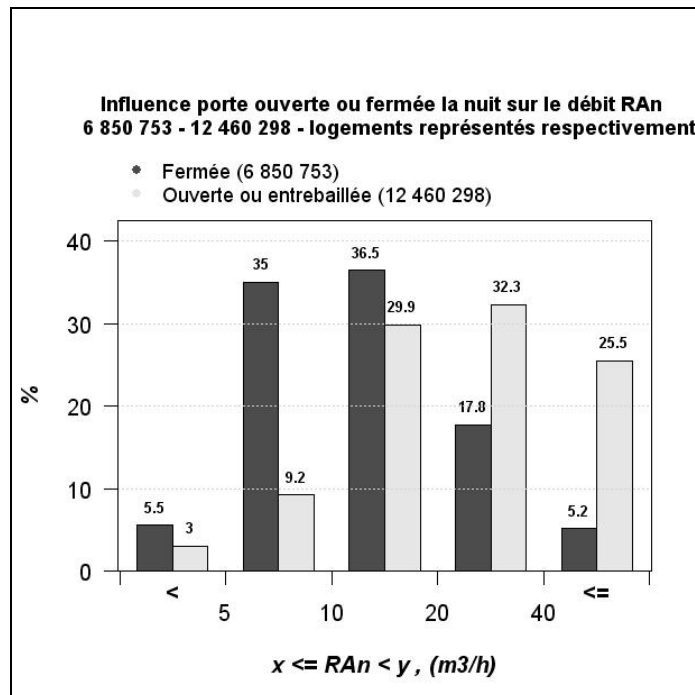


Figure 8-9 : Distributions comparées des RAn en porte fermée et ouverte.

Si on réalise un test de Wilcoxon (ou de manière équivalente de Kruskal-Wallis) pour tester l’hypothèse que les échantillons proviennent de la même population contre le fait que les débits de renouvellement d’air en porte

ouverte sont plus grands qu'en porte fermée, on obtient un résultat très significatif ($W=25740.5$, $p\text{-value}=1.68.10^{-15}$). On rejette donc l'hypothèse d'homogénéité.

8.6.3 Combinaison d'ouvertures porte/fenêtre

Quatre modalités sont construites à partir des 4 situations possibles de porte et fenêtre ouvertes et/ou fermées dans la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête.

Les boîtes à moustaches sur l'échantillon observé (Figure 8-10) ou la distribution numérique (Tableau 38) des RAn a tendance à montrer que la classe « Porte ouverte et fenêtre ouverte » a une distribution décalée vers de plus forte valeur que les autres classes.

Une analyse de variance montre que l'hypothèse que les 4 échantillons proviennent tous de la même population est rejetée au seuil 5% (statistique de KW = 89.26, ddl = 3, $p\text{-value}=3.16.10^{-19}$). La comparaison multiple montre des différences significatives entre toutes les paires sauf pour la paire « Porte fermée et fenêtre ouverte x Porte ouverte et fenêtre fermée ». L'ouverture de la fenêtre ou celle de la porte (de façon exclusive) auraient le même impact sur le débit de renouvellement d'air.

| Combinaison Porte-fenêtre | Effectif observé | Moyenne pondérée | Écart type | MIN | P_10 | P_25 | P_50 | P_75 | P_90 | P_95 | MAX | Effectif représenté |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|----------------------------|
| Porte fermée et fenêtre fermée | 128 | 13.6 | 9.4 | 2 | 5 | 7 | 10 | 16 | 28 | 32 | 58 | 5 462 835 |
| Porte fermée et fenêtre ouverte | 33 | 32.4 | 39.2 | 4 | 6 | 14 | 18 | 27 | 100 | 121 | 190 | 1 387 919 |
| Porte ouverte et fenêtre fermée | 212 | 28 | 25 | 1 | 7 | 14 | 21 | 34 | 58 | 81 | 212 | 8 967 703 |
| Porte ouverte et fenêtre ouverte | 74 | 45.7 | 40 | 3 | 13 | 19 | 33 | 52 | 95 | 123 | 210 | 3 492 595 |

Tableau 38 : Distributions représentées des débits RAn par combinaison d'ouverture porte/fenêtre.

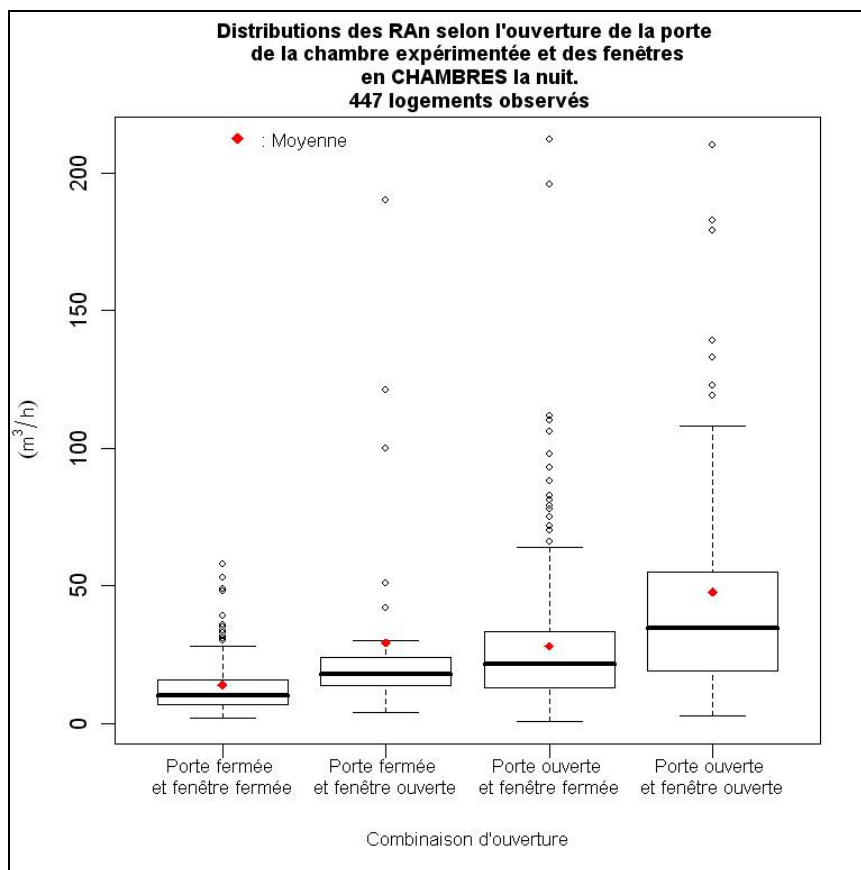


Figure 8-10 : Distributions observées des débits RAn selon les combinaisons d'ouverture de porte et fenêtre.

8.7 SYNTHÈSE

Des informations relatives à l'aération par ouvertures de fenêtres, on peut retenir que :

- L'absence de salles de bains ou d'ouvrants en salles de bains concerne une part importante du parc.
- Les comportements à l'ouverture des fenêtres sont différents selon les situations de chauffe du logement.
- Le comportement à l'ouverture des fenêtres en chambre n'est pas lié au système de ventilation.
- Le comportement à l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête n'est pas lié au système de ventilation.
- Les combinaisons d'ouverture des fenêtres et de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête ne sont pas liées au système de ventilation.
- Les débits de renouvellement d'air sont significativement différents selon que la fenêtre est fermée ou ouverte la nuit en chambre.
- Les forts débits de renouvellement d'air se retrouvent en plus forte proportion pour les situations correspondant à la porte ouverte de la chambre expérimentée.
- On constate un impact supplémentaire de la situation d'ouverture de la porte et de la fenêtre sur les débits de renouvellement d'air nocturne.

9. CONCLUSIONS

L'objectif de la présente étude était de disposer, à l'échelle nationale, d'un état descriptif le plus complet possible de la ventilation dans les logements. Ce travail a été réalisé à partir des données recueillies dans le cadre de la campagne nationale Logements menée en 2003-2005 par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Les principales observations montrent :

Concernant la typologie des systèmes de ventilation dans les logements français :

- La moitié du parc de logements a été construite avant 1967, donc avant les réglementations sur l'aération des logements instaurant le principe de la ventilation générale et permanente.
- La ventilation mécanique contrôlée et la ventilation naturelle équipent près de 70 % des logements à elles deux.
- La ventilation naturelle équipe des logements anciens et/ou réhabilités contrairement à la VMC. Depuis 1990, la ventilation naturelle a quasiment disparu des constructions neuves de logements.
- Les logements collectifs sont équipés en majeure partie par de la ventilation naturelle, alors que la VMC équipe les logements individuels en plus grande partie.
- Les logements construits après 1990 et équipés de VMC constituent la classe la plus fréquente dans le parc selon les classes d'âges de fin de construction données par la variable relative.
- Parmi les logements construits après 1990, près de 12 % d'entre eux ne disposent d'aucun système de ventilation ou sont ventilés par ventilation partielle (moteurs de ventilateurs dans quelques pièces) et ne sont donc pas réglementaires. Parmi les logements construits dans les périodes 1975-1981 et 1982 – 1989, 18 % d'entre eux (~15.8% individuel + 2.2 % collectif) ne respectent pas le principe de la ventilation générale et permanente.
5,5 % du parc concernent des logements construits après 1974, sans dispositif de ventilation ou munis de moteurs de ventilateurs (ventilation partielle), qui ne sont donc pas conformes aux réglementations de 1969 et 1982 qui préconisent l'obligation de système spécifique de ventilation (naturelle par conduits ou mécanique).

Concernant les débits d'air extraits aux bouches :

L'étude des débits d'air extrait aux bouches VMC permet de retenir que :

- La comparaison à des valeurs de référence doit être considérée différemment selon la période de construction et la disponibilité des références réglementaires : seuls les logements construits après 1982 ont une réglementation en vigueur exprimant des débits à respecter en m^3/h ; la comparaison à des valeurs de référence pour les autres périodes de construction ne doit être utilisée qu'à titre d'information.
- Dans les logements équipés de ventilation mécanique contrôlée, les débits d'air extraits mesurés présentent une importante dispersion d'un logement à l'autre.
- Les classes modales sont respectivement pour les débits réduits, les débits de pointe et les débits moyens en cuisine 40-50 m^3/h , 60-70 m^3/h et 40-50 m^3/h .
- Les classes modales des débits en salle de bain et en WC sont 20-30 m^3/h et 10-20 m^3/h respectivement.
- En cuisine, 46.2% des débits réduits mesurés ne respectent pas la valeur de référence. Les débits de pointe ne sont supérieurs à la référence que pour 16.4% des débits mesurés et les débits moyens sont supérieurs à la valeur de référence pour 47% des mesures.
- 36.5% des débits mesurés en salle de bain peuvent atteindre les seuils de référence. 38.4% des débits mesurés en WC respectent la valeur de référence.
- Dans les 104 logements mesurés, 55.8% des débits en « total minimal » sont strictement inférieurs à la référence et 56.7% pour les débits en « total moyen ».
- Parmi les logements dont le débit minimal mesuré est inférieur au débit de référence, on ne note pas de différence significative entre l'habitat individuel et l'habitat collectif.

- Pour les logements munis de VMC dont la fin de construction se situe entre 1969 et 1982 : 76.9% des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total minimal observé et 80.7% des ratios sont strictement inférieurs à 0.85 pour le débit total moyen observé (sous-échantillon de 26 logements).
- Pour les logements munis de VMC dont la fin de construction se situe à partir de 1982 : 49.1% des ratios indiquent un débit total minimal non réglementaire et 49.2% pour le débit moyen observé (sous-échantillon de 55 logements).
- On conclut à une amélioration significative des débits totaux observés entre les 2 périodes de construction (1969-1982 et après 1982) au regard des valeurs de référence choisies respectivement.
- Pour les logements réhabilités en VMC dont la fin de construction se situe avant 1969 : 47.7 % (resp. 47.8 %) des ratios du débit total minimal (resp. moyen) correspondent à des débits observés strictement inférieurs à la référence.
- On conclut que les logements réhabilités et les logements construits à partir de 1982 respectent (ou ne respectent pas) dans le même ordre de grandeur les débits conformes de l'arrêté de mars 1982. En revanche, on conclut à une différence significative au seuil $\alpha = 0.05$ des proportions de débits strictement inférieurs au débit de référence entre les débits totaux (minimal et moyen) mesurés dans les logements réhabilités en VMC et les logements achevés entre 1969 et 1982.
- Une part des débits non réglementaires après 1982 peut être relativisée par la présence (non quantifiable) de bouches hygroréglables.

L'étude limitée des débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduits permet de retenir que :

- Beaucoup de débits mesurés sont nuls ou n'ont pu être mesurés, mais il convient de rappeler qu'une mesure ponctuelle en ventilation naturelle ne permet pas de statuer sur le respect de la réglementation.
- Il est difficile de typifier un système de ventilation, notamment naturel.
- Sur la base des mesures disponibles, les débits de ventilation naturelle sont dispersés et respectent peu les débits de référence.
- Seule une campagne dédiée à la ventilation naturelle permettrait de juger de l'efficacité d'un système de ventilation naturelle à partir de la réglementation en vigueur, les données de la campagne nationale Logements ne le permettant pas. En effet, la campagne nationale Logements n'avait pas pour objectif une analyse détaillée de la ventilation des logements : une telle étude aurait nécessité une méthode de choix des logements à enquêter très différente et un protocole de mesures spécifique.
- Le fait d'obtenir un constat plus exhaustif sur l'état descriptif des débits en VMC, que sur les débits en ventilation naturelle, est dû uniquement aux données disponibles elles-mêmes ; il ne s'agit en aucun cas de privilégier la description d'un système de ventilation plutôt qu'un autre dans le parc de logements français métropolitains.

Concernant l'état des bouches d'amenées et de sorties d'air :

- 86.7 % des bouches d'amenée d'air des logements enquêtés sont en bon état, 90.9% des bouches d'amenées d'air pour les logements munis de VMC le sont et 81.4 % pour les logements munis de ventilation naturelle par conduit ou par grilles hautes et basses.
- 85 % des bouches d'extraction d'air vicié des logements enquêtés sont en bon état, 86.1% des bouches d'extraction pour les logements munis de VMC le sont, 81.2 % des bouches pour les logements munis de ventilation naturelle par conduit ou par grilles hautes et basses le sont, et 77.6 % des bouches des logements munis de ventilation naturelle par conduit le sont.
- Plus de 70 % des débits d'air extraits minimaux strictement inférieurs à la valeur de référence au niveau du logement pourraient être en partie expliqués par le fait d'avoir au moins une bouche d'extraction qui n'est pas en bon état, par le fait qu'il manque des bouches d'extractions dans certaines pièces de service, par le fait que le groupe VMC est arrêté totalement.

Concernant le renouvellement d'air nocturne équivalent dans les chambres :

- Il existe une grande hétérogénéité des niveaux de renouvellement d'air nocturne dans les chambres.

- Le débit RAn dépend de la perméabilité du logement, du système de ventilation, de l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit et des ouvertures de fenêtres dans cette même pièce.
- Le débit de renouvellement d'air nocturne médian de la chambre est de 18 m³/h à l'échelle du parc et la classe 10-20 m³/h est la classe modale représentant près d'un tiers du parc.
- Dans moins de 4% du parc de logements, le débit de renouvellement d'air nocturne de la chambre est inférieur à 5 m³/h ; en revanche, il est supérieur à 40 m³/h dans près de 20% du parc.
- Les débits de renouvellement d'air sont plus forts en période de chauffe que hors chauffe.
- Le premier test montre que les débits de renouvellement d'air dans la chambre ne sont pas significativement différents selon les systèmes de ventilation ; toutes situations de chauffage et d'ouverture de fenêtres confondues.
- Le second test montre que les débits de renouvellement d'air dans la chambre ne sont pas significativement différents selon les systèmes de ventilation ; ceci pour les logements en situation de chauffe et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit pendant la semaine d'enquête. Le résultat reste le même si l'on se restreint de façon supplémentaire aux situations de porte fermée.
- Les débits de renouvellement d'air sont plus faibles dans les logements récents.
- Les débits de renouvellement d'air ne sont pas significativement différents selon le taux d'occupation des logements.

Concernant l'aération par ouverture des fenêtres :

- L'absence de salles de bains ou d'ouvrants en salles de bains concerne une part importante du parc.
- Les comportements à l'ouverture des fenêtres sont différents selon les situations de chauffe du logement.
- Le comportement à l'ouverture des fenêtres en chambre n'est pas lié au système de ventilation.
- Le comportement à l'ouverture de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête n'est pas lié au système de ventilation.
- Les combinaisons d'ouverture des fenêtres et de la porte de la chambre expérimentée la nuit pendant la semaine d'enquête ne sont pas liées au système de ventilation.
- Les débits de renouvellement d'air sont significativement différents selon que la fenêtre est fermée ou ouverte la nuit en chambre.
- Les forts débits de renouvellement d'air se retrouvent en plus forte proportion pour les situations correspondant à la porte ouverte de la chambre expérimentée.
- On constate un impact supplémentaire de la situation d'ouverture de la porte et de la fenêtre sur les débits de renouvellement d'air nocturne.

ANNEXES

ANNEXE 1 : TERMINOLOGIES ET DESCRIPTIFS DES DIFFERENTS SYSTEMES DE VENTILATION CONSIDERES DANS LA CAMPAGNE NATIONALE LOGEMENTS

La ventilation naturelle (Vnat) (figures 1, 2, 3) considère dans notre étude les logements munis, pour au moins une de leurs pièces, de débouchés de sortie d'air par orifice en façade en partie haute (figure 1) ou de conduits d'extraction individuels ou collectifs (figure 2). Par opposition à aucun système particulier recensant dans la campagne nationale Logements les logements qui ne peuvent aérer leur intérieur que par ouverture des fenêtres et par les défauts d'étanchéité.

La VMC (figures 4 et 5) consiste en un système permanent de ventilation à partir d'un groupe électrique qui extrait l'air dans les pièces de service, induisant par dépression l'arrivée d'air neuf à travers des bouches d'entrée d'air installées dans les pièces de vie (VMC simple flux – figure 4). L'arrivée d'air neuf peut être aussi fait par soufflage dans les pièces de vie (figure 5), on parle alors de VMC double flux.

Les moteurs de ventilateurs placés dans quelques pièces (figure 6) constituent une ventilation mécanique localisée non permanente.

Figure 1 : Orifice en façade

On distingue :

- sur le pignon, la grille de ventilation haute
- sous la fenêtre, la grille de ventilation basse.

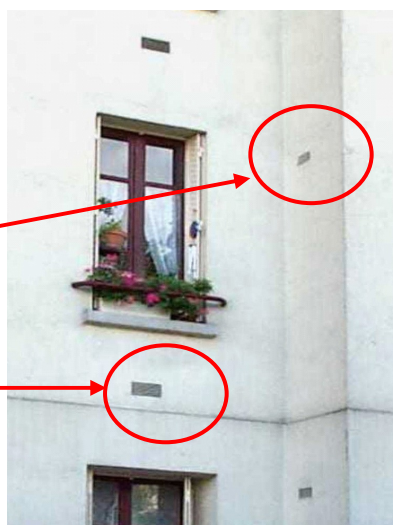


Figure 2 : Conduit individuel ou collectif visible sur le toit (voir détails figure 3).



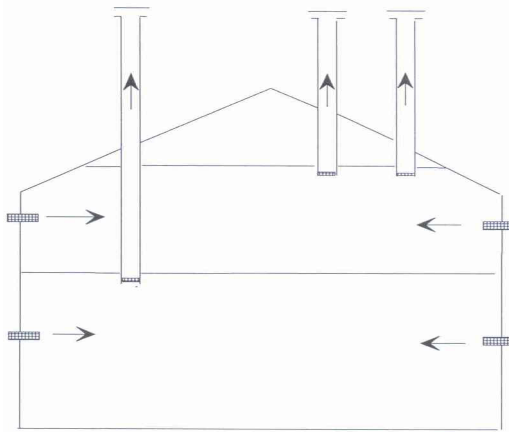
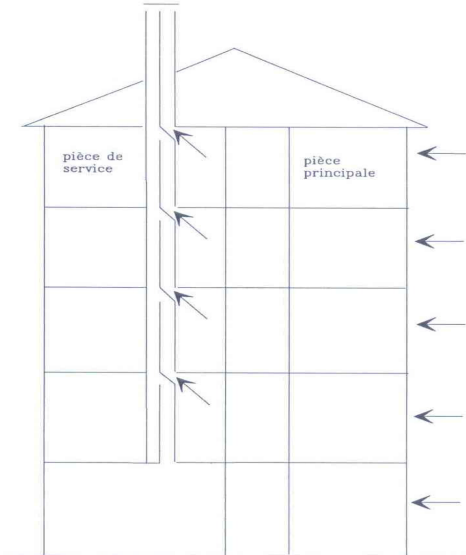
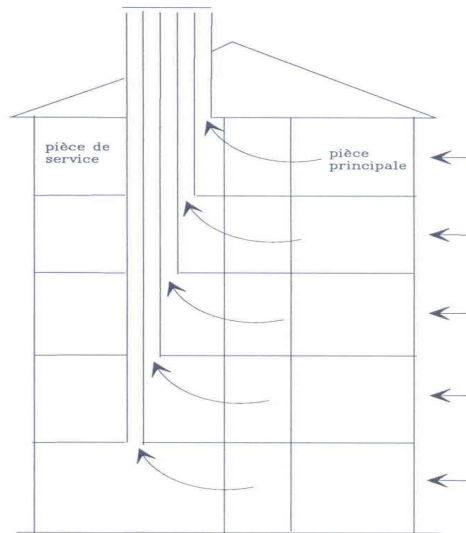


Figure 3 : Ventilation par conduits à tirage naturel, détails des types de conduits.

- De haut en bas :
- En habitat individuel
 - En habitat collectif, conduits individuels.
 - En habitat collectif, conduit shunt.



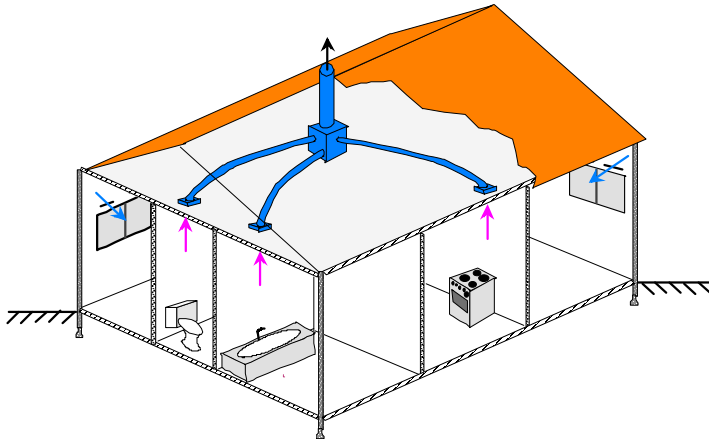


Figure 4a : Principe de la Ventilation Mécanique et Contrôlée simple flux dans une maison individuelle.

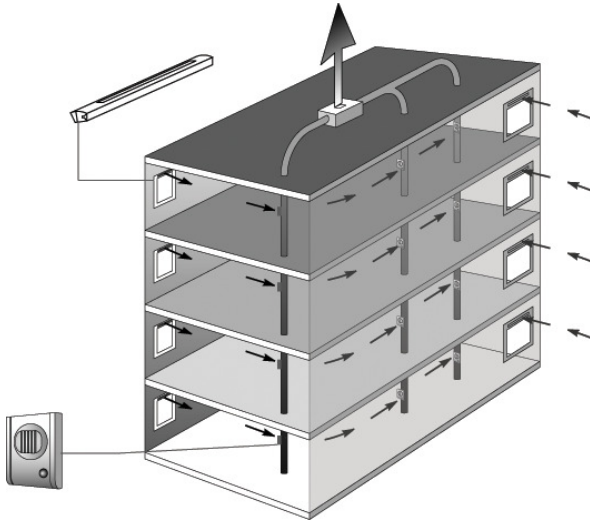


Figure 4b : Principe de la Ventilation Mécanique et Contrôlée simple flux dans un immeuble collectif.

© CSTB – guide Ventilation des bâtiments

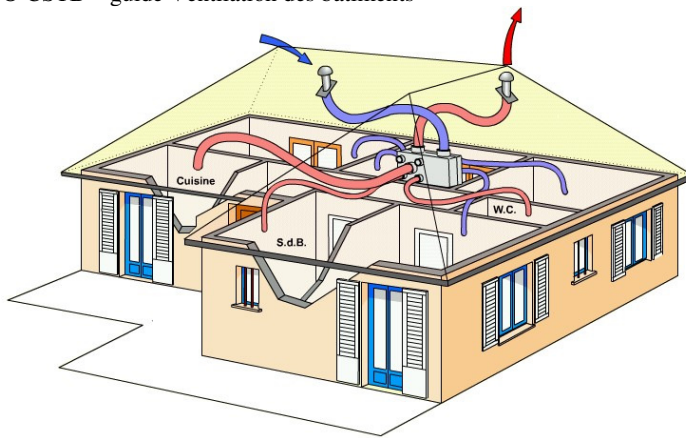


Figure 5 : Principe de la Ventilation Mécanique et Contrôlée double flux.



Figure 6 : Exemple de moteur de ventilateur placé ici sur la vitre d'une fenêtre en cuisine.

ANNEXE 2 : DISPOSITIONS RELATIVES A L'AERATION DES LOGEMENTS

Avant 1937, aucun texte ne définissait de dispositions concernant l'aération des logements. Les logements construits avant cette date peuvent donc ne comporter aucun dispositif spécifique de ventilation. Dans ce cas, l'aération s'effectue principalement par les défauts d'étanchéité et l'ouverture des fenêtres.

Le 1^{er} avril 1937, le premier règlement sanitaire départemental impose la ventilation permanente du cabinet d'aisances.

L'arrêté du 14 novembre 1958 « aération des logements » (JO du 18 novembre 1958) fixe les dispositions ayant pour objet d'assurer en permanence le renouvellement d'air des pièces principales et des cuisines, de telle manière que soient maintenues de bonnes conditions de salubrité en ce qui concerne l'air expiré et les condensations. Les pièces principales des logements à simple exposition et celles équipées de baies vitrées étanches doivent comporter des ouvertures d'entrée d'air et des ouvertures d'évacuation d'air. Les cuisines doivent comporter des ouvertures totales d'au moins 150 cm² destinées à l'évacuation de l'air.

L'arrêté du 22 octobre 1969 « aération des logements » (JO du 30 octobre 1969) fixe le principe de la ventilation générale et permanente par balayage : l'air entre dans les pièces principales du logement par des orifices d'entrée d'air et est extrait dans les pièces de service soit par des conduits à tirage naturel, soit par des dispositifs mécaniques. Le taux de renouvellement d'air est d'environ une fois le volume des pièces principales par heure.

L'Article 8 du décret n°69-596 du 14 juin 1969 fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation stipule que « les logements doivent bénéficier d'un renouvellement de l'air et d'une évacuation des émanations tels que les taux de pollution de l'air intérieur du local ne constituent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations, sauf de façon passagère ».

Cet arrêté autorise d'une part pour les maisons individuelles isolées, jumelées ou en bande, quel que soit leur département, et d'autre part pour les logements en immeubles collectifs situés dans certains départements visés à l'article 6, la ventilation par pièces séparées (en permettant aussi l'aération par simple ouverture des fenêtres), la seule cuisine ayant une obligation d'aération permanente (évacuation par conduit à tirage naturel ou mécanique situé en cuisine et entrée d'air située dans la cuisine ou dans une pièce voisine).

L'arrêté du 24 mars 1982 « dispositions relatives à l'aération des logements » (JO du 27 mars 1982) maintient le principe de la ventilation générale et permanente mais introduit la notion de modulation du débit d'extraction par dispositif manuel. Les exigences sont exprimées en débits d'air extrait dans chaque pièce de service. Les valeurs données pour chaque pièce de service sont fonction du nombre de pièces principales du logement. Les débits exigés sont réduits par rapport à ceux découlant de l'application des exemples de solutions de l'arrêté de 1969.

L'article 3 stipule que, dans les conditions climatiques moyennes d'hiver, les débits extraits dans chaque pièce de service doivent pouvoir atteindre, simultanément ou non, les valeurs données dans le tableau ci-après :

| Nombre de pièces principales dans le logement | Débits exprimés en m ³ par heure | | | | |
|---|---|--|-------------------|--------------------|----------|
| | Cuisine | Salle de bains ou de douches commune ou non avec un cabinet d'aisances | Autre salle d'eau | Cabinet d'aisances | |
| | | | | unique | multiple |
| 1 | 75 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 2 | 90 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 3 | 105 | 30 | 15 | 15 | 15 |
| 4 | 120 | 30 | 15 | 30 | 15 |
| 5 et plus | 135 | 30 | 15 | 30 | 15 |

L'article 4 stipule que des dispositifs individuels de réglage peuvent permettre de réduire les débits définis à l'article 3 à conditions que le débit total extrait et le débit réduit de cuisine soient au moins égaux aux valeurs données dans le tableau suivant :

| Nombre de pièces principales | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Débit total minimal | 35 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 |
| Débit réduit minimal en cuisine | 20 | 30 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |

L'article 6 de cet arrêté permet de limiter à certaines pièces l'obligation d'aération permanente dans le cas des maisons individuelles isolées, jumelées ou en bande situées dans les zones climatiques H2 et H3 définies par l'arrêté thermique du 24 mars 1982.

L'Article R.111-9 du Code de la Construction et de l'Habitation stipule que « les logements doivent bénéficier d'un renouvellement de l'air et d'une évacuation des émanations tels que les taux de pollution de l'air intérieur du local ne constituent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations, sauf de façon passagère ».

L'arrêté du 28 octobre 1983 « dispositions relatives à l'aération des logements » (JO du 15 novembre 1983) modifie les dispositions de l'arrêté du 24 mars 1982. Par ce texte, l'aération peut être assurée par un dispositif mécanique qui module automatiquement le renouvellement d'air du logement (par exemple système de ventilation hygroréglable).

ANNEXE 3 : CLASSEMENT PIECES PRINCIPALES / PIECES DE SERVICE

| Type de pièce | PP : principale ; PS : service |
|--------------------|---|
| Chambre | PP |
| Cuisine | PS |
| Cuisine américaine | PP + PS |
| Séjour | PP |
| Salon | PP |
| Buanderie | PS si présence d'une extraction d'air |
| Salle de bains | PS |
| WC | PS |
| Bureau | PP sauf si extraction seule. Si extraction seule : PS ; (Distinction des bureaux professionnels (ex : pièces 130 m ²) de chambres réaménagées.) |
| Chaufferie | - |
| Cave | - |
| Grenier | - |
| Garage attenant | - |
| Studio | PP (+ PS dans certains cas) |
| Autre pièce | PP si entrée ; PS si extraction ; PS + PP si les deux. |
| Véranda | - |
| Atelier | - |
| Cellier | PS |
| Salle de jeux | PP |
| Couloir | - |
| Débarras | - |
| Entrée Hall | - |
| Escalier Palier | - |
| Dressing Lingerie | PS |

ANNEXE 4 : VALEURS DE REFERENCE DES DEBITS D'AIR EXTRAITS AUX BOUCHES ET METHODES DE CALCULS DES RATIOS

Il s'agit de préciser les valeurs considérées au numérateur et au dénominateur du ratio calculé permettant de statuer sur le respect de la « réglementation en vigueur » pour chaque logement. On rappelle que **seuls les logements construits après 1982 possèdent une réglementation** exprimée par des débits en m³/h (Cf. ANNEXE 2); ce sont les seuls logements dont les débits extraits peuvent être officiellement comparés à des débits en termes de réglementation existante. **Ainsi les valeurs de débits utilisées dans la suite comme valeurs de référence pour les logements plus anciens ne peuvent être prises qu'à titre d'information.**

Le ratio calculé N/D est composé de :

- **N** = Soit une valeur de débit extrait mesuré, soit une valeur moyenne de débits mesurés, soit une somme de débits mesurés, soit une somme de valeurs moyennes de débits mesurés.
- **D** = Soit une valeur de débit extrait de référence, soit une valeur moyenne de débits de référence, soit une somme de débits de référence, soit une somme de valeurs moyennes de débits de référence.

Selon la fin de construction d'un logement donné, les valeurs de débits d'air extrait mesurées ne sont pas comparées aux mêmes valeurs de référence. Des valeurs de débits exprimées en mètres cubes par heure n'existe qu'à partir de 1982 avec l'arrêté du 24 mars et ses articles 3 et 4 (modifié par arrêté du 28 octobre 1983).

Les logements dont les valeurs de débits d'air extraits ont été mis au regard des valeurs réglementaires de l'arrêté de mars 1982 sont les logements dont la période de fin de construction est postérieure à 1982. De plus il a été conventionnellement choisi de comparer les valeurs mesurées des logements réhabilités en VMC construits avant 1969 (plus exactement 1968 selon les données disponibles) aux valeurs réglementaires de ce même arrêté. Notons que les volumes d'air extraits réglementaires sont plus faibles dans l'arrêté du 24 mars 1982 que les volumes demandés par l'arrêté du 22 octobre 1969.

1. LOGEMENTS CONSTRUITS AVANT 1969 REHABILITES EN VMC ET LOGEMENTS CONSTRUITS A PARTIR DE 1982

Les valeurs (en m³/h) utilisées au dénominateur **D** des ratios, pour les logements construits **avant 1969** et à **partir de 1982** par pièce de service et selon le nombre de pièces principales (NPP), sont les suivantes :

| NPP | CUISINE | | SALLE DE BAINS | WC |
|--------|------------------------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| | Débit minimal (débit réduit) | Débit maximal (débit de pointe) | | |
| 1 | 20 | 75 | 15 | 15 |
| 2 | 30 | 90 | 15 | 15 |
| 3 | 45 | 105 | 30 | 15 |
| 4 | 45 | 120 | 30 | 15 (si multiple) |
| | | | | 30 (si unique) |
| 5 et + | 45 | 135 | 30 | 15 (si multiple) |
| | | | | 30 (si unique) |

2. LOGEMENTS CONSTRUITS A PARTIR DE 1969 JUSQU'À 1982

L'arrêté du 22 octobre de 1969 ne fournit pas des débits réglementaires en mètres cubes par heure. Afin de disposer de valeurs de référence en m³/h au dénominateur **D** pour les débits mesurés de ces logements on utilise les valeurs issues des exemples de solutions du CSTB de novembre 1971 [9]. Les valeurs ainsi déterminées (en m³/h) utilisées par pièce de service et selon le nombre de pièces principales (NPP), sont les suivantes :

| NPP | CUISINE | | SALLE DE BAINS | | WC |
|--------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----|
| | Débit minimal (débit réduit) | Débit maximal (débit de pointe) | Débit minimal (débit réduit) | Débit maximal (débit de pointe) | |
| 1 | 45 | 90 | 30 | 60 | 30 |
| 2 | 45 | 90 | 30 | 60 | 30 |
| 3 et + | 60 | 120 | 30 | 60 | 30 |

3. DEBIT MOYEN

Lorsqu'une pièce possède un débit minimal Q_{\min} et un débit maximal Q_{\max} mesurés, on calcul un débit moyen Q_{moy} pour cette même pièce avec la formule suivante :

$$Q_{\text{moy}} = (1-a) \times Q_{\min} + a \times Q_{\max}$$

où $a = \frac{1}{12}$ pour les logements construits avant 1969 (1968 sur les données campagne nationale Logements) et à partir de 1990 ; $a = \frac{1}{6}$ pour les logements construits entre 1969 et 1990, d'après les différentes règles Th-G de 1977 [6], 1988 et 1991 [10] (Cf. § 5.1 du rapport).

4. DEBIT TOTAL

Les ratios sont analysés dans le présent document pour le débit total minimal et le débit total moyen à l'échelle du logement. Le débit total minimal est défini par la somme des débits réduits des pièces de service. Le débit moyen est défini par la somme des débits des pièces de service où les débits sont, pour les pièces concernées, des débits moyens calculés par la formule du paragraphe ci-avant.

L'arrêté de mars 1982 indique les valeurs de débit total minimal dans le premier tableau de l'article 4 :

| | NPP | | | | | | |
|---|-----|----|----|----|-----|-----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 et + |
| Débit total minimal en m³/h | 35 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 |

Ces valeurs sont utilisées pour les logements construits **avant 1969** et réhabilités en VMC (à titre informatif pour ces logements) ainsi que pour les logements construits **à partir de 1982** (de façon rigoureuse).

Pour calculer un débit total moyen, il est nécessaire d'interpréter la somme des débits conduisant aux débits totaux minimaux donnés dans le tableau ci-dessus afin d'extraire la part de chaque pièce dans la somme globale. L'interprétation faite a été la suivante :

| NPP | Débit total minimal (m ³ /h) | Légende : interprétation (non exhaustive) |
|--------|---|---|
| 1 | 35 = 20+15 | CUI + 1SDB |
| 2 | 60 = 30+15+15 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 3 | 75 = 45+15+15 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 4 | 90 = 45+30+15 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 5 | 105 = 45+30+15+15 | CUI + 1SDB + 2WC |
| 6 | 120 = 45+30+15+15+15 | CUI + 1SDB + 3WC ou CUI + 2SDB + 1WC |
| 7 et + | 135 = 45+30+15+15+15+15 | CUI + 1SDB + 4WC ou CUI + 2SDB + 2WC |

A partir du tableau précédent il est alors possible d'introduire le débit moyen en cuisine avec les valeurs du tableau dans le paragraphe 1. Les valeurs de référence du débit moyen total pour les logements construits à partir de 1982 et avant 1969 sont donc calculées comme suit ($a = 1/6$ ou $1/12$ selon la période de construction) :

| NPP | Débit total moyen (m ³ /h) | Légende |
|--------|---|--|
| 1 | $(1-a) \cdot 20 + a \cdot 75 + 15$ | MoyCUI + 1SDB |
| 2 | $(1-a) \cdot 30 + a \cdot 90 + 15 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 1WC |
| 3 | $(1-a) \cdot 45 + a \cdot 105 + 15 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 1WC |
| 4 | $(1-a) \cdot 45 + a \cdot 120 + 30 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 1WC |
| 5 | $(1-a) \cdot 45 + a \cdot 135 + 30 + 15 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 2WC |
| 6 | $(1-a) \cdot 45 + a \cdot 135 + 30 + 15 + 15 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 3WC ou MoyCUI + 2SDB + 1WC |
| 7 et + | $(1-a) \cdot 45 + a \cdot 135 + 30 + 15 + 15 + 15 + 15$ | MoyCUI + 1SDB + 4WC ou MoyCUI + 2SDB + 2WC |

Pour les logements construits **entre 1969 et 1982** on utilise l'interprétation de la part dans le débit total de chacune des pièces faite ci-avant pour reconstruire un débit total minimal de référence et un débit total moyen de

référence avec les valeurs du tableau du paragraphe 2 de cette annexe. Le **débit total minimal de référence** calculé selon le nombre de pièces principales est donc pour les logements construits **entre 1969 et 1982** :

| NPP | Débit total minimal (m ³ /h) | Légende |
|--------|---|--|
| 1 | 75 = 45+30 | CUI + 1SDB |
| 2 | 105 = 45+30+30 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 3 | 120 = 60+30+30 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 4 | 120 = 60+30+30 | CUI + 1SDB + 1WC |
| 5 | 150 = 60+30+30+30 | CUI + 1SDB + 2WC ou CUI + 2SDB + 1WC |
| 6 | 180 = 60+30+30+30+30 | CUI + 1SDB + 3WC ou CUI + 2SDB + 2WC |
| 7 et + | 210 = 60+30+30+30+30+30 | CUI + 1SDB + 4WC ou CUI + 2SDB + 3WC ou CUI + 3SDB + 2WC |

De la même manière le débit total moyen de référence calculé pour ces mêmes logements est ($a = 1/6$) :

| NPP | Débit total moyen | Légende |
|--------|--|-----------------------|
| 1 | $(1-a)*45+a*90 + (1-a)*30+a*60$ | MoyCUI + MoySDB |
| 2 | $(1-a)*45+a*90 + (1-a)*30+a*60 + 30$ | MoyCUI + MoySDB + 1WC |
| 3 | $(1-a)*60+a*120 + (1-a)*30+a*60 + 30$ | MoyCUI + MoySDB + 1WC |
| 4 | $(1-a)*60+a*120 + (1-a)*30+a*60 + 30$ | MoyCUI + MoySDB + 1WC |
| 5 | $(1-a)*60+a*120 + (1-a)*30+a*60 + 30+30$ | MoyCUI + MoySDB + 2WC |
| 6 | $(1-a)*60+a*120 + (1-a)*30+a*60 + 30+30+30$ | MoyCUI + MoySDB + 3WC |
| 7 et + | $(1-a)*60+a*120 + (1-a)*30+a*60 + 30+30+30+30$ | MoyCUI + MoySDB + 4WC |

5. CAS PARTICULIERS

Il existe des pièces de service, dont le débit de la bouche d'extraction a été mesuré, ayant un débit réduit et un débit de pointe alors que la réglementation en vigueur relative indique une seule valeur règlementaire pour un unique débit e.g. un logement construit en 1995 ayant deux débits mesurés dans la salle de bain ou encore un logement de 1975 ayant deux débits mesurés dans les WC. Dans ces situations, c'est le débit de pointe qui a été utilisé au numérateur dans le ratio pour comparer la valeur du débit de la pièce en question à la valeur de référence. Ce choix a été fait pour aller dans le sens des articles 3 et 4 de l'arrêté de mars 1982 qui stipulent que les valeurs règlementaires indiquées doivent « pouvoir être atteintes » ou que les débits mesurés doivent être « au moins égaux » aux valeurs règlementaires. Le débit de pointe est alors le plus adéquat pour répondre aux débits attendus.

ANNEXE 5 : A PROPOS DE LA COMPLETION DES DONNEES MANQUANTES

Il est parfois nécessaire de disposer d'une base complétée notamment pour des analyses multivariées. En effet si la méthode employée n'accepte pas les données manquantes (comme beaucoup), dès que, pour une des variables utilisées, une donnée est manquante, il faut supprimer alors l'individu statistique. Ainsi, si les données manquantes sont réparties dans la base de façon homogène (comme c'est le cas dans la base de données de la campagne nationale Logements), plus on va considérer de variables dans la modélisation, plus on a de risque de rencontrer au moins une valeur manquante pour un individu et donc, plus on a de risque de diminuer l'effectif de l'échantillon d'étude ce qui constitue une perte d'informations très importante et très préjudiciable. De plus la présence de non réponse est potentiellement à l'origine de biais qui faussent les analyses statistiques.

Cédric Duboudin de l'Afsset [13] a complété les données manquantes sur la base d'une méthode d'imputation statistique utilisant la segmentation. Les analyses présentées se sont basées sur une base de données complétée de cette manière. La validation de la base de données de la campagne nationale Logements ayant été une chose complexe et difficilement parfaite, il est apparu lors d'exploitations de la base, que certaines valeurs étaient erronées mais en très faible proportion. Ainsi, il a fallu compléter à nouveau la base pour compléter les nouveaux trous. De plus il est apparu qu'une autre méthode de complétion pouvait être plus judicieuse, la méthode du Hot-Deck. Sans entrer dans les détails, la première méthode affecte à la donnée manquante la modalité la plus fréquente du groupe de logements issu du découpage selon les variables de l'algorithme de segmentation (donc toutes les données manquantes d'une même variable sont complétées par la même modalité). A contrario la méthode Hot-Deck n'affecte pas la modalité la plus fréquente du groupe de logements sous-jacent mais fait un tirage aléatoire des modalités selon la probabilité pour chaque modalité d'avoir été observée. Cette méthode est donc aléatoire alors que la première est plus déterministe dans son affectation finale. Pour résumer la différence d'utilisation entre les deux méthodes, on peut dire que (selon [13]) *« l'imputation déterministe est plus satisfaisante lorsque l'on s'intéresse à un logement en particulier, car lui est affecté, à la place de la valeur manquante, la valeur la plus vraisemblable. En revanche lorsque l'on s'intéresse aux caractéristiques de l'échantillon dans son ensemble et par là même à celles de la population visée, l'approche déterministe conduit, contrairement à l'approche aléatoire, à une estimation des statistiques biaisées et à une réduction de la variance pour les variables qualitatives et quantitatives »*. Cependant notre étude ventilation et ses analyses statistiques ont débuté avant que les données soient complétées par la méthode aléatoire, et donc les données complétées par la méthode déterministe ont été conservées pour la suite des analyses statistiques.

ANNEXE 6 : GLOSSAIRE STATISTIQUE

A. TERMINOLOGIE

Les définitions sont extraites des ouvrages [1], [3] et [12].

On considère un ensemble de valeurs E noté $\{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$.

- **Amplitude** : L'amplitude est la différence entre la plus grande valeur de E et la plus petite valeur de E. L'amplitude fait partie des caractéristiques dites de dispersion.
- **Analyse de variance** : Méthode qui constitue à comparer plusieurs échantillons : l'analyse de variance recouvre un ensemble de technique de test et d'estimation destinés à apprécier l'effet de variables qualitatives sur une variable numérique et revient dans le cas simple à comparer plusieurs moyennes d'échantillons gaussiens et on parle alors couramment d'Anova.
- **Boîtes à moustaches ou Boxplot** : Cf. ci-après.
- **Chi-deux** : Voir khi-deux.
- **Ecart-type** : L'écart-type s est la racine carrée de la variance. Voir Variance. L'écart-type s'exprime dans la même unité que les valeurs observées. L'écart-type fait partie des caractéristiques dites de dispersion.
- **Etendue** : Voir Amplitude.
- **Gaussienne** : Voir Normale.
- **Intervalle interquartile** : Ou distance interquartile. L'intervalle interquartile est défini par $Q_3 - Q_1$. Il a l'intérêt d'être, contrairement à l'amplitude, insensible aux valeurs extrêmes. L'intervalle interquartile fait partie des caractéristiques dites de dispersion.
- **Khi-deux** : Ou chi-deux autrement noté par la lettre grecque χ^2 . Loi de probabilité continue entrant en compte dans de nombreux tests notamment les tests d'indépendance faisant intervenir une distance dite du χ^2 .
- **Kruskal-Wallis** : Statistique intervenant dans le test du même nom servant à comparer k échantillons numériques ($k \geq 3$) selon une variable quantitative (appelée facteur) à k niveaux. Ce test fait partie des tests dits non-paramétriques d'analyse de variance et calcule la statistique relative à partir des rangs des observations de chaque échantillon.
- **Log-Normale** : Nom de la loi suivie par une variable aléatoire lorsque la variable aléatoire définie par logarithme népérien de la première suit une loi Normale.
- **Médiane** : La médiane est une valeur M partageant en deux parties d'effectifs égaux la série ordonnée des valeurs observées de E $x^{(1)} \leq x^{(2)} \leq \dots \leq x^{(n)}$. Si $n = 2k + 1$ alors $M = x^{(k+1)}$, si $n = 2k$ alors $M = \frac{1}{n}(x^{(k)} + x^{(k+1)})$. La médiane est aussi le 2^{ième} quartile Q_2 ou encore le percentile d'ordre 50. La médiane fait partie des caractéristiques dites de tendance centrale.
- **Mode** : Valeur la plus fréquente pour une distribution discrète ; classe correspondant au pic de l'histogramme pour une variable continue. Sa détermination est malaisée et dépend du découpage en classes. Pour une répartition parfaitement symétrique on a : moyenne = mode = médiane. Le mode fait partie des caractéristiques dites de tendance centrale.
- **Moyenne** : La moyenne (arithmétique) \bar{x} d'un échantillon E est le résumé statistique le plus connu. La moyenne est la somme des éléments de E divisée par son nombre d'éléments n . La moyenne fait partie des caractéristiques dites de tendance centrale.
- **Normale** : ou gaussienne. Adjectif relatif à la loi de probabilité continue appelée loi Normale ou loi de Laplace-Gauss. Cette loi joue un rôle fondamental en probabilités et statistique mathématique : elle constitue un modèle fréquemment utilisé dans divers domaines. Malgré son appellation malencontreuse de loi Normale (cette dénomination fut introduite par K. Pearson qui voulait éviter les querelles d'antériorité concernant son introduction en statistique) elle est cependant loin de décrire tous les phénomènes physiques et il faut bien se garder de considérer comme anormale une variable ne suivant pas la loi de Laplace-Gauss. Son rôle principal en statistique provient en réalité de ce qu'elle apparaît comme loi limite de caractéristiques liées à un échantillon de grande taille.
- **Observé** : Par opposition à « pondéré ». Ce terme est relatif aux graphiques construits ou aux statistiques calculées avec les données d'un échantillon ou sous-échantillon sans utiliser une éventuelle pondération.
- **Percentile** : C'est l'anglicisme généralisant la notion de quartiles. Le k -ième percentile ou percentile d'ordre k souvent noté « P_k » partage la série des valeurs observées classées par ordre non décroissant en deux parties d'effectifs inégaux : k % de E pour la première partie et $(100-k)$ % de E pour la seconde partie. Le 25-ième percentile est égal à Q_1 , le percentile d'ordre 50 est la médiane et donc égale à Q_2 , le 75-ième percentile est le quartile Q_3 .

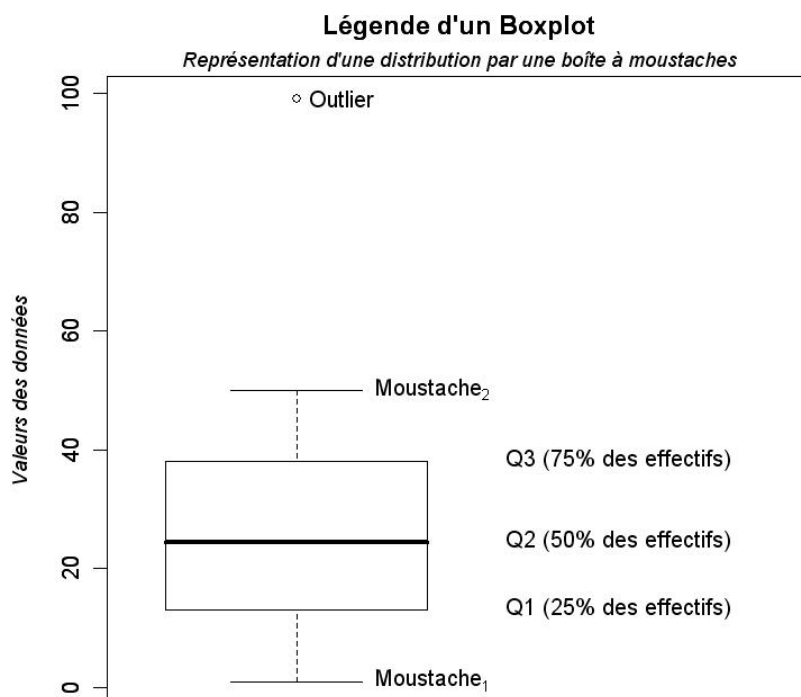
- **Pondéré** : Par opposition à « observé ». Signifie que les graphiques ou statistiques ont été déterminés en utilisant une pondération permettant d'associer les résultats à une échelle globale.
- **Quartile** : Les quartiles (Q_1, Q_2, Q_3) partagent en quatre parties d'effectifs égaux la série des valeurs observées classées par ordre non décroissant. Le deuxième quartile est la médiane.
- **Redressé** : Voir Pondéré.
- **Représenté** : Voir Pondéré.
- **Risque α** : α s'appelle le risque de première espèce. Un test est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon. Soient H_0 et H_1 ces deux hypothèses, dont une et une seule est vraie. La décision aboutira à choisir H_0 ou H_1 . Il y a donc 4 cas possibles schématisés dans le tableau ci-dessous avec les probabilités correspondantes :

| Décision \ Vérité | H_0 | H_1 |
|-------------------|----------|--------------|
| | H_0 | $1 - \alpha$ |
| H_1 | α | $1 - \beta$ |

α est la probabilité de choisir H_1 alors que H_0 est vraie. β est la probabilité de conserver H_0 alors que H_1 est vraie.

- **Tendance centrale** : L'expression « tendance centrale » regroupe l'ensemble des techniques statistiques visant à donner une mesure du milieu, du centre d'un ensemble de données E. Les indices de tendance centrale sont utiles parce qu'ils sont strictement définis et ils ne laissent pas place à l'appréciation de l'observateur. Ils sont faciles à comprendre et à calculer.
- **Variance** : La variance est une mesure plus fine de la dispersion que l'amplitude, que les quartiles ou l'intervalle interquartile, dans la mesure où toutes les données sont prises en compte. La variance est définie par $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$. La variance fait partie des caractéristiques dites de dispersion.
- **Wilcoxon** : Statistique intervenant dans le test non paramétrique du même nom couramment appelé test de Wilcoxon-Mann-Whitney analogue au test de Kruskal-Wallis dans le cas de $k = 2$ échantillons.

B. LECTURE D'UNE DISTRIBUTION EN BOÎTE A MOUSTACHES (BOXPLOT)



On repère sur la boîte à moustaches d'une variable :

- L'échelle des valeurs de la variable, située sur l'axe vertical.
- La valeur du 1^{ier} quartile Q_1 (25% des effectifs), correspondant au trait inférieur de la boîte.
- La valeur du 2^{ième} quartile Q_2 (50% des effectifs), représentée par un trait horizontal gras à l'intérieur de la boîte.

- La valeur du 3^{ième} quartile Q_3 (75% des effectifs), correspondant au trait supérieur de la boîte.
- Les 2 « moustaches » inférieure et supérieure. Ces 2 moustaches, délimitent les valeurs dites *adjacentes* qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile ($Q_3 - Q_1$). Voir ci-après les détails.
- Les valeurs dites extrêmes, atypiques, exceptionnelles, (*outliers*) situées au-delà des valeurs adjacentes sont individualisées. Elles sont représentées par des marqueurs (carré, ou étoile, etc.) qui peuvent être différents selon les valeurs des valeurs extrêmes. Voir ci-après les détails.

La moustache 1 est la valeur de l'échantillon la plus petite parmi les valeurs supérieures à $Q_1 - 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$. La moustache 2 est la valeur de l'échantillon la plus grande parmi les valeurs inférieures à $Q_3 + 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$. Les outliers sont les valeurs qui sont au-delà des moustaches ou de manière équivalente au-delà des valeurs $Q_1 - 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$ et $Q_3 + 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$. Dans notre exposé ces valeurs sont des valeurs extrêmes plutôt que des valeurs aberrantes.

La valeur « 1.5 » est une valeur arbitraire par défaut discutable et déterminée par Tukey⁶ [2]. Certains logiciels proposent de différencier la représentation des outliers s'ils dépassent les moustaches avec un coefficient 1.5 et la représentation des outliers s'ils dépassent les moustaches avec un coefficient 3.

Certaines représentations en boîtes à moustaches changent le coefficient ou remplacent même les moustaches par les valeurs minimale et maximale de l'échantillon.

⁶ John Tukey (1915-2000), statisticien, inventa en 1977 la représentation d'une distribution par boîtes à moustaches (*Box & Whiskers Plot*).

TABLES DES ILLUSTRATIONS

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Proportion de logements présentés par période de fin de construction (en % par colonne)..... | 8 |
| Tableau 2 : Surface médiane (en m ²) représentée selon le nombre de pièces principales pour les logements collectifs et individuels. | 10 |
| Tableau 3 : Pourcentages de logements ayant un nombre de pièces principales donné occupées par N personnes. Les couleurs bleu, noir et rouge indiquent à dire d'experts les situations de sous-occupation, d'occupation normale et de sur-occupation respectivement. | 10 |
| Tableau 4 : Distribution représentée des logements pour chaque type de ventilation en fonction des classes d'âges de fin de construction. En pourcentage par colonne. | 13 |
| Tableau 5 : Parts représentées des logements pour chaque classe de fin de construction en fonction des types de ventilation. En pourcentage par lignes. | 13 |
| Tableau 6 : Répartition représentée des logements selon les classes formées à la fois par la période de fin de construction et le type de ventilation. En pourcentage des logements totaux. | 14 |
| Tableau 7 : Distributions observées des différents ratios calculés. | 23 |
| Tableau 8 : Distributions représentées des ratios calculés de débit total..... | 23 |
| Tableau 9 : Pourcentage de débits observés ne respectant pas les valeurs de référence par type de débits mesurés. Toutes périodes de fin de construction confondues. | 24 |
| Tableau 10 : Ratios des débits observés « total minimal par logement » et « total moyen par logement » par type de logement..... | 25 |
| Tableau 11 : Ratios des débits représentés « total minimal par logement » et « total moyen par logement » par type de logement..... | 25 |
| Tableau 12 : Distributions observées des différents types de ratios..... | 27 |
| Tableau 13 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement..... | 28 |
| Tableau 14 : Distributions observées des différents types de ratios..... | 29 |
| Tableau 15 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement..... | 29 |
| Tableau 16 : Distributions observées des différents types de ratios..... | 31 |
| Tableau 17 : Distributions représentées des ratios en débit total par logement..... | 31 |
| Tableau 18 : Données de la campagne nationale Logements disponibles sur les débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduit. Les débits sont donnés en m ³ /h. Le tableau est trié par ordre croissant de température extérieure moyenne (TeMoy). NPP = Nombre de Pièces Principales. NA = Not Available (non disponible)..... | 33 |
| Tableau 19 : Statistiques descriptives résumant les valeurs de débits d'air extrait aux bouches de ventilation naturelle par conduit..... | 33 |
| Tableau 20 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 567 logements enquêtés, tout système de ventilation confondu. | 36 |
| Tableau 21 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 567 logements enquêtés, tout système de ventilation confondu..... | 36 |
| Tableau 22 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 211 logements enquêtés munis de VMC..... | 36 |
| Tableau 23 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 211 logements enquêtés munis de VMC..... | 36 |
| Tableau 24 : État des bouches d'amenées d'air neuf recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle. | 37 |
| Tableau 25 : État des bouches d'extraction d'air vicié recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle. | 37 |
| Tableau 26 : État des bouches d'extraction d'air vicié par conduit à tirage naturel recensées parmi les pièces des 187 logements enquêtés munis de ventilation naturelle. | 37 |
| Tableau 27 : Distributions des différentes valeurs agrégées de CO ₂ utilisées dans les calculs des renouvellements d'air (en ppm). | 40 |
| Tableau 28 : Distributions représentées des deux indicateurs (m3/h)..... | 42 |
| Tableau 29 : Distribution représentée du renouvellement d'air nocturne pour chaque type de ventilation (m3/h)44 | 44 |
| Tableau 30 : Distribution observée du renouvellement d'air nocturne (m3/h) pour chaque type de ventilation, pour les logements chauffant pendant la semaine d'enquête et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit. ... | 45 |
| Tableau 31 : Distribution représentée du renouvellement d'air nocturne (m3/h) pour chaque type de ventilation, pour les logements chauffant pendant la semaine d'enquête et ayant les fenêtres fermées en chambre la nuit. ... | 45 |
| Tableau 32 : Distributions représentées du renouvellement d'air nocturne pour chaque période de fin de construction des logements. | 47 |
| Tableau 33 : Effectifs observés de logements en fonction de la présence d'un système de ventilation et en fonction de l'ouverture des fenêtres en chambres. Test du χ^2 . 567 logements. | 57 |
| Tableau 34 : Table de contingence sur le sous-échantillon de logements chauffant pendant la semaine d'enquête. 386 logements observés. | 57 |

| | |
|---|----|
| Tableau 35 : Effectifs de logements observés par systèmes de ventilation et selon le comportement à l'ouverture de la porte la nuit de la chambre expérimentée pendant la semaine d'enquête. 567 logements observés..... | 57 |
| Tableau 36 : Effectifs de logements observés par systèmes de ventilation et selon le comportement à l'ouverture de la porte et des fenêtres la nuit en chambre expérimentée pendant la semaine d'enquête. 567 logements observés..... | 58 |
| Tableau 37 : Distributions représentées des débits RAn par groupe de fréquence d'ouverture de fenêtre en chambres la nuit. | 58 |
| Tableau 38 : Distributions représentées des débits RAn par combinaison d'ouverture porte/fenêtre. | 61 |
| Figure 3-1 : Fréquence des logements par nombre de pièces principales définies pour la ventilation..... | 9 |
| Figure 3-2 : Fréquence des logements par nombre de pièces principales et selon le type de logement..... | 9 |
| Figure 4-1 : Part des différents systèmes de ventilation dans les logements français. | 11 |
| Figure 4-2 : Détails des systèmes VMC et ventilation naturelle dans la description des différents systèmes..... | 11 |
| Figure 4-3 : Description des systèmes de ventilation selon le type de logements..... | 12 |
| Figure 4-4 : Chiffres du Tableau 5 représentés par courbes. La somme des pourcentages de chaque période est égale à 100 %. La réhabilitation explique la présence de certains systèmes dans des classes d'âges anciens. | 14 |
| Figure 5-1 : SWEMAFLOW 233, débitmètre portatif utilisé par les techniciens enquêteurs pour mesurer les débits d'air aux bouches d'extraction..... | 16 |
| Figure 5-2 : Débits réduits d'air extraits observés en cuisine. | 17 |
| Figure 5-3 : Débits de pointe d'air extraits observés en cuisine..... | 17 |
| Figure 5-4 : Débits d'air extraits moyens observés en cuisine. | 18 |
| Figure 5-5 : Débits d'air extraits observés en salle de bain..... | 18 |
| Figure 5-6 : Débits d'air extraits observés en WC. | 19 |
| Figure 5-7 : Ratios des débits réduits mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement. . | 20 |
| Figure 5-8 : Ratios des débits de pointe mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement. | 20 |
| Figure 5-9 : Ratios des débits moyens mesurés en cuisine par le débit de référence associé à chaque logement. | 21 |
| Figure 5-10 : Ratios des débits mesurés en salle de bain par le débit de référence associé à chaque logement.... | 21 |
| Figure 5-11 : Ratios des débits mesurés en WC par le débit de référence associé à chaque logement. | 22 |
| Figure 5-12 : Ratios observés du débit total minimal du logement par le débit total minimal de référence associé à chaque logement..... | 22 |
| Figure 5-13 : Ratios du débit total moyen du logement par le débit total moyen de référence associé à chaque logement..... | 23 |
| Figure 5-14 : Ratios observés du débit total minimal par le débit total minimal de référence par type de logement. | 24 |
| Figure 5-15 : Ratios observés du débit total moyen par le débit total moyen de référence par type de logement. | 25 |
| Figure 5-16 : Ratios observés du débit total minimal par le débit total minimal réglementaire en vigueur pour les logements construits à partir de 1982..... | 27 |
| Figure 5-17 : Ratios observés du débit total moyen par le débit total moyen réglementaire en vigueur pour les logements construits à partir de 1982..... | 27 |
| Figure 5-18 : Ratios observés du débit total minimal par le débit de référence pour les logements construits entre 1969 et 1982..... | 28 |
| Figure 5-19 : Ratios observés du débit total moyen par le débit de référence pour les logements construits entre 1969 et 1982..... | 29 |
| Figure 5-20 : Ratios observés du débit total minimal par le débit de référence concernant les logements construits avant 1969..... | 30 |
| Figure 5-21 : Ratios observés du débit total moyen par le débit de référence concernant les logements construits avant 1969..... | 31 |
| Figure 7-1 : Distribution de la valeur de CO ₂ , moyenne des 60 plus grandes valeurs de l'enregistrement sur la semaine comprises entre 1H et 5H10. Valeurs utilisées pour l'indicateur RAn..... | 40 |
| Figure 7-2 : Distribution de la valeur de CO ₂ , moyenne des 60 plus grandes valeurs de l'enregistrement sur la semaine. Valeurs utilisées pour l'indicateur RAm..... | 41 |
| Figure 7-3 : Distributions des valeurs minimales de CO ₂ de l'enregistrement sur la semaine d'enquête. Valeurs utilisées pour les 2 indicateurs RAn et RAm. | 41 |
| Figure 7-4 : Distribution des débits de renouvellement d'air dit « nocturne » basé sur le CO ₂ | 42 |
| Figure 7-5 : Distribution des débits de renouvellement d'air dit « moyen » basé sur le CO ₂ | 42 |
| Figure 7-6 : Distribution observée des débits de renouvellement d'air dit « nocturne » basé sur le CO ₂ en réduisant l'amplitude de classes afin d'avoir une vue de la forme de la distribution..... | 43 |
| Figure 7-7 : Débits des renouvellements d'air nocturne RAn et en fonction de la situation de chauffe ou d'hors chauffe des logements pendant la semaine d'enquête. | 43 |
| Figure 7-8 : Distributions observées des débits de renouvellement d'air par type de ventilation pour l'ensemble de l'échantillon..... | 44 |
| Figure 7-9 : Formes des distributions observées des débits RAn pour les 4 types de système de ventilation..... | 45 |
| Figure 7-10 : Distributions observées des débits de renouvellement d'air par type de ventilation pour les logements chauffés et ayant les fenêtres fermées en chambre. | 46 |

| | |
|--|----|
| Figure 7-11 : Distributions observées du renouvellement d'air nocturne pour les 3 périodes choisies de fin de construction. 267 logements observés..... | 48 |
| Figure 7-12 : Distributions observées du débit de renouvellement d'air RAn des logements chauffant pendant leur semaine d'enquête, en fonction du taux d'occupation des logements..... | 49 |
| Figure 8-1 : Fréquences d'ouverture des fenêtres en période de chauffage des logements français par pièce..... | 51 |
| Figure 8-2 : Fréquences d'ouverture des fenêtres hors saison de chauffage des logements français par pièce.... | 52 |
| Figure 8-3 : Fréquences d'ouverture des fenêtres le jour pendant la semaine d'enquête par pièce..... | 53 |
| Figure 8-4 : Fréquences d'ouverture des fenêtres la nuit pendant la semaine d'enquête par pièce..... | 54 |
| Figure 8-5 : Fréquences d'ouverture des fenêtres le jour pendant la semaine d'enquête par pièce en séparant les logements qui chauffaient ou pas pendant leur semaine d'enquête..... | 55 |
| Figure 8-6 : Fréquences d'ouverture des fenêtres la nuit pendant la semaine d'enquête par pièce en séparant les logements qui chauffaient ou pas pendant leur semaine d'enquête..... | 56 |
| Figure 8-7 : Distributions observée des débits RAn selon la fréquence d'ouverture des fenêtres en chambres la nuit. | 59 |
| Figure 8-8 : Formes des distributions observées des débits par fréquence d'ouverture de fenêtres en chambre la nuit pendant la semaine d'enquête. | 60 |
| Figure 8-9 : Distributions comparées des RAn en porte fermée et ouverte..... | 60 |
| Figure 8-10 : Distributions observées des débits RAn selon les combinaisons d'ouverture de porte et fenêtre. . | 62 |

REFERENCES

1. TOMASSONE R., DERVIN C., MASSON J.P. 1993. « BIOMÉTRIE Modélisation de phénomènes biologiques ». Ed. MASSON. Paris.
2. LE GUEN M. 2001. « La boîte à moustaches de Tukey un outil pour initier à la Statistique ». MATISSE-CNRS UMR8595, Maison des Sciences Économiques, 106-112 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris. <http://www.sfds.asso.fr/groupe/statvotre/Boite-a-moustaches.pdf>
3. SAPORTA G. 1990. « PROBABILITÉS ANALYSE DES DONNÉES ET STATISTIQUE ». Ed. TECHNIP. Paris.
4. SPRENT P. 1992. « pratique des statistiques nonparamétriques ». Ed. INRA. Paris.
5. COLLIGNAN B., O'KELLY P., RIBÉRON J., VILLENAVE J-G. « Méthodologie d'analyse des données pour l'évaluation du renouvellement d'air et des risques de condensations ». Rapport CSTB DDD/CVA-03.155R, 42p. octobre 2003.
6. DTU P 50-704. Règles Th-G. Règles de calcul du coefficient GV des bâtiments d'habitation et du coefficient G1 des bâtiments autres que d'habitation. Cahiers du CSTB n°2486, livraison 318, avril 1991.
7. RIBÉRON J., CR réunion du 19 septembre 2005 GT Ventilation. Rapport CSTB DDD-DE-VAI 05-068U, 4p. septembre 2005.
8. RIBÉRON J., CR réunion du 9 mars 2006. GT Ventilation Condensation. Rapport CSTB DDD-DE-VAI 06-013U, 10p. mars 2006.
9. « Exemples de solutions pour faciliter l'application du règlement de construction des bâtiments d'habitation ». Cahiers du CSTB n°1071, livraison 124, novembre 1971.
10. DTU. Règles Th-G 77. Règles de calcul du coefficient G des logements et autres locaux d'habitation et du coefficient G1 des bâtiments autres que les bâtiments d'habitation. Cahiers du CSTB n°1766, livraison 228, novembre 1977, mis à jour avril 1982.
11. KIRCHNER S. et al. « Campagne Nationale Logements : Etat de la qualité de l'air intérieur dans les logements français. Rapport final. ». CSTB Ref. DDD/SB – 2006-57. Mai 2007.
12. TENENHAUS M. 2007. « STATISTIQUE méthodes pour décrire, expliquer et prévoir ». Ed. DUNOD. Paris.
13. DUBOUDIN C., « Campagne nationale Logements Complétion des valeurs manquantes des questionnaires ». OQAI-AFSSET. Janvier 2009.
14. RIBERON J., « FRENCH DWELLING VENTILATION ». Note réf. CENT/TC 156/WG 2 N 10. Comité européen de normalisation. 1989.
15. MILLET J-R., VILLENAVE J-G., « ANNEXE 27 DE L'IEA : « VENTILATION DES BATIMENTS RESIDENTIELS » ». Réunion de présentation du 25 avril 1997. Agence Internationale de l'Energie. Rapport CSTB ENEA/CVA-97.078S.
16. COLLIGNAN B., O'KELLY P., RIBERON J., "Use of metabolic-related carbon dioxide as tracer gas for assessing air renewal in dwellings". 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. INDOOR AIR 2005. Beijing, China. 5th-9th september 2005. pp 2802-2806.

Logiciels utilisés

17. R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
18. SAS/STAT software, Version 8.02 of the SAS System for Windows. Copyright © 1999-2001 by SAS Institute Inc. SAS and all other SAS Institute Inc. product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

19. Addinsoft (2008). XLSTAT 2008, Data analysis and statistics software for Microsoft Excel. Paris, France.